67

Д. МУШКЕТОВ — И. ШТИНИ

Техническая геология

1934

ГОРГЕОНЕФТЕИЗДАТ

Рекомендовано в качестве учебника для втузов Главным управлением учебными заведениями НКТП СССР

ГЛАВНЕЙШИЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть	По вине
62	1 сверху	**Политобразная**	**Плитообразная**	типографии
67	24 снизу	Nachbrück'gkeit	Nachbrüchigkeit	автора
185	4 сверху	Цутском	Цугском	типографии
217	Подпись к рис. 101	Каскад-реки	каскада реки	корректора Ю. Полетика
335	Подпись к рис. 142	коранных	коренных	»

Д. МУШКЕТОВ — И. ШТИНИ

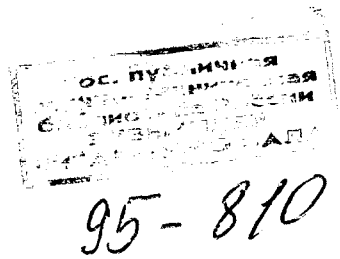
Техническая геология

Второе издание
значительно
дополненное и переработанное

1934
Государственное научно-техническое
Горно-геолого-нефтяное издательство
Ленинград • Москва • Новосибирск

НКТП — ОНТИ

ГР—65-5-2
ТКК № 24



95-810

В основном авторы преследовали двоякую цель: 1) создания руководства по технической геологии и 2) пропаганды идеи необходимости большего применения инженерами геологических знаний и методов.

Книга представляет собой второе издание вышедшей в 1925 году „Технической геологии" И. Штини — Д. Мушкетов. Настоящее издание значительно дополнено и переработано.

Книга является учебником для втузов и вузов.

2-я типография ОНТИ им. Евгении Соколовой. Ленинград, пр. Красных Командиров, 29.

Техника в период реконструкции решает все, но сама техника при этом должна обязательно опираться на все решительно науки, как бы они ни казались ей далекими, используя их достижения до конца.

В чрезвычайной мере это относится к геологии, которую по исторически сложившемуся, нелепому предрассудку и до сих пор большинство склонно рассматривать как науку, нужную только одному виду промышленности и техники — горному. В значительной мере именно поэтому нигде так болезненно не сказывается продолжающийся, вредный отрыв теории от практики в отношении правильного применения геологии во всех сторонах народного хозяйства. Коренящиеся еще у большинства «практиков» взгляды на геологию, как на отвлеченную, «теоретическую», а потому ненужную (!) отрасль знаний, лишенную права голоса в строительстве, должны быть окончательно и немедленно изжиты, и прежде всего начиная с высшей технической школы. Данная книга предназначена этому помочь.

Чрезвычайно усилившийся за последние годы, в связи с реконструкцией высших технических школ, спрос на учебники, особенно возможно более отвечающие отдельным специальностям, поставил вопрос о переиздании «Технической геологии», вышедшей впервые в 1925 г. и быстро разошедшейся. Вопрос возник лишь в июне 1933 г., и автору, не предполагавшему лично когда-либо переиздавать этой книги и не собиравшему материал, было весьма затруднительно в короткий срок выполнить задание. Этим объясняется, что книга, по мнению автора, далека еще от желательного облика, тем более, что на просьбу автора во Введении к первому изданию — присылать ему замечания и материал — никто не откликнулся. Тем не менее в настоящем издании сделано много исправлений и добавлений. В большой мере использованы вышедшие недавно близкие руководства по инженерной геологии Терцаги, Цыбульского и по туннельной геологии Евдокимова-Рокотовского. Значительно расширены главы о сейсмичности, оползнях, туннелях и устойчивости насыпей. Сильно изменено расположение материала перенесением по возможности всех главных вопросов из второй части в первую с тем, чтобы вопросы применения тех или иных общегеологических знаний непосредственно следовали за их изложением, а не были искусственно оторваны, создавая впечатление повторений.

Оставшиеся от второй части некоторые вопросы сведены в последние дополнительные главы: «Различные случаи применения геологии» и «Организация и производство геотехнических работ».

Автор ограничился лишь самыми необходимыми, исключительно техническими дополнениями, абсолютно не расширяя общегеологи-

ческой части и рассматривая ее лишь как обязательный минимум геологической грамотности и базу для усвоения геологических вопросов. Тем не менее объем курса увеличился, не превзойдя однако возможностей преподавания и усвоения его в течение одного семестра.

Обилие примеров решения различных геотехнических вопросов обязательно для подобного курса и должно было быть во много раз больше. Их назначение двоякое — служить живыми примерами, конкретизацией излагаемых геологических процессов и быть материалом для проработки на аудиторных занятиях. Опытный преподаватель легко расчленит материал лекционный от семинарского. В книге же, по уже указанному мотиву, этого умышленно не сделано; для целей самостоятельного чтения, заочного прохождения, самообразования такой порядок, по мнению автора, также удобнее. При серьезной постановке курса преподавателю надлежит, конечно, собрать возможно большее количество показательного материала из практики строительства последнего времени, применительно к специальности данного учебного заведения.

Автор предназначает руководство в первую очередь для институтов транспортных, затем строительных, коммунального хозяйства и в последнюю очередь геолого-разведочных и то лишь их гидрогеологических отделений.

Д. Мушкетов.

Алупка. 1 августа 1933 г.

«... я не задавался целью написать руководство — как поступать инженеру во всевозможных случаях его практики; цель настоящего труда заключается лишь в том, чтобы заставить осознать техников важное значение геологии при составлении проектов различных работ, а следовательно и сознать необходимость запастись известными сведениями и известной сноровкой, чтобы иметь возможность понять и должным образом оценить всякое явление.

«Для бесконечного разнообразия природы установить шаблонов нельзя...»

«Именно техническая подготовка, развитая в людях способность к наблюдению и представлению, способствует должному пониманию ими геологии как науки, где наблюдение есть единственный плодотворный метод. Наука, с основными началами которой изучающий сталкивается и в других областях знания, и для свободного понимания которой он имеет необходимую подготовку, познается легко, в особенности если наука и практика идут рука об руку.

«Научный язык геологов должен быть понятен инженеру».

Вагнер. Приложение геологии к инженерному делу. 1887.

«Поскольку интересы государства требуют предотвращения расхищения народного достояния, правительство должно было бы требовать рационального применения предварительных геотехнических работ, столь же категорически, как и выполнения строительных норм и законоположений, а также подготовки подрастающего поколения к этим геотехническим наблюдениям в соответственных строительных высших технических школах».

Терцаги.

Исходя из того, что предлагаемая книга преследует двоякую цель — руководства технической геологии, с одной стороны, и пропаганды идеи необходимости большего применения геологических знаний и методов инженерами, с другой, — считаем полезным в выдержках привести взгляды по этому вопросу тех немногих геологов и инженеров, которые стремились к проведению и укреплению этих взглядов у нас и за границей.

Несмотря на всю кажущуюся ясность и зрелость вопроса, поставленного 55 лет назад, мы видим, однако, что положение его еще слишком мало подвинулось за этот большой срок, для того чтобы не нужно было повторять все тех же доводов.

Первой работой в этом направлении была «Техническая геология» Браунса (1877 г.), наиболее важное же агитационное значение имела книга Вагнера «Приложение геологии к инженерному делу», переведенная на русский язык. В предисловии к ней И. В. Мушкетов, всю жизнь проводивший эту идею и первый воплотивший ее у нас в действительность, писал:

«В последнее время практическое применение геологии все более и более расширяется. Не говоря уже о горном деле, из которого возродилась сама геология, многие другие отрасли знания постоянно сталкиваются с вопросом о строении почвы и нуждаются в помощи геологии. Поэтому тем более странно, что в деле проведения и особенно при изыскании направлений железных дорог долгое время почти исключительно ограничивались только изучением орографии местности и не обращали внимания на ее геологические особенности. Однако горький опыт как у нас, так и в других странах убедил, что при выборе направления железных дорог далеко не достаточна одна нивеллировка, а необходима также основательная зондировка почвы для определения ее геологического состава, условий циркуляции подземных вод и пр. Железнодорожные катастрофы, с одной стороны, а с другой — бесполезная затрата большого капитала на ремонт при эксплоатации, которой возможно бы было избежать при другой постановке изысканий, как например на Сызранской, Оренбургской и др. железных дорогах, сами собой привели к сознанию необходимости предварительных геологических исследований при выборе направления железных дорог. Сознание это еще более выразилось при проведении железнодорожных туннелей в горных странах.

«Давая основание подобным работам, геология вместе с тем получает от них много новых и интересных фактов, имеющих важное научное значение. Следовательно, инженерам не только следует пользоваться геологией для своих работ, но также необходимо быть хотя бы настолько подготовленными в геологии, чтобы суметь во время

собрать ценный материал и сделать важнейшие наблюдения, которые часто по окончании работ становятся недоступными. Кроме того, знакомство с геологией полезно также для целесообразного применения зондировки почвы.

«Практика показывает, что иногда даже в тех немногих случаях систематической зондировки почвы, которые наблюдаются в последнее время у нас, затрачивается на нее гораздо больше труда, чем это нужно, например пробивают десятки буровых скважин там, где двух-трех было достаточно для решения вопроса».

Один из учеников И. В. Мушкетова, много работавший по его указаниям в качестве геолога на железных дорогах, горный инженер Д. Л. Иванов, относительно дальнейшей жизни земляного полотна со времени его постройки в 1889 г. писал следующее:

«В настоящее время, после того как дорога построена и принята от строителей, она переходит в руки эксплоатации, причем дальнейшая история земляного полотна поступает в ведение службы ремонта пути. Дело этой службы заключается в наблюдении не за жизнью, а за исправностью пути. Замечена неисправность, — исправлена, и довольно. Обыкновенные повреждения, а иногда даже и довольно серьезные — во избежание проволочек в канцелярской переписке — исправляются в счет текущего годового ремонта по усмотрению начальника участка или главного инженера без всяких особых технических записей, наблюдений и т. п. И лишь только экстраординарный ремонт попадает в деловую переписку с изложением технических обстоятельств события и общих мер по исправлению пути в этом месте. Поэтому даже о крупных происшествиях в делах канцелярий далеко не всегда можно найти вполне подробные описания, а о менее значительных не остается ровно никаких следов. И опять-таки исследователю каких-либо нарушений в устойчивости полотна, чтобы хоть сколько-нибудь ориентироваться среди бывших событий на пути, поневоле приходится искать свидетеля рабочего, хотя память его обыкновенно и оказывается весьма сомнительной. А ведь крупные события по ремонту чаще всего подготовляются медленными, иногда едва заметными, и то лишь при систематических наблюдениях, изменениями. Поэтому «неожиданный» результат, «внезапное» появление каких-либо больших разрушений в большинстве случаев потому только неожиданны и внезапны, что мы ранее не обращали внимания на очень важные подробности и не изучали их. Этим я хочу сказать, что одних хотя бы и самых тщательных наблюдений за внешней исправностью пути недостаточно, как недостаточно содержать в исправности ружье, патроны и мишени, чтобы при помощи этой одной «исправности» быть в состоянии, когда понадобится, хорошо действовать на охоте или на войне.

«Необходимо специально наблюдать за жизнью полотна железной дороги и придорожной полосы. Под именем «жизни» в данном случае должно разуметь те современные геологические явления, которые неустанно совершаются на земле и внутри ее, под влиянием целой совокупности физических сил, работающих над видоизменением «каменной» природы или «коры земной». Главными деятелями, разру-

шающими и созидающими, будут: вода, воздух, климат, горообразовательные силы, вулканизм и деятельность растений, животных и человека. Смотря по тому, в какой взаимной комбинации прилагаются эти силы, к какому физико-географическому типу принадлежит и какое строение имеет данная местность, — постольку будет изменяться и самый характер жизни ее поверхностных толщ.

«Горная местность и равнина, континентальный и холодный, теплый и приморский климат, сильные ветры и различная степень влажности, обилие текучих вод и переносные пески, простое и сложное геологическое строение, прочные и легко выветривающиеся или размываемые породы, спокойные страны и округа провалов, землетрясений, горных и ледниковых обвалов, грязевых и лавовых извержений, ливни с наводнениями, леса, болота, степи, соляные озера, прибрежные раковинные банки и косы, пустыни и густо населенные районы, — все эти типы в разных переходах и сочетаниях создают ту или другую жизнь земли в разных местностях, — жизнь, отзывающуюся на всем, и на полотне железной дороги в частности.

«Протягиваясь из одного района в другой с разнообразными природными условиями, железнодорожный путь с его подъемами и уклонами, с его насыпями, выемками, туннелями, мостами, канавами, трубами, откосами, дренажами, подпорными стенками, присыпками, облицовками, плотинами, берегами, ключами и колодцами, резервами, карьерами и пр., — путь этот подчиняется общим законам жизни, испытывая все сложные влияния и видоизменения от силы природы и разрушаясь в той или другой степени, сообразно местным физико-геологическим условиям.

«Понимать эту жизнь и регулировать силы природы можно только при специальном ее изучении и постоянных правильных наблюдениях со стороны лиц, для того только назначенных. До настоящего времени подобных наблюдений на наших дорогах не производилось, и жизнь железнодорожных сооружений, связанных с полотном дороги, нам известна лишь из иностранных справочных книжек и из лабораторных опытов, а не из громадного материала, доставляемого самими дорогами.[1]

«Как живет насыпь из той или другой горной породы, в том или другом климате, так или иначе сооруженная, на таком-то основании и т. п.? Как она садится, трескается, выдувается ветром, размывается, раскисает, ползет, выпучивается, в какое время, в каком количестве? Как держится при разных закреплениях? Когда насыпь установилась, пришла в равновесие — не по смете, не в постройке, а на самом деле, т. е., взяв все работы по ее первоначальному ремонту и капитальному последующему? Какие катастрофы переживала насыпь от экстренных событий природы и пр.? Из чего слагаются признаки неустойчивости данной насыпи, признаки и самые отдаленные, и более яркие, настоятельные, и, наконец, несомненно опасные? Каким именно способом и в какой постепенности разрушается насыпь в опасных случаях? Как живут выемки, условия которых гораздо разнооб-

[1] Редкими исключениями являются несколько статей, посвященных специальному исследованию строения дорожного полотна, и то далеко не всегда настолько подробных, чтобы иметь строго техническое значение

разнее и сложнее, чем в насыпях? Как живут туннели, спуски, подходы, мостовые основания, акведуки и пр., и пр.?

«Все эти вопросы не находят соответствующих ответов, основанных на точных и специальных наблюдениях, — ответов со стороны лиц специальной техники, приставленных только к этой области наблюдений.

«Пройденная Россией продолжительная практика построек и эксплоатации железных дорог все более и более убеждает в необходимости изменения приемов, сложившихся под влиянием прежней системы чисто строительных методов и наблюдений. Новые требования так или иначе уже пробиваются в жизнь, тем или другим манером удовлетворяются до некоторой степени, но еще далеко не общепризнаны, не согласованы с другими сторонами техники железнодорожной жизни; они являются как будто исключениями, случайными или временными мерами; они не введены еще в общую систему и слишком часто не могут быть осуществлены по многим причинам, как например по недостатку личного персонала, или по его практической неподготовленности, или же в силу прямых требований инструкции, преследующей иные цели.

«При моих геологических разъездах и работах мне часто приходилось встречаться с инженерами путей сообщения. Предо мною прошло столько дельных, толковых, работящих и знающих свою специальность техников, искренне заинтересованных делом. И в то же время эти прекрасные люди принуждены были держаться направления, указанного привычной узко-специальной и прочно установившейся служебной точкой зрения. С этой давно обособленной точки зрения инженер, по старому завету, отлично видел «путь», его «ось», «уклоны и закругления», замечательно следил за «головкой рельса», мерой кюветов, кубической саженью и т. п. до габарита включительно, — но все же остальное, всю природу принужден был рассматривать и измерять только по отношению к оси пути.

«Прежний инженер-строитель должен был обращать главное внимание на местный рельеф страны, выбирая легче доступный для дороги, совершенно не интересуясь тем, почему выработался тот или другой топографический облик, и крайне редко справляясь с подробностями геологического строения местности.

«Прежний инженер-строитель должен был оценивать геологическое строение прежде всего с точки зрения «грунтов», т. е. подразделений на мягкий, сыпучий, средний, скалистый, в смысле усилий при его разработке. Поэтому в отдел «скалы» одинаково отходили и гранит с диоритом, и гипс с желваковым кремнистым сланцем, и т. п.

«Не в привычках строителя было видеть и измерять простирания и падения пластовых горных пород, характерные трещины, их разбивающие, делать разрезы почвы, согласно природным направлениям этих пород; он даже повидимому не всегда нуждался в ориентировке своих работ и наблюдений по странам света. Он резал почву, как кусок теста, по направлению своих геометрических построений; все его профили и прорезы он должен был составлять непременно или продольно, или поперечно к оси дороги; все расстояния брать не от местных естественных пунктов под известным румбом, а от той же оси пути, в перпендикулярном к нему направлении; все высоты от-

носить к головке рельса в данной точке, куда бы путь ни направлялся: всю окружающую природу изучать не далее откосов и канавы, как распространение воронок, например, на Самаро-Златоустовской дороге, не переступало за «полосу отчуждения»...

«Словом, прежний железнодорожный инженер исключительно должен был быть строитель, исключительно арифметик и геометр, техник, не выходящий из области сооружаемого им пути, как будто путь не связан вовсе с природными условиями, а находится в зависимости лишь от заданий проекта. Соблюдены уклоны, радиусы, откосы, резервы, обходы, кюветы, прорезы и трубы, — и дело считалось законченным».

Другой ученик и продолжатель идей И. В. Мушкетова, проф. К. И. Богданович, через 22 года после Д. Иванова также старался проводить необходимость геологии для строительства и формулировал это следующим образом на II Съезде деятелей по практической геологии в 1911 году:

«В практику железнодорожного строительства в России почти вошло в обычай привлекать к делу изысканий геологов, на разрешение которых предлагаются со стороны инженеров различные вопросы, касающиеся естественных условий прочности как будущего полотна, так и различных сооружений, условий водоснабжения линии и даже выбора строительных материалов. Каждый из таких вопросов требует иногда всестороннего освещения геологических условий не только данного небольшого участка линии, но и всего района, но и помимо этого каждый из таких вопросов, даже в простейшем случае, требует со стороны геолога кропотливого ознакомления с техническими условиями сооружения и неоднократного посещения места, вызвавшего вопрос. Так как на несколько изыскательных партий обычно приглашается один геолог, то при вдумчивом отношении к делу геолог нередко ставится в безвыходное положение за невозможностью удовлетворить все предлагаемые ему вопросы; дело нисколько бы не поправилось, если бы даже каждая партия непрерывно сопровождалась геологом. Чувствовать все слабые стороны каждой точки своего проекта может только инженер, сознательно на местности прокладывающий свою линию. Это настолько ясно, что в обязательную программу подготовки всех инженеров путей сообщения давно уже введены геологические сведения. Обязательная программа и действительная подготовка — дело, конечно, разное, и геологи профессиональные вырабатываются не школой, а работой в поле, поэтому было бы легкомысленно требовать от инженеров путей сообщения, чтобы они свободно ориентировались среди геологических вопросов, могущих возникнуть при их изысканиях. Тем не менее есть обширный круг геологических и физико-географических вопросов, разрешение которых вполне в пределах обязательных познаний каждого инженера; к этому кругу должны относиться: оценка строительных материалов; оценка прочности грунтов для заложения оснований искусственных сооружений; оценка условий осушения болотистых пространств; определение количества грунтовых вод для устройства водоснабжения; оценка опасной работы проточных вод как в виде горных протоков, так и горных и равнинных речек; разрушительная работа ветра, моря; опасные проявления работы подземных вод и пр. Мно-

жество мелких затруднений, возникающих в сфере хотя бы указанных вопросов, легче всего могут быть разрешены самими инженерами — попутно, при их всестороннем ознакомлении с местностью во время производства изысканий. Для разрешения таких затруднений геолог совершенно не нужен инженеру. Я считал бы совершенно ненормальным упорное отклонение от себя инженерами-строителями всякого вопроса, так или иначе соприкасающегося с вещественным составом и строением тех масс, на которых или около которых инженер собирается строить. Каждый инженер должен уметь сознательно и обоснованно решать многие из таких вопросов, точно так же как геолог должен понимать технические условия сооружений, об устойчивости которых идет дело; только при таких взаимных отношениях инженер-строитель и геолог будут понимать друг друга в случае действительной необходимости в консультации. При такой постановке дела программа работ геолога вдоль линий изысканий значительно суживается, и он может быть действительно полезен инженеру. Инженер не должен недооценивать свои силы и переоценивать силы геолога».

В том же 1911 году один из горячих поборников того же вопроса в Австрии Max Singer писал:

«Значительное различие в точках зрения на геологические работы, их масштаб, цели и методы, у геологов и инженеров заключается в различии объектов их исследования, в связи с преследуемыми каждым основными задачами. Геолог изучает всю землю в целом, привыкая к весьма большому масштабу выводов и обобщений, и интересуется по преимуществу коренными породами и их залеганием, инженер же в громадном большинстве, за исключением лишь больших туннелей, представляющих весьма редкий случай в строительстве, имеет дело лишь с ничтожно тонкой верхней оболочкой земли (до 40—50 *м*), состоящей преимущественно из рыхлых образований — наносов, осыпей, аллювия, делювия — старых и современных. Именно эти отложения, за редким исключением, даже при систематических исследованиях, пользуются очень небольшим вниманием геологов, часто поэтому не могущих удовлетворить специальные детальные запросы техника. Вместе с тем последний обычно задает их лишь тогда, когда эта земная оболочка начинает ставить ему какие-нибудь досадные препятствия уже при осуществлении его технических работ. Призванный в последний момент геолог обычно помочь уже не может, и возникают взаимные обвинения, нервное комкание работы и поиски виновного в провале дела. По большей части виноваты обе стороны. Геолог должен давать свое заключение лишь после того, как он действительно имел возможность специально изучить данный район, и не должен слишком вдаваться в технические вопросы, дабы не брать на себя ответственности за то, на что он непосредственно влиять не может; лишь в отношении туннелей решающее слово должно быть за ним. На поверхности же все трудности построек, на основе ясного представления геологических условий места, должны разрешаться самим инженером; вместе с тем, однако, данные геологической экспертизы должны быть полностью использованы при самом проектировании, а не только впоследствии для оправдания оказавшихся перерасходов по постройке...»

Наконец еще через 11 лет, и через 40 лет после Вагнера, те же по существу, но уже значительно раскристаллизованные мысли высказывает в своем предисловии J. Stiny, автор руководства, сокращенный перевод которого в значительной степени использован при составлении настоящей работы:

«... Руководства по технической геологии, которое находилось бы в соответствии с современным состоянием прогресса как инженерных знаний, так и геологии, еще нет. Если я взял на себя смелость заполнить этот пробел, то оправданием моим служат многолетние побуждения к тому инженерных кругов, полное пренебрежение технических вопросов нашими учебниками геологии и моя долголетняя инженерно-геологическая служба в управлении закрепления оврагов, на фронте во время войны и в других местах.

«Что инженеры-строители всех специальностей и лесо-техники не могут теперь обходиться без известного запаса геологических знаний — общепризнано, и намечен уже объем их, необходимый и достаточный, с устранением всего излишнего. В первую очередь для инженера почти совершенно не нужна, столь трудная для усвоения и лишь обыкновенно отпугивающая от геологии, особенно в сжатом изложении, ее историческая, стратиграфическая часть, с запоминанием бесчисленных латинских названий окаменелостей, таблицами геологической хронологии и т. п. С другой стороны, некоторые вопросы деятельности воды, смещения частей земной поверхности и литологические — состава и строения горных пород, излагаются в обычных курсах геологии слишком кратко. Наконец, подробное и громоздкое изложение всех, еще по некоторым вопросам столь разноречивых, взглядов, толкований и гипотез для инженера лишь обременительно и затемняет усвоение основных положений и выводов. Такой характер руководства несомненно не удовлетворит геолога-специалиста, но для него оно и не предназначается».

Данное руководство возникло на основе книги Штини «Technische Geologie», с использованием, однако, в переводе лишь $^1/_5$ части ее, т. е. не более десяти листов в первом издании и в меньшей еще мере в настоящем. Остальной материал, почерпнутый из многочисленных отдельных специальных работ, приведенных в списке литературы, и собственных наблюдений, распределен неравномерно во всех соответственных местах руководства и полностью слит с переводным текстом в одно целое. В этом была причина двух авторских фамилий. В тексте, таблицах и рисунках иностранные примеры и данные, по возможности, заменены русскими; количество этих примеров желательно весьма расширить, для чего автор очень просил доставлять ему соответственный материал, рисунки и критические замечания. По поводу книги Штини был дан отзыв австрийским геологом Ампферером (Verh. der geol. Bundesanstalt. 1922. Wien. Стр. 114), из которого приведем следующую выдержку:

«... если это руководство сможет вытеснить в технических учебных заведениях употреблявшиеся до сих пор курсы, написанные исключительно геологами и непереваримые для техника, вследствие слишком раздутой исторической части, то это можно лишь приветствовать. Списками окаменелостей и стратиграфическими таблицами обыкновенно лишь отпугивают; по этой причине и не

может никак возникнуть плодотворное сотрудничество геологов с техниками».

Книга Штини также однако совершенно не избегла участи перегрузки лишним материалом; достаточно сказать, что историческая ее часть у Штини занимает 142 стр. (из общей суммы 789), а собственно техническая — лишь 77 стр., при 570 стр. общей части, т. е. следовательно техническая часть — лишь 10% всего. В нашей переработке эти соотношения совершенно иные, а именно: вопросам техническим, приложения геологии, уделено приблизительно 65%, против 10% у Штини; кроме того, самый цикл этих вопросов несравненно больше, разностороннее.

Проф. *Д. Мушкетов.*

§ 1. Происхождение Земли

Загадки происхождения вселенной и будущих судеб нашей планеты издавна привлекали пытливый ум человека. Но все, что ныне достигнуто, может считаться лишь попытками, более или менее удачными, разрешить эти загадки. Планеты солнечной системы обладают значительно меньшей массой, чем внутреннее ее тело — Солнце; газовые массы при уплотнении быстро сжимаются, причем сокращается время их вращения. Охлаждение планет происходило значительно скорее, чем охлаждение Солнца, превышавшего их во много сотен раз своею массой (рис. 1). В ряду же планет в свою очередь решающее значение для скорости их охлаждения имеют собственные размеры и расстояние их до излучающего тепло Солнца.

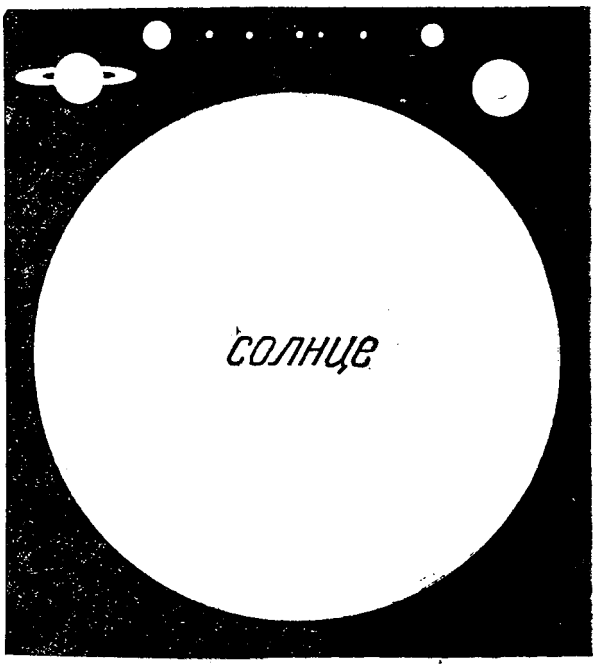


Рис. 1. Относительная величина Солнца и планет. Вверху, слева направо: Сатурн, Нептун, Меркурий, Марс, Земля, Луна, Венера, Уран, Юпитер. Диаметр Солнца в 109 раз больше земного.

Если мы хотим знать, каково было состояние нашей планеты несколько миллионов лет тому назад, то нам следует обратиться к Венере — соседке нашей Земли. По сравнению с раскаленным газообразным Солнцем разница между Венерой и Землей почти незаметна. На обеих планетах при охлаждении поверхности образовалась еще тысячи миллионов лет тому назад твердая кора. Из глубочайших недр планет извергались все реже различные газы, главным образом водяные пары и углекислота, скапливаясь в виде облаков или подымаясь в высшие слои воздушной оболочки (атмосферы). Здесь их соединения под-

вергались фото-химическому воздействию солнечных лучей, и кислород отделялся от углерода. Сильно восстановляющие газы первоначальной атмосферы, преобладавшие в ее наружных слоях, водород и углеводороды, сжигались постепенно кислородом; в конце концов, главной составной частью воздушного слоя остались лишь химически инертные газы, как например азот. В этих условиях на планетах могла появиться и развиваться жизнь. В то же время, в связи с продолжавшимся охлаждением и утолщением коры, уплотняется большая часть водяных паров и, осаждаясь на поверхности земли, образует океаны, моря и реки. Вода, стекая в моря, несет с собой песок, соли и сглаживает неровности земной поверхности; этим путем, а также и при участии живых организмов, образуются осадочные породы. С увеличением толщины коры затрудняется деятельность вулканов. На такой приблизительно ступени развития быть может находится ныне Венера, немного впереди ее идет Земля.

§ 2. Форма Земли

Земля не представляет собою шара в геометрическом смысле, но обнаруживает на полюсах некоторое сжатие в 1/298—1/299. Долгое время форму Земли рассматривали в виде сплющенного у полюсов эллипсоида вращения, пока, наконец, точные измерения не доказали, что она не соответствует и такому телу вращения; за последние десятилетия отказались от попыток присваивать Земле строго геометрическую форму и обозначают форму земного шара, со всеми разнообразными ее отклонениями от эллипсоида вращения, просто «земной формой» — геоидом; это поверхность, которую принимает уровень воды в океанах и сообщающихся с ними, проведенных мысленно через все материки, каналах; она представляет собою замкнутую в самой себе беспрерывную поверхность, обладающую еще тем свойством, что во всех ее точках сила тяжести к ней перпендикулярна. По сравнению с правильной поверхностью эллипсоида поверхность Земли обладает разнообразными изгибами; при этом она опускается под океанами под геометрическую поверхность, повышаясь медленно по направлению к материкам, в пределах которых она, как правило, возвышается над нормалью. Эти отклонения в общем, однако, незначительны и не превышают 100 *м*.

§ 3. Плотность Земли

В строении верхней, твердой, известной нам по непосредственным исследованиям, оболочки Земли — земной *коры* — главное участие принимают следующие вещества, в указанных ниже отношениях:

Si — кремний	28,00%
Al — алюминий	7, 0%
Fe — железо	4,43%
Ca — кальций	3,44%
Mg — магний	2,40%
Na — натрий	2,43%
K — калий	2,49%
O — кислород	47,17%

Исходя из этого, средний удельный вес Земли принимается приблизительно в 2,7. Это вполне соответствует наблюдению, что на Земле лишь редко встречаются породы (например руды) с большим удельным весом, и что *главная масса доступных нам частей земной коры обладает сравнительно малым удельным весом* (уд. в. = 2,5—3,3).

Тем более удивительны те числа, которые удалось получить различными способами для определения общей плотности всей Земли. Все они превышают число 5, и наиболее верное определение колеблется от 5,5 до 5,6. Это приводит к выводу, что ядро Земли, в противоположность ее коре, состоит из других, более тяжелых масс, обладающих удельным весом около 8. Поэтому верхние, более легкие части земли, «земная кора», часто противопоставляются в виде каменной оболочки (*литосфера*) — металлическому тяжелому ядру ее (*барисфера*). Наиболее вероятно присутствие в составе земного ядра и большого количества железа (уд. в. = 7,8).

Этот вывод напрашивается и при сравнении с *метеоритами*, падающими на Землю обломками других небесных тел; предполагают, что метеорное железо происходит из ядра разрушенных небесных тел, в то время как метеорные камни являются частицами их внешней коры.

Гипотеза земного ядра, состоящего в главной своей массе из железа, объясняет также наиболее простым способом магнитные свойства Земли.

В настоящее время может считаться доказанным, что Земля состоит из ряда концентрических оболочек различной плотности; столь же вероятно, что плотность этих слоев в общем при приближении к центру Земли возрастает. В то же время правильное, совершенно равномерное увеличение плотности вглубь земной коры столь же мало вероятно, как и совершенно равномерное положение поверхностей, разграничивающих эти слои. Наоборот, произведенными до настоящего времени многочисленными измерениями силы тяжести (гравиметрические наблюдения) доказано, что распределение массы в Земле как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях по существу чрезвычайно неравномерно. Для определения разницы в плотности различных точек земной поверхности применяются различные способы.

Одним из наиболее известных является способ наблюдения за отклонением отвеса.

Для определения неравномерностей силы тяжести Штернеком в Вене были сооружены полусекундные маятники, которые вследствие их портативности, простоты в обращении и достаточной точности нашли широкое применение, но начинают теперь заменяться еще более удобными приборами. [1]

Маятниками пользуются для наблюдений большого масштаба так называемой «общей гравиметрической съемки».

Для установления аномалий силы тяжести местных, на небольших площадях, применяют крутильные весы, усовершенствованные Р.

---

[1] Маятник Венинг-Мейнеса (1930 г.) дает возможность производить наблюдения и на море и при ветре, чего нельзя делать, пользуясь системой Штернека.

Этвешом и представляющие собой весьма чувствительный прибор («гравитационный вариометр»).[1]

Геологу измерения силы тяжести позволяют делать ряд имеющих большое значение выводов как в смысле установления нарушений в земной коре, так и особенно распределения более легких и более тяжелых пород. Вычислено, что каменная плита с плотностью 2,8 и толщиною в 10 *м* уже изменяет размер силы тяжести на одну стотысячную.

Измерениями силы тяжести возможно также и нахождение в земле пустот, что, особенно в известняках, имеет большое значение при проведении туннелей и штолен.

Измерением силы тяжести могут быть определены не только различия в плотности составляющих земную кору пород, но также и степень сжатия и смятия горных пород от дислокации.

Так как определение нарушений, вследствие связанной с ними перемены в технических свойствах пород (трещиноватость, разрушение), для инженера особо важно, поэтому чрезвычайно ценно применение измерений силы тяжести в частных случаях строительно-технического геологического предсказания.

§ 4. Теплота Земли

Земля движется со скоростью, в 1200 раз превышающей скорость экспресса, сквозь мировое пространство, температура которого чрезвычайно низка. Тепловой режим Земли определяется количеством тепла, притекающим на нее из различных источников, с одной стороны, и размером излучения ею тепла в мировое пространство — с другой.

В качестве источника тепла для земной поверхности существенное значение имеют лишь солнечные лучи; теплота, исходящая от земного ядра, не играет большой роли, давая лишь $^1/_{200}$ часть нагревания, производимого солнцем.

Нагревающее действие солнечных лучей на земную поверхность проявляется лишь в самом наружном слое земной коры и проникает внутрь ее лишь на незначительную глубину.

Между сферами действия солнечной теплоты и собственной теплоты Земли имеется *пояс постоянной температуры*, не чувствительный к колебаниям температуры. Пояс постоянной температуры лежит у экватора на глубине 2—6 *м*, в то время как в некоторых местах Сибири удалось обнаружить влияние внешнего излучения и нагревания на глубинах, превышающих 100 *м*. В умеренных широтах глубина пояса постоянной температуры вряд ли превышает 20—30 *м*.

В наружном слое, отделенном от остального земного шара поясом постоянной температуры, дают себя знать как суточные, так и годовые колебания температуры; первые из них проникают не глубоко, и влияние их уже исчезает на глубине 1—1½ *м* от поверхности.

Расстояние пояса постоянной температуры от поверхности изменяется не только с широтой места наблюдения, но и в зависимости от экспозиции рассматриваемой поверхности, от рельефа ее и высоты

[1] Изготовляется в СССР с 1926 г. Сейсмологическим институтом Академии наук.

над уровнем моря; например, промерзание почвы происходит в средних широтах в холмистых местностях на глубину 50—60 *см*, а в гористых на глубину 70—80 *см*. Свойства почвы и горных пород также играют при этом известную роль. Для техника глубина, до которой проникают суточные и годовые колебания температуры, а также глубина промерзания далеко не безразличны. Она должна быть обязательно принята в расчет при постройке сооружений под поверхностью земли, например погребов и подобных сооружений специального на-

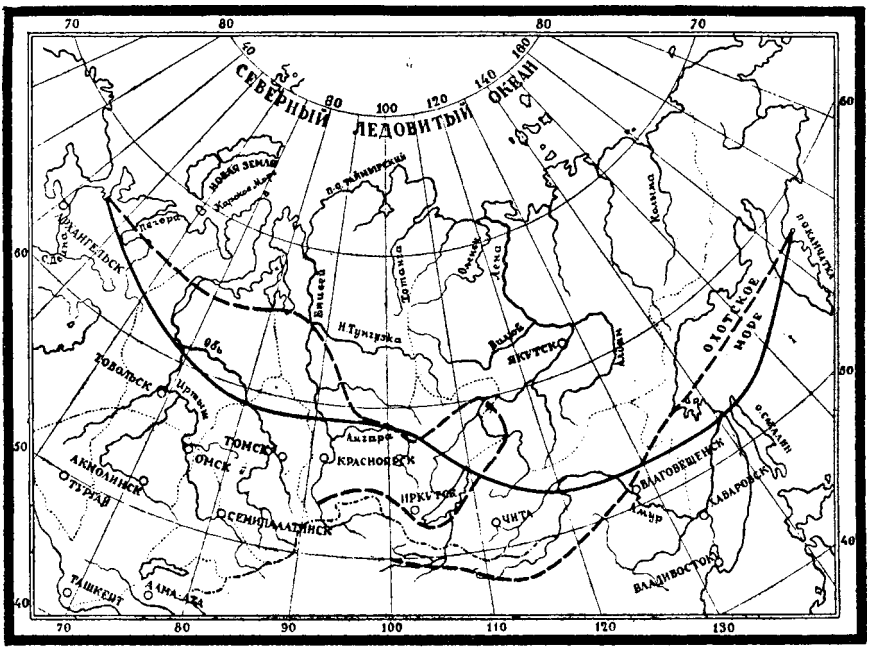


Рис. 2. Граница вечной мерзлоты в СССР (прерывистая линия) и изотерма с температурой — 2° (сплошная линия).

значения. Глубина эта влияет также и на источники, питающиеся из самых наружных слоев земли, ибо вызывает в их водах также соответственные колебания температуры.

Наконец для севера приобретает особое значение так называемая «вечная мерзлота».

Вечная мерзлота развита на $^1/_{10}$ поверхности земли и на значительной части территории нашего Союза (45%), занимая площадь [1] в 9,5 млн. *км*^{2} (рис. 2).

Вечно мерзлой почвой называется слой почвы, находящийся на некоторой глубине от дневной поверхности, температура которого остается неизменно отрицательной в течение неопределенно долгого времени — от двух лет до десятков тысячелетий. Почвы или породы, имеющие положительную температуру, носят в области вечной мерзлоты название *талых почв* или *таликов*. Слой почвы, лежащий над вечной мерзлотой и ежегодно летом оттаивающий, а зимой замерзаю-

[1] По М. Сумгину.

ций, называется слоем летнего оттаивания, или слоем зимнего промерзания, или *деятельным слоем*. Напряжения, развивающиеся при замерзании деятельного слоя и дальнейшем его охлаждении, служат причиной деформаций зданий, сооруженных в районах вечной мерзлоты. Верхняя граница вечной мерзлоты определяется для данного пункта глубиной максимального протаивания почвы за ряд лет. В практических целях исходят из среднего протаивания почвы в данном месте, но нужно иметь в виду, что при этом мы будем иметь некоторую погрешность в определении глубины залегания верхней границы вечной мерзлоты, выражаемую формулой $h = P_m - P_s$, где h — искомая погрешность, P_m — глубина максимального протаивания почвы, P_s — принятая нами средняя глубина протаивания. Погрешность в почвах суглинистых может достигать 0,5—0,8 *м*. Помимо островов настоящих таликов, встречаются и псевдоострова их, где талая почва простирается хотя и на значительную глубину, но внизу все же подстилается слоем мерзлой. При заложении глубоких оснований сооружений это очень важно иметь в виду. Кроме того, встречается и *слоистая мерзлота*, когда слои вечной мерзлоты чередуются по глубине со слоями талой почвы. Довольно часто мерзлота встречается под дном рек и озер. Мощность мерзлоты весьма различна, превосходя иногда 100 *м* (Якутск), причем верхняя и нижняя границы ее весьма неправильно изогнуты. Температура мерзлого слоя колеблется на разных глубинах. Среди мерзлоты часто залегают пропластки льда, толщиной от долей миллиметра до многих метров.

Почвенный лед делает мерзлую почву водонепроницаемой (подобно глине), но при оттаивании такой водонепроницаемый слой, если его сложение благоприятно, может сделаться водопроницаемым и в корне изменить гидрологические условия данного места. Условия нахождения грунтовых вод в областях мерзлоты весьма своеобразны и изменчивы. Воды здесь часто имеют не пластовый, а жильный характер, и, залегая глубже нижней границы мерзлоты, имеют напор.

Ряд станций Забайкальской и Уссурийской железных дорог снабжается водой из скважин, пробуренных глубже нижней границы мерзлоты.

Грунтовые воды в области мерзлоты распадаются на три вида; одни циркулируют в деятельном слое, другие — в самой толще вечной мерзлоты и третьи — глубже ее нижней границы.

Вообще же грунтовых вод в области вечной мерзлоты меньше, чем в других местностях при прочих равных условиях.

Вместе с этим и реки имеют малый расход воды летом, получая мало питания грунтовыми водами, зимой же промерзая до дна. Под влиянием промерзания почвы возникают *наледи грунтовых вод:* плывун или вода устремляются в точку наименьшего сопротивления замерзшей части слоя зимней мерзлоты и при этом производят поднятие мерзлой почвы; замерзая под поднятием, еще увеличивают его и т. д. Таким образом почва поднимается, образуя бугры от нескольких сантиметров до десятков метров, становится подвижной и сильно деформирует сооружения. Ежегодно поднимаясь зимой и опускаясь летом, эти сооружения быстро могут разрушаться.

В условиях мерзлоты, при оттаивании летом небольшого слоя поверхности (до 3 *м*), нельзя ожидать глубоких болот (как в Европейской части СССР или Западной Сибири, где они достигают глубины 12 *м*). Полное пренебрежение правительством царской России всем севером Сибири, его малонаселенность и отсталость, наряду с вечной мерзлотой, мешали промышленно-хозяйственному освоению этой громадной территории, которой, однако, теперь предстоит занять важное место в нашем Союзе. Освоение это, однако, в первую очередь потребует проведения железных и автотужевых дорог, а также возведения крупных зданий и сооружений. При всем этом прежде и больше всего придется считаться с влиянием вечной мерзлоты, с выработкой и соблюдением специальных технических правил и норм. Печальный дореволюционный опыт проведения Амурской железной дороги должен быть использован, так как начатые в 1933 г. изыскания Байкал-Амурской магистрали (БАМ) прежде всего встретились уже с этим вопросом. В отношении земляных работ возникают особые трудности, так как мерзлые грунты копать невозможно, и приходится прибегать к взрывным работам, но при этом глинистые мерзлые грунты, не обладая хрупкостью, дают мало трещин и не разрыхляются. Наоборот, плывуны, вязкие, полужидкие, приходится искусственно замораживать. Бурение в мерзлоте также трудно, так как инструмент зажимается. Все это сильно удорожает работы и удлиняет срок их выполнения.

Особенно сильно страдают и разрушаются большие сооружения (например на Забайкальской и Амурской железных дорогах). Классическим примером подобных разрушений служат Читинские железнодорожные мастерские (постройки 1896—1898 гг.), ремонт и перестройка которых стоили очень больших денег.

Часто под зданием появляется вода, и, замерзая, она заполняет его льдом. В 1911 г. зимой в одном из туннелей Амурской железной дороги появилась вода, и рельсы сразу же были покрыты льдом, что угрожало в период сильных морозов совершенно прекратить движение.

Причины деформаций зданий заключаются преимущественно в том, что они (особенно отапливаемые) изменяют тепловой режим мерзлоты, иногда переводя мерзлые пласты (особенно глинистые) в совершенно разжиженное состояние, с ничтожной несущей способностью.

Проведение грунтовых дорог с их выемками, насыпями, канавами, с уборкой растительного покрова, в особенности мха, также влияет на тепловой и водный режим мест, по которым они проходят. Например, в зиму 1927—1928 г. на протяжении 728 *км* Амурско-Якутской магистрали возникло 117 бугров-наледей (см. выше), которые часто почти прекращали движение. Выработанный тогда метод борьбы, давший положительные результаты, заключался в следующем: на известном расстоянии от дороги проводились канавы, или очищался мох, или даже лишь только снег; этим достигался отвод наледей от дороги в сторону (на 100—150 *м*). Сказанным далеко не исчерпываются все случаи нарушения обычных условий строительства в районах вечной мерзлоты. Они значительно многообразнее, возникая и разрешаясь преимущественно на практике. За последнее

время целый ряд учреждений[1] серьезно взялся за изучение вечной мерзлоты, а Академия наук СССР имеет специальную комиссию, объединяющую работу всех этих учреждений и систематизирующую материал.

§ 5. Проявление собственной теплоты Земли

Наличие внутри Земли запаса собственной теплоты, нагревающего благодаря теплопроводимости ее и наружные слои земного шара вплоть до пояса постоянной температуры, подтверждается многочисленными измерениями, произведенными в шахтах, туннелях, глубоких колодцах, буровых скважинах и т. п. Результаты этих измерений неопровержимо доказали, что в доступных нам верхних слоях земной коры температура повышается по мере проникновения в глубину, и притом повышается в арифметической прогрессии.

Глубина, на которую нужно спуститься, чтобы обнаружить прирост тепла на 1° Ц, называется *геотермическим градиентом*. В среднем она считается равной 33 *м*, но в зависимости от различных обстоятельств подвержена местами крупным колебаниям.

Как уже сказано, равномерное повышение температуры при углублении начинается лишь ниже пояса постоянной температуры. В последнем же температура равна средней годовой температуре на поверхности, увеличенной на соответствующую данной глубине долю геотермического градиента. Отклонения от этого правила редки.

В наружном слое Земли инженер роет глубокие колодцы и шахты, проводит штольни и туннели для водопроводов и железных дорог и т. п. Понятно, что условия проявления теплоты в доступных человеку частях земной коры и возможность их предсказания имеют большое значение при всякого рода инженерных работах в самом широком смысле этого слова. Поэтому колебания геотермического градиента и заслуживают более подробного исследования.

Под равниной или почти равниной поверхность равных постоянных температур (*геоизотерма* или геотерма) пролегает, при отсутствии каких-либо мешающих влияний, приблизительно параллельно дневной поверхности исследуемого района. Под возвышенностями и горами геотермическая поверхность подымается положе, чем поверхность дневная, поэтому геоизотермы раздвигаются и увеличивают тем самым геотермический градиент. Это явление основывается на том обстоятельстве, что *аэротермический градиент*, т. е. величина, на которую нужно подняться, чтобы температура опустилась на 1° Ц, достигающий 50—100 *м*, значительно больше, чем геотермический в обычных условиях. Под горами геотермический градиент достигает поэтому 40—60 *м;* в Сен-Готардском туннеле он возрос с 29 *м* у подножия горы и до 44 *м* под вершиной; под вершиной Монт Сени — до 50 *м* и под Симплонской вершиной — до 43,5 *м*. Наоборот, под впадинами (долинами, котловинами) геоизотермы, образуя направление вниз изгибы, сближаются, и геотермический градиент понижается в сред-

[1] Лаборатория Гос. института сооружений в Ленинграде и Петровско-Забайкальская; станция Института реконструкции пути НКПС около Сковородино Забайкальской железной дороги; лаборатория в Чите; Якутская и Дальне-Восточная обсерватории.

нем до 20—25 *м*. Колебания геоизотермических поверхностей с глубиной все более и более выравниваются и исчезают вероятно совершенно на глубине 4000—5000 *м*.

Нормальное положение геоизотерм нарушается часто местными обстоятельствами, почему предсказания ожидаемых температур при прорытии туннелей, шахт и штолен принадлежат к труднейшим и ответственнейшим задачам технической геологии.

Выполнимость работ по проведению длинных туннелей под высокими водоразделами часто зависит лишь от максимальной, могущей встретиться в них температуры; ибо если человек парится в бане при температурах, достигающих 50° Ц, и если белок начинает сворачиваться при 60° Ц, то лишь небольшое количество рабочих сможет вынести в течение продолжительного времени тяжелую физическую работу в сыром и горячем воздухе глубоких выработок. Предсказание температуры земли на определенной глубине может быть постепенно доведено до большей степени надежности путем производства многочисленных наблюдений и тщательного изучения полученных результатов. Имеющихся ныне данных, полученных при измерениях в туннелях, рудниках и буровых, еще далеко не достаточно, хотя уже намечаются следующие соотношения между температурой и геологическим строением недр.

Сбросы увеличивают в большинстве случаев геотермический градиент отчасти вследствие того, что они иногда сопровождаются присутствием воды, действующей охлаждающе на породы.

Размер геотермического градиента в значительной мере зависит от *теплопроводности горных пород*, слагающих исследуемый участок земной коры. Эта теплопроводность определяется следующими коэфициентами: [1]

Воздух	0,00005
Каменный уголь	0,0003 — 0,0004
Мелкий сухой кварцевый песок	0,0003 — 0,0013
Гранит	0,0004 — 0,0097
Пемза	0,0006
Вода (влияние течения)	0,00124 — 0,02
Кварц $\perp$ к главной оси	0,0009 — 0,0016
„ $\parallel$ „ „ „	0,0026 — 0,0042
Глинистый слаиец	0,0019 — 0,0030
Обсидиан	0,0019
Мел	0,0022
Кремень	0,0024
Песчаник	0,0024 — 0,0307
Андезит	0,0031
Базальт	0,0032 — 0,0067
Мрамор	0,0012 — 0,0050
Порфир	0,0083
Известковый шпат	0,0090 — 0,0050
Каменная соль	0,0113 — 0,0137
Магнетит, окись железа	0,0200 — 0,0300

Чем больше теплопроводность породы, тем больше и геотермический градиент. Породы, насыщенные водой или хотя бы сильно смоченные,

[1] Лицам, совершенно незнакомым с минералами и горными породами, рекомендуется сначала изучить их по соответственным главам.

в общем увеличивают градиент. Теплопроводность составляет, — для сухой и насыщенной водой:

Торфяной земли	0,00027 и 0,0011
Глины	0,00033 „ 0,0021
Песчанистой глины	0,00045 „ 0,0032
Мелкого песка	0,00046 „ 0,0039
Крупного „	0,00047 „ 0,0041

Таким образом, влажность изменяет разницу в теплопроводности отдельных пород весьма значительно.

Нефтяные месторождения, наоборот, сильно понижают геотермический градиент. Мюльберг [1] установил его размер на нефтяных промыслах Фурберо в Мексике в 22,9 *м* (буровая *A*, 503 *м* над уровнем моря) и 26,7 *м* (буровая *B*, 694 *м* над уровнем моря), а на нефтеразведочных работах у Самаринды (Борнео) в 18,5 *м*. Геотермический градиент составляет в нефтяных скважинах:

Пехельбронн (Эльзас)	13,9 — 21,0
Апшерон (СССР)	28,4
Ечиго (Япония)	20,0
Оберштриттен	18,6 — 12,0
Оберкуценгаузен	13,4 — 16,2
Санта Мария (Калифорния)	23,0

Сухие, рыхлые породы, как то: сухие пески и мергеля, а также и мерзлая почва являются вследствие их насыщенности воздухом плохими проводниками тепла и вызывают тем самым понижение градиента, размер которого тогда колеблется в большинстве в пределах от 16,4 *м* (Кулекова) до 28,5 *м* (Якутск), достигая изредка 29—34 *м*.

В молодых вулканических областях геотермический градиент понижается еще больше; он определен:

Неуффен (Вюртемберг)	в 11,3 *м*
Санторин	„ 7,0 „
Монт Масси	„ 13,5 „
Машоль (Франция)	„ 14,2 „

Небольшой его размер объясняется близостью охлаждающихся, приподнявшихся из недр потоков лавы; чем новее извержения, чем обширнее их масса и чем менее отдалены от земной поверхности остывающие потоки лавы, тем меньше расстояния между поверхностями равных постоянных температур.

Подобным же образом геотермический градиент понижается также химическими процессами, происходящими в породах. Так например, при разложении многих сернистых соединений, как то: серного колчедана, марказита и др., освобождается большое количество тепла; вследствие этого геотермический градиент доходит в золотых рудниках Комсток в Неваде до 17 *м* и чрезвычайно затрудняет производящиеся на глубине до 672 *м* работы; в киноварном руднике в Идрии было определено минимальное значение градиента в 10 *м*.

Превращение растительных остатков в каменный уголь также вызывает заметное нагревание слоя. В каменном угле, в котором процессы превращения уже приближаются к концу, эта так называемая «теплота обугливания» меньше, чем в буром угле. Поэтому геотер-

[1] Königsberger und M. Mühlberg. Über Messungen der geotermischen Tiefenstuie. Neues Jahrbuch für Mineralogie, 1911, 31, Beilage Bd. S. 107 ff.

мический градиент и достигает в каменноугольных копях больших размеров [Рейнско-Вестфальский угольный район — 25—28 *м;* Фиенго (Бельгия) — 29,6], чем в буроугольных [Фальканауский бассейн (Северная Богемия) — 12,26 *м*; Брюкс-Теплицкая котловина (Северная Богемия) — 4,95—15,33].

По той же причине углекопы в старину при рытье шахты по повышению температуры заключали о приближении угольных пластов.

Подобно тому как повышение температуры предсказывает углекопу близость угля, так понижение ее при пробивке штолен или туннеля предвещает прорыв в штольню холодной воды. Охлаждающее действие подземных вод подтверждено, между прочим, опытом проведения Симплонского туннеля; сильные источники, обнаруженные в 4—5 *км* от южной вершины горы Валла, вызвали здесь значительное увеличение расстояний между поверхностями равных постоянных температур (рис. 3). Влияние таких холодных вод редко сказывается дальше 1—2 *км* и зависит от количества воды и ее температуры. Подобные явления наблюдались также и при проведении различных туннелей в восточных Альпах.

В Вохейнерском[1] туннеле температура пород под действием охлаждающих водяных источников нигде не превышала 12,8° Ц и составляла под самой вершиной, при налегающей толще в 1000 *м* известняков, только 9,4° Ц. Теллеру[2] удалось установить в Караванкенском туннеле теснейшие соотношения между температурой пород и водоносностью. Минимальные отметки кривой температуры совпадают с наиболее богатыми водой участками, именно с областью скопления воды в доломитах и с обильными притоками воды из брекчий. В Босрукском туннеле низшая температура была отмечена как раз под наибольшим возвышением горного массива (Босрук 2008 *м*), при налегающей толще 1300 *м;* наивысшая температура составляла неполных 10,5° Ц. Таким образом мы видим, что во всех альпийских туннелях, пробитых в известняковых горных массивах, температура породы вследствие

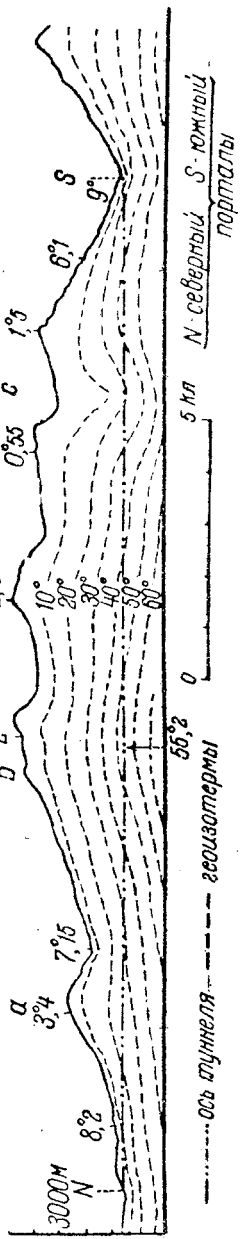


Рис. 3. Распределение температуры в туннеле С. Готард.

[1] Fr. Kossmat, Geologie des Wocheinertunnels. Denkschr. d. Kaiserl. Akad. d. Wissensch., matem.-natur. Klasse. Wien. 1907.

[2] Fr. Teller. Geologie des Karavankentunnels. Ebenda. Wien. 1910.

охлаждающего действия большого количества воды в известняках, всюду оказалась сравнительно очень низкой; знание таких свойств трещиноватых известняков и доломитов предохраняет при экспертизах от переоценки внутренней температуры гор.

Открытые трещины, пропасти, пещеры и т. п. в возвышенностях содействуют проветриванию их и тем самым и перенесению теплоты при помощи воздушных течений; теплопроводность вследствие этого повышается, а геотермический градиент увеличивается. Подобно водяным жилам воздушные полости встречаются особенно в известковых горах, благодаря чему геотермический градиент здесь бывает особенно большим. Для известняков истрийского карста, сильно трещиноватых и прорезанных выходящими на поверхность пещерами, Гефер дает цифру 62,72, как среднюю для геотермического градиента. Небольшие трещины и мелкие пузырчатые пустоты в породе также понижают теплопроводность и уменьшают одновременно и геотермический градиент, на что уже указывалось при описании температуры сухих земляных слоев.

Характер залегания горных пород в свою очередь имеет существенное влияние на величину геотермического градиента. Крутой наклон слоев (или кливажа) увеличивает его повышением теплопроводности; пологое и горизонтальное напластование уменьшает его, затрудняя распространение теплоты.

Кенигсбергер сообщает следующие данные для геотермического градиента слоистых пород:

Гнейсы круто наклоненные	35 — 37 *м*
Гнейсы сухие, падающие под углом в 45°	30 „
Гнейсы сухие и пологие	28 — 29 „
Филлиты сухие, падающие под углом в 45°	32 „
Филлиты сухие и пологие	30 — 31 „
Слюдяной сланец, метаморфические глинистые сланцы круто наклоненные	24 — 27 „
Слюдяной сланец сухой, падающий под углом в 45°	28 — 29 „

А. Гейм [1] и Шардт [2] показали, как пологое залегание пород в средней и южной части Симплонского туннеля понизило геотермический градиент до 28—29 *м*, повысив тем самым температуру горы на 10—13° Ц против предсказанной, так что последняя в 8000 *м* от северного выхода вместо ожидавшихся 42° Ц оказалась выше 55° Ц.

Измерения температуры в буровых скважинах значительно облегчают и подкрепляют геологические предсказания. Там, где геотермический градиент колеблется около среднего своего значения или даже его превышает, имеется мало шансов обнаружить руды, серные залежи, каменноугольные пласты и нефтяные месторождения. В местах же, где геотермический градиент имеет величину небольшую, он указывает на возможное залегание бурого или каменного угля, окисляющихся руд, залежей серы, превращающегося в гипс ангидрита, битуминозных пород, нефти, подымающихся горячих источников, или —

[1] A. Heim. Eclog. geol. Helv. 1904, S. 25. Vgl. auch Niethammer, g. Die Wärmeleitung im Simplon. Ebenda. 1910.

[2] H. Schardt. Wissenschaftliche Ergebnisse des Simplondurchschtiches. Verhandl. der Schweizernaturwissensch. Gesellsch. Wintert, 1909.

на близость молодых изверженных пород. Что из перечисленных возможностей именно явилось в каждом частном случае причиной уменьшения геотермического градиента, геолог сумеет установить на основании остальных результатов своих изысканий. Бывают случаи, что два различных вещества усиливают взаимно свое действие на градиент; в таком случае потребуется детальное изучение местности, чтобы избегнуть ошибок. По данным Кенигсбергера и Мюльберга, результаты измерения температуры буровых могут быть использованы лишь начиная с глубины в 200 *м* и более. Необходимо также иметь в виду случай, когда два различных фактора взаимно уничтожают свое влияние на геотермический градиент.

Что касается производства температурных измерений, то они меняются в зависимости от местных условий. В буровых применяются максимальные термометры с надетыми на оба конца резиновыми трубками, заключенные в герметический чехол с железными стенками в 4 *мм* толщиной, диаметром в 10 *мм*. Предохраняемый таким способом от повреждений термометр спускается на канате, на стальной цепи или на штангах в скважину. Чтобы по возможности уничтожить влияние на измерение стекающей в скважине сверху вниз воды, к верхней части термометра прикрепляется кожаный кружок с диаметром немного меньшим, чем диаметр скважины в свету; для ускорения опускания к нижнему концу прикрепляется соответствующий по весу груз. Наиболее выгодно производить измерение всегда на дне скважины. Время, в течение которого термометр должен оставаться на дне буровой, чтобы с достаточной точностью (± 0,04) определить температуры соответствующей глубины, зависит от свойств породы и воды, диаметра буровой и т. п.; оно равно в наполненных водою буровых 8—10 часам, при условии прикрепления термометра к штангам, и трем часам при опускании его на измерительной ленте; в сухих буровых 9 часам на штангах и 5—6 часам на измерительной ленте или канате; если со дна в буровую втекает жидкость, то время измерения может быть сокращено на ¼—½ часа. Применяемый максимальный термометр должен быть снабжен на верхнем конце крючком или кольцом для облегчения вытягивания, металлической предохранительной сеткой для ртутного резервуара и шкалой на 0—60° Ц с могущими быть непосредственно отсчитанными пятыми долями градуса.

В копях, штольнях и туннелях на точности температурных измерений сильно отражаются вентиляционные приспособления, теплообразование от произведенных взрывов, присутствие людей и т. п. Измерение должно быть произведено по возможности в сухой скважине глубиною 0,8 *м* в забое или боковой стене штольни. Не должно быть допущено влияния на температуру скважины втекающей воды или рядом лежащей водяной жилы. Термометр вводится через 24 часа после бурения в скважину, отверстие которой после этого плотно закрывается пробкой. В заделанной таким образом скважине термометр оставляется на 24-часовой срок; после этого первый раз отмечается результат, в дальнейшем результат проверяется ежедневно, пока не будет установлена средняя температура.

Приводим некоторые данные измерения температуры на больших глубинах.

	Глубина в *м*	Градусы Ц
„H. Lake" буровая у Фермонта (Сев. Америка)	2133,6	77,8
Буровая у Чухова, Верхняя Силезия (общ. глуб. 2239,7 *м*) . .	2221,0	83,4
„ „ Парушовиц (общ. глуб. 2003,3 *м*)	1959,0	69,25
„ „ Шладебах (около Мерзебурга)	1716,0	56,6
„ „ Шперенберга (южнее Берлина)	1368,0	48,1
Буроугольные копи Фонсдорф (Штейермарк)	534,0	25,1
Каменноугольный рудник Розбридж (Англия)	745,0	34,5
Шахта Адальберт, Пршибрам (Чехо-Словакия)	889,0	21,8

Хотя человек до сих пор и сумел произвести путем бурения и горных работ исследование лишь тончайшей оболочки земного шара — 1/3000 его радиуса, но все же результаты произведенных измерений температуры дают право сделать вывод, что температура с приближением к центру Земли возрастает. Прирост теплоты на глубину до 30 *км* изменяется, по предположениям Томсона и Тэта, в арифметической прогрессии; в еще больших глубинах возможно ее увеличение в геометрической прогрессии.

Наличие в глубинах земных недр высоких температур подтверждается также горячими источниками, выходящими из земли.

Так например обладают:

	Температура Ц
Пещерный источник в Баден-Бадене (Германия)	86°
Карлсбадский шпрудель „	73,8°
Кипящий колодец в Висбадене „	68°
Теплые источники Гаштейна „	48°
„ „ Теплиц-Шенау „	48°

Лавовые потоки, извергающиеся из вулканов, обладают температурами свыше 1000—1100° Ц; они расплавляют излучаемым ими жаром, как это установлено во время одного из извержений Везувия, сосуды из меди (температура плавления 1082°). Из всего этого можно заключить, что на *больших глубинах земных недр существуют очень высокие температуры.*

§ 6. Радиоактивные вещества и их геологическое значение

За последнее время сделаны попытки использовать результаты исследования радия и для геологических целей; стремление это облегчалось сравнительно широким распространением как самого элемента радия, так и радиоактивных веществ в атмосфере Земли и в ее коре. Нахождение их в земной коре связано преимущественно с минералами, содержащими уран, радий и торий, в частности, например, с урановой рудой и торитом, а также с продуктами их разложения. Минералы эти встречаются особенно часто в крупнозернистых («пегматитовых») жилах гранитов. Носителем радиоактивности является также и минерал циркон. Под действием выветривания и денудации соли радия выделяются из радиоактивных веществ и попадают в почву, в родниковую воду, в осадочные породы и в воздух. Поскольку установлено, что осадочные породы в общем содержат

меньше радиоактивных веществ, чем изверженные породы, — можно предполагать, что последние возобновляют свою радиоактивность из недр Земли. Существование радия не ограничивается, впрочем, только Землей, но обнаружено также и на далеких звездах; так, на новой звезде в созвездии Близнецов обнаружен радий и продукты его распада (эманация, гелий), а также и уран. Явления распада радия дают возможность определить, хотя бы приблизительно, возраст Земли и длительность отдельных больших периодов ее истории.

Любопытны изменения в окраске, претерпеваемые многими минералами под влиянием излучений радиевых солей (радий-хлорид, радий-бромид, радий-флуорид), могущие сыграть роль в технике.

Бесцветные или обесцвеченные путем сильного накаливания цирконы окрашивались, например, под действием радия в цвет бурокрасного гиацинта. Некоторые апатиты обесцвечиваются при накаливании, становясь под действием лучей радия попрежнему фиолетовыми. Каменная соль под действием радиевых лучей становится желтой, под действием же катодных — синей. Санидин теряет при накаливании свой коричневый цвет и восстанавливает его под действием лучей радия; из этого можно вывести, что он и в природе получил, как дымчатый кварц, свою коричневую окраску лишь после охлаждения окружающих туфов и под действием излучений.

Ряд исследователей изучал роль радия в силовом хозяйстве Земли. Содди высказал мнение, что радий своим излучением питает не только собственную теплоту Земли, но снабжает теплом также и всю вселенную. Такому мнению надлежит противопоставить то обстоятельство, что до сих пор в солнечном спектре не удалось обнаружить радийсодержащих веществ, как и то, что, по всей вероятности, вещества эти отсутствуют и в земном ядре. Наибольшее число сторонников в последнее время имеет воззрение, согласно которому освобождающиеся при распаде радия и родственных солей количества тепла хотя и замедляют охлаждение земного шара, но не могут ни существенно влиять на тепловые соотношения собственно внутренних областей земного шара, ни, тем менее, быть причиной высокой температуры самого ядра Земли. Для определения степени влияния разложения радиоактивных веществ на геотермический градиент достаточных данных пока еще не имеется.

§ 7. Магнетизм Земли

Земля влияет, как громадный чрезвычайно сильный магнит, на все тела, которые вообще подвержены магнитному влиянию; она обладает таким образом сама крупным запасом свободного магнетизма (земного магнетизма). Последний определяется для данного места и времени притяжением свободно подвешенной магнитной стрелкой к северному магнитному полюсу Земли, находящемуся в арктической части Сев. Америки и не совпадающему с географическим полюсом. Положение магнитной стрелки в пространстве определяется двумя углами. Один из них, образуемый магнитной стрелкой с меридианом данного места, называется *склонением* магнитной стрелки, другой же представляет угол наклона магнитной стрелки к горизонту и называется *наклонением* магнитной стрелки.

Этими данными магнитная сила определяется в отношении ее направления; мощность ее определяется *напряженностью* магнетизма.

Места равных склонений соединяются так называемыми *изогонами,* точки равных наклонений *изоклиналами;* на *изодинамах* лежат места с одинаковым напряжением магнетизма. Нолевая изогона отделяет места с западным склонением от таковых с восточным склонением.

Проявления земного магнетизма меняются не только в зависимости от местонахождения наблюдателя, но также и в одном и том же месте земной поверхности в зависимости от времени наблюдения; в величине их наблюдаются суточные, годовые и вековые колебания и внезапные нарушения. Наиболее значительные изменения претерпеваются склонением магнитной стрелки. Суточные колебания вызываются тем, что магнитная стрелка из наиболее восточного положения, занимаемого ею в 8 часов утра, начинает отклоняться к западу, чтобы с 1 — 2 часов дня вновь сначала скорее, а потом медленнее, вернуться в исходное положение. Величина суточных колебаний достигает летом 25′ и составляет в летнее время года в среднем 12′; зимой она уменьшается до 5′, с средним значением в 8′, что почти равно годичному колебанию. При суточных и годичных колебаниях ясно проявляется влияние высоты солнца. Вековые колебания, время обращения которых занимает около 1300 лет, состоят частью в постоянных перемещениях магнитных полюсов Земли с востока на запад. Для 1933 года склонение составляло в следующих пунктах в круглых цифрах: [1]

Владивосток	— 8° 30′
Иркутск	— 0° 00′
Ленинград	+ 4° 05′
Тифлис	+ 5° 00′

Внезапные колебания магнитной стрелки называются магнитными бурями. Иногда они предшествуют значительным землетрясениям, следующим за ними через несколько часов. В других случаях они сопутствуют северному сиянию. Случайные нарушения обычных колебаний магнитной стрелки чисто местного характера могут также вызываться проходящими поблизости грозами.

На направление прохождения изогон, а в сильно ослабленных размерах и остальных магнитных линий, влияют в отдельности рельеф местности, распределение суши и моря и в значительной степени характер геологического строения местности.

Исследования земного магнетизма в Гарце и его окрестностях выяснили, что не только линия равных отклонений отвеса южнее Брокена сдвинута на юг под влиянием больших масс тяжелых, богатых железом диабазовых пород, но что по той же причине смещена и изогона, и при этом в том же направлении, как и линия равных отклонений отвеса. Аналогичные явления обнаружены и в ЦЧО (б. Курской губ.) при исследованиях известной Курской магнитной аномалии, приведших к открытию крупного железорудного месторождения. Отклонения магнитной стрелки, вызываемые железом, железной рудой (главным образом магнитным железняком) и магнит-

[1] Западное склонение со знаком —, восточное склонение со знаком +.

ными породами, являются более ограниченными по площади. Менее известно магнитное влияние других горных пород.

Породы либо просто магнитны (притягивают оба полюса магнитной стрелки равномерно), либо полярно-магнитны (притягивают один полюс и отталкивают другой).

Сильный магнетизм проявляют выступы скал; вскрытые в ломках породы почти никогда полярным магнетизмом не обладают. При этом магнитные полюсы распределены в породе в большинстве случаев очень неравномерно, весьма часто нахождение разноименных полюсов наблюдается в непосредственной близости друг от друга. Соответственно с этим отклонения магнитной стрелки компаса геолога могут меняться бессистемно и внезапно, когда производятся измерения простирания и падения полярно-магнитных в различных местах пород. Такое проявление полярно-магнитных каменных масс указывает, что величину магнетизма каменных пород надлежит искать в разрядах атмосферного электричества; опыты по магнетизации кусков каменных пород при помощи мощной индукционной машины подтверждают это предположение. При этом гранит стал сильно полярно-магнитным, сиенит, фонолит и мелафир — слабо, змеевик — довольно сильно и авгитовый порфир — сильно полярно-магнитным.

Результаты этих опытов показывают, что степень магнетизации возрастает с увеличением содержания железа, главным образом магнитного железа в породе; это совпадает также и с наблюдениями в поле, которыми до сих пор наибольший полярный магнетизм отмечался именно в богатых железом основных изверженных породах.

Почти каждая базальтовая вершина более или менее полярно-магнитна. Этот факт требует при буссольных наблюдениях большой осторожности.

Особенно сильно отклонение магнитной стрелки рудными залежами как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Это обстоятельство может сослужить при разведках и исследованиях рудных тел хорошую службу. Основанная на этом магнитная разведка разработана Петерсоном в Стокгольме, а в СССР проф. В. Бауманом и применяется часто и с успехом, особенно с 1925 г.

§ 8. Земное электричество

Вблизи рудных залежей уже давно обнаружено присутствие электрических токов. Наблюдаемые в телеграфных и телефонных проводах электрические явления, нередко сильно нарушающие правильное действие приборов, также указывают на присутствие в верхних слоях земной коры электрических токов, проходящих в горизонтальной плоскости. Отчасти они вызываются грозами, отчасти же являются следствием космических явлений (на Солнце).

В последнее время земные токи вызываются искусственно в связи с успехами электротехники, когда пользуются землей или же проложенными в земле рельсами в качестве обратного проводника электрических токов; вследствие этого в земной коре образуются разности потенциалов, влекущие за собой в свою очередь появление новых земных токов. Так например установлено, что на изгибах рельс электрических дорог часть тока проходит по хорде дуги через землю; полу-

чающиеся таким образом «блуждающие» токи наверняка вызывают электролитическое разложение почвы, что не может быть лишено интереса для почвоведения. Поверхность Земли, в противоположность заряженной большей частью положительным электричеством атмосфере, заряжена отрицательно. В среднем разница потенциалов поверхности Земли и атмосферы составляет около 100 вольт на метр. Постоянно протекающий из атмосферы на каждый квадратный сантиметр земной поверхности ток равен, если принять проводимость воздуха в среднем в $2{,}10^{-4}$ единиц, $2{,}2.\ 10^{16}$ ампер.

Эти токи, проходящие земную кору в отвесном направлении, в свою очередь изменением заряда поверхности Земли вызывают в различных пунктах опять-таки горизонтальные токи.

Большинство осадков, падающих на землю, приносят земной поверхности новые отрицательные заряды. Эти последние состоят из отрицательных ядер, на которых водяные капельки осаживаются легче, чем на положительных ионах. При волнении морская вода также заряжается отрицательно. Эманация, постоянно излучаемая радиоактивными веществами, откалывает беспрерывно ионы от газовых молекул атмосферы; так как отрицательные ионы обладают большей скоростью передвижения, чем положительные остатки, то отрицательные электроны задерживаются Землей, в то время как положительные уходят в атмосферу. Таким образом радиоактивные вещества земной коры так же содействуют отрицательному заряду Земли и положительному заряду атмосферы. Поскольку эти заряды не распределяются равномерно по поверхности Земли, постольку из получающейся вследствие этого разницы потенциалов вновь происходят горизонтальные токи.

Электропроводность отдельных горных пород и целых участков земной поверхности весьма различна. На этом, как и на магнитных свойствах, основан также особый метод, или, вернее, ряд методов, геофизической разведки, так называемой «электрометрии», за последнее десятилетие широко разработанной в СССР и применяемой часто и с большим успехом различными геолого-разведочными организациями. Ниже, в соответственных главах, будут указаны случаи удобного применения этих методов и в геотехнической практике.

§ 9. Физические условия вулканических явлений

Современное распределение тепла в земной коре является, как на это уже указывалось выше при рассмотрении геотермического градиента, следствием медленного охлаждения земного шара. Охлаждение это замедляется притоком тепла от Солнца и излучением радиоактивных веществ.

Не зная еще точно внутреннего состояния Земли, мы предполагаем, что на глубине 30—40 *км* залегает уже слой раскаленной массы, переходящей кверху без резких границ в твердую кору; общая же толщина внешней земной оболочки определяется в 100—120 *км*.

Внешняя твердая кора давит с чрезвычайной силой на расплавленную подстилающую ее массу. Принимая плотность пород в среднем за 2,8, мы получаем на глубине:

1 *км*	давление	около	280 *кг*	на	квадратный	сантиметр
10 „	„	„	2 800 „	„	„	„
20 „	„	„	5 600 „	„	„	„
30 „	„	„	8 400 „	„	„	„

На больших глубинах давление далеко превосходит сопротивление на сжатие известных нам горных пород земной поверхности, измеренное в наземных условиях. Высокое всестороннее (гидростатическое) давление в больших глубинах приводит сначала к уплотнению пород, а потом, вероятно, превзойдя границу упругости, к превращению их в скрытопластичное состояние. Процессами этими обусловливаются явления регионального и дислокационного метаморфизма, совершенно изменяющие внутреннее сложение пород (см. ниже гл. III).

Так как физические условия вулканических процессов меняются в зависимости от глубины их проявления, то можно расчленить всю толщу деятельного слоя земного шара на ряд следующих глубинных ступеней:

1. *Поверхность:* она характеризуется наличием больших количеств кислорода, низким давлением (равняется 1 *ат*) и сравнительно низкой температурой; следствием этих причин являются внезапное падение давления, действующего на подымающиеся расплавленные массы, и быстрое охлаждение, сопровождаемое одновременно быстрым улетучиванием газов.

2. *Водная оболочка* (гидросфера): уменьшение давления не происходит столь внезапно, как на воздухе, но зависит по размерам своим от глубины того водоема, на дне которого происходит извержение (от 1 до 700 и более атмосфер). Скорость охлаждения приблизительно равна таковой на поверхности земли.

3. *Зона катаморфизма:* распада, разрушения, окисления. Более сложные соединения стремятся здесь превратиться в более простые; степень теплоты средняя, всестороннее сжатие небольшое; ориентированное давление может достигать очень больших размеров, как например, в складчатых горах. *Зона эта совпадает с зоной сжатия.* Зона катаморфизма разделяется на верхнюю и нижнюю части.

В верхней части, называемой также *поясом выветривания,* обнимающем тонкий слой от поверхности до уровня грунтовых вод, преобладают окислы, а также водные и углекислые соединения с одновременным беспрерывным разрыхлением и разложением пород. В значительно более мощном *поясе цементации* окислов значительно меньше по сравнению с водными соединениями и с образованиями углекислых солей. Выщелоченные в других, частью выше, частью ниже лежащих поясах, вещества выпадают здесь и цементируют рыхлые породы или же заполняют имеющиеся пустоты в твердых породах.

4. *Зона анаморфизма* (новообразований) — восстановления. Она простирается вглубь до огненно-жидкой массы и обнимает тот пояс, в котором происходит образование сложных кремнекислых солей. Теплота достигает очень высоких степеней, приближаясь местами к температуре плавления; всестороннее давление также достигает очень больших размеров. Соответственно с этим углекислота вытесняется кремнекислотой, и силикаты всех родов приобретают первенствующее значение. Вследствие недостатка кислорода преобладают восстанавливающие процессы. Содержащие гидроксил минералы в большинстве исчезают. *Зона эта совпадает с зоной растяжения земной коры.*

5. *Зона магмы.* На глубине 30—40 *км* начинается по всей вероятности пояс расплавленных масс. Тестообразные и тягучие массы могут служить связующими звеньями. Очень высокая температура и сильнейшее всестороннее сжатие обусловливают химическое равновесие и взаимодействие веществ.

Большие потоки прорвавшейся на земную поверхность магмы (называющейся тогда уже лавой; см. ниже) имеют температуры колеблющиеся около 1100° Ц. Лавовое озеро Килауеа на Гавайских островах, по всей видимости связанное непосредственно с расплавленно-жидкими массами глубин, имеет температуру лавы еще более высокую, доходящую до 1200—1300° Ц.

Для определения температурных условий магмы ниже поверхности Земли можно также руководствоваться точкой плавления различных минералов, колеблющейся между 800° и 1800° Ц.

Плотность расплавленной массы долгое время была очень спорной; одни утверждали, что магма при остывании расширяется, другие упорно отстаивали мнение, что она при охлаждении уменьшается в объеме. Ныне спор может считаться решенным в пользу последнего воззрения. В отношении степени плотности отдельных плавок можно построить восходящий ряд, начинающийся наиболее кислой — гранитной и в то же время и наиболее легкой расплавленной массой, и ведущий через сиенит, диорит и габбро к основным тяжелым пироксенитам и перидотитам. Поэтому вообще кислые породы плавают на расплавленных основных породах, в то время как основные породы тонут в кислых расплавленных массах.

Магма рассматривается как огромный силикатовый расплав, содержащий ряд растворенных в нем газов.

Застывание магмы не происходит при определенной температуре, подобно точке плавления или застывания минералов. Кристаллизация отдельных составных частей магмы занимает довольно обширный период времени, более короткий при жидких и более долгий при тягучих, густых магмах. При наличии в расплавленной массе сильного внутреннего трения и недостатке, при большой скорости охлаждения, времени для постепенной, медленной кристаллизации, закономерное соединение связанных в своем движении молекул может вообще не произойти, и тогда расплав застывает в виде стекла.

В сравнении с значительно более частым кристаллическим застыванием образование стекла должно рассматриваться как исключение и происходит лишь на поверхности, т. е. при вулканических извержениях в тесном смысле слова.

§ 10. Вулканизм и происхождение изверженных пород

Вулканические процессы принадлежат к наиболее величественным явлениям природы, наблюдаемым на Земле; они возникают в раскаленных массах, заполняющих недоступные нам глубины земных недр, но присущи также Солнцу и многим другим мировым телам.

Первичое проявление действия раскаленных масс мы встречаем в солнечных факелах, образуемых газовыми вихрями. Если при охлаждении звезды на ней уже произошло отделение жидкого ядра от газообразной оболочки, то кроме раскаленных газов извергаются также и расплавленные массы (магмы); но все эти проявления раскаленных масс не оставляют за собой длительных следов. Последние становятся видимыми лишь после образования путем охлаждения твердой коры.

С нарастанием толщины твердой коры сила вулканических извержений уменьшается; раскаленные массы прорываются уже лишь в отдельных местах поверхности сначала по трещинам, а затем в немногочисленных точках — центрах извержения, с трудом пробивая сопротивляющуюся твердую кору. На такой ступени развития вулканизма находится в настоящее время Земля. Утолщение коры, исчезновение газов, прогрессирующее по направлению к центру охлаждение прекращают, наконец всякие проявления вулканизма, и звезда (подобно, например, Марсу) приближается к своему старческому возрасту.

При извержениях огнедышащих гор Земли — вулканов, из недр подымаются газы и расплавленные массы; земля содрогается под действием извержения, а в недрах Земли, как в большой плавильне, подготовляются явления самого извержения. Таким образом, понятие земного вулканизма объемлет в равной мере как явления, происходящие в недрах Земли, так и на ее поверхности, и наиболее правильно определять это понятие как *учение об образовании и поднятии расплавленных масс земных недр.*

Если расплавленной массе удается прорвать твердую кору и подняться до земной поверхности, то такое явление называется *изверже-*

нием, а образующиеся из остывающей на поверхности Земли магмы породы — *излившимися* (вулканическими или *эффузивными*) *породами*. Те же вулканические явления, которые происходят в глубинах, не проявляясь на поверхности, называются глубинными или интрузивными, а образовавшиеся внутри земной коры медленным застыванием под давлением магмы — *глубинными породами* (плутоническими или *интрузивными*). Глубинные породы вместе с излившимися составляют большую группу первичных или *изверженных пород* (рис. 4). В различных более мелких полостях, трещинах и каналах поднимающаяся на пути к поверхности магма застывает в виде *жильных пород* (рис. 4, *2*).



Рис. 4. Взаимоотношение пород глубинных (интрузивных), слагающих батолит (*1*), жильных, прорывающих свиту дислоцированных осадочных пластов (*2*), и эффузивных, излившихся через кратер вулкана по поверхности земли (*3*). Разрез земной коры на 1 — 5 *км*.

§ 11. Поверхностные извержения

При массовых извержениях лавы образуются *массивные* или *однородные вулканы;* наслоением же лав и рыхлых продуктов извержений перемежающимися пластами образуются так называемые *слоистые вулканы*. Различают извержения *центральные, линейные и площадные*, в зависимости от происхождения их из одной точки (центра), из линии или же целой площади. Линейные и площадные извержения образуют распространяющиеся по площади покровы излияния лав. Центральные извержения, наоборот, доставляют преимущественно рыхлые продукты извержения (пепел и отдельные глыбы и куски увлеченных извержением пород), по отношению к которым жидкая масса лавы играет подчиненную роль. Изверженные массы отлагаются со всех сторон центра извержения; канал извержения оканчивается на вершине вулкана воронкообразным углублением, называемым *кратером*.

В отношении возраста площадные извержения наиболее древние; с продолжавшимся охлаждением земной коры сила извержений все более и более стихала и привела через линейные извержения к центральным, ныне занимающим среди вулканических явлений земной поверхности первое место.

Газы, выделяемые расплавленно-жидкой массой при прогрессирующем охлаждении, при всяком уменьшении давления, а также и

при кристаллизации, играют во всех извержениях существенную роль. Их действие при извержении проявляется двояко. С одной стороны, они разрывают мгновенным разрушением верхние покровы и откалывают от стен канала извержения глыбы породы, расширяя его тем самым; с другой же стороны, они действуют подобно пламени паяльной лампы на стены канала и окружающие породы, расплавляя их.

Извержение газов и остальных продуктов извержения происходит в одном и том же вулканическом районе при центральном извержении из нескольких или даже многочисленных каналов, в зависимости от количества изверженных масс или от интенсивности их деятельности; вследствие этого каналы могут быть разделены на главные и второстепенные или боковые каналы извержения. Вокруг главного канала извержения образуется главная вершина вулкана, так например вершина Этны, Везувия и т. п. Главный канал вулкана остается в действии обычно в течение долгого срока, если же вершина и главный канал возрастают до значительной высоты, тогда расплавленные массы стремятся найти более легкий выход где-либо сбоку.

Продукты, доставляемые вулканом при извержении на земную поверхность, частью газообразны, частью тверды или жидки, как например изливающиеся лавы, вулканические рыхлые продукты (бомбы, вулканические пески и пыль), обломки пород, встречающихся в глубине канала извержения (более древние изверженные породы, осадочные породы, кристаллические сланцы).

Лава

Сборным наименованием «лавы» обозначаются все магмовые образования, попадающие в текучем (жидком) виде на земную поверхность. Скорость их движения в первую очередь зависит от степени их тягучести (вязкости), но на нее влияют также и уклон поверхности, по которой они стекают, а также давление, производимое новыми, догоняющими передние потоки, массами лавы.

Очень вязкие лавы образуют у отверстия извержения возвышения в виде куполов, колоколов или конусов; быстрое застывание наружного покрова не позволяет медленно поднимающимся и изливающимся лавам распространяться во все стороны в виде покровов. Такие образования, возрастающие под давлением все новых поднимающихся и выпариваемых газами лавовых потоков, называются *купами набухания*.

Жидкие лавы образуют потоки, т. е. длинные, узкие излияния, отверстия извержения которых всегда расположены в отношении места застывания лавы выше; такие потоки наблюдаются преимущественно в особо жидких лавах (например в базальтовых, но отмечены также в трахитах и фонолитах). По крутым склонам магма стекает узкими и тонкими потоками, расширяясь по мере большей пологости склонов и одновременно утолщаясь. На равнинах они расширяются при достаточно большой массе в цельные покровы, всегда расстилающиеся полого, а иногда и горизонтально, и погребающие под собой место извержения; поверхностный наблюдатель легко мо-

жет ошибиться и принять их за осадочные породы. Более значительные покровные излияния питаются уже не одним каналом извержения, а целой трещиной.

Из покровов могут образоваться подземные залежи, если массы изверженных пород перекрываются осадочными породами. Такие пластовые залежи отличаются от пластовых жил тем, что они никогда не излучают разветвлений в висячий бок (см. ниже).

Тягучие, вязкие лавы образуют лишь короткие потоки, застывающие преимущественно в виде сжатых куполообразных форм. Вследствие сильного внутреннего трения и незначительной скорости движения такие излияния могут остывать также с крутым откосом. Так образуются из особенно густых потоков *купола*, являющиеся переходной ступенью к конусам набухания. Все настоящие купола связаны (или первоначально были связаны) с жилами или другого вида жильными образованиями, являющимися их подземным продолжением, как бы их корнем, и представляющими те пути, по которым лавовые массы подымались к земной поверхности. Такая тесная связь с жилами и закономерные внутренние формы отдельности отличают настоящие купола от мнимых, более или менее округленная форма которых образуется под действием разрушающих сил выветривания.

Рыхлые продукты извержения

В настоящее время вулканы извергают значительно больше рыхлых масс, чем лавы; при некоторых извержениях на поверхность земли выбрасываются лишь разрушенные массы, а на нескольких вулканах лавы вообще не наблюдались, а ими извергались только рыхлые продукты. Во многих случаях количество изверженной массы чрезвычайно велико: оно оценивается, например, при извержении:

Тамборо (Сумбава)	в 1815 г.	в 150 млрд. $м^3$
Кракатау	„ 1883 „	„ 18 „ „
Таравера (Н. Зел.)	„ 1886 „	„ $1\frac{1}{2}$ „ „
Папандаян	„ 1772 „	„ 1 „ „

Более крупные изверженные тела называются *бомбами*.

В расплавленном состоянии выбрасываются глыбовые массы, падающие на землю в виде *шлаков*. Быстрое охлаждение во время полета по воздуху вызывает образование более или менее стекловидного или пористого сложения. Шлаки в форме бомб называются шлаковыми бомбами. Наиболее часто шлаковые образования встречаются в кислых породах; если шлаковые образования значительно пористы при плотности около 1,0 и даже ниже этой величины, то такие шлаки называются *пемзой*.

Мелкие изверженные частицы, величиною с горошину или грецкий орех, называют вулканическими камешками или *лапилли*. Они выбрасываются в твердом, нерасплавленном, пластичном или жидком состоянии.

Частицы величиною от крупы до горошины называются *вулканическим песком;* еще меньшие, пылеобразные, тончайшие образования обнимаются понятием *пепла*.

Образование осадочных пород из рыхлых продуктов извержения

Соприкосновение магмы с морской водой содействует стекловидному застыванию лавы и вызывает шлакообразные свойства образующихся пород. Рыхлые продукты извержения распространяются на значительно большую площадь, чем на суше, ибо распыленные вещества магмы не осаждаются в воде значительно дольше и поэтому могут быть разнесены различными течениями на большие расстояния.

Из рыхлых продуктов извержения образуются путем отложения, наластования и затвердения породы, стоящие в середине между изверженными и осадочными породами и обозначаемые обычно сборным наименованием *вулканические туфы* или «туфы изверженных пород». Они образуются различными способами: либо они остаются лежать на месте первоначального отложения, затвердевая здесь под действием просачивающейся воды, и т. п., либо они после первого отложения переносятся ветром или проточной водой в место нового отложения.

Очень распространена классификация туфов по магмам или соответственно изверженным породам, с которыми они тесно связаны своим происхождением.

Хорошо сцементированные кремнистыми связующими веществами кварцевые порфировые туфы представляют хороший строительный камень, отличающийся большой прочностью и вполне удовлетворительной стойкостью на выветривание, испытанной многократно как при подземных, так и при надземных постройках; что же касается подводных построек, то, вследствие не совсем удачных опытов в отношении их довольно легкого разложения под действием воды, рекомендуется их применять лишь с большой осторожностью. Порфировые туфы с глинистыми прослойками, обнаруживающие свою природу глинистым запахом при дыхании, размягчаются в воде и легко разрушаются; поэтому они не годятся ни для подводных построек, ни для фундаментов.

Трахитовые туфы или наиболее прочные их разновидности доставляют иногда весьма ценный строительный, тесовый и поделочный камень, сопротивление раздроблению которого вполне отвечает скромным запросам. Удельный вес трахитовых туфов колеблется между 1,4 и 2,2.

Трассом называется тонкий, плотный пемзовый туф, отложившийся по всей вероятности из мощных потоков ила. Размельченный, размолотый и смешанный с песком и известью он дает твердеющий под водой раствор, великолепные качества которого ценны особенно для постройки барражей, плотин и т. п.

Выделение вулканических газов

Газы и пары, выбрасываемые вулканами во время самих извержений, могут выделяться также и по окончании самого извержения; выделение их продолжается иногда и после прекращения вулканической деятельности. Так, 13 июля 1933 г. в Румынии у г. Медиас

неожиданно из старого кратера вырвался столб горящего газа, высотой в 300 *м*, горевший долгое время, освещая все окрестности на 10 *км* вокруг.

Горячие ключи (кипящие ключи, *гейзеры*) выбрасывают через более или менее правильные промежутки времени толчками водяной пар и кипящую воду; после каждого извержения ключ успокаивается, и гладкая водяная поверхность застилает ключевое углубление. Горячие воды растворяют по пути прохождения кремнекислоту, известь или другие вещества и осаждают их либо у верхнего выхода канала извержения, либо по соседству его; осаждение это вызывается происходящим охлаждением или испарением. Таким образом вокруг горячих ключей или их выходных отверстий образуются холмы или ступенчатые образования из известковой или кремнистой накипи, нередко совершенно своеобразной красоты.

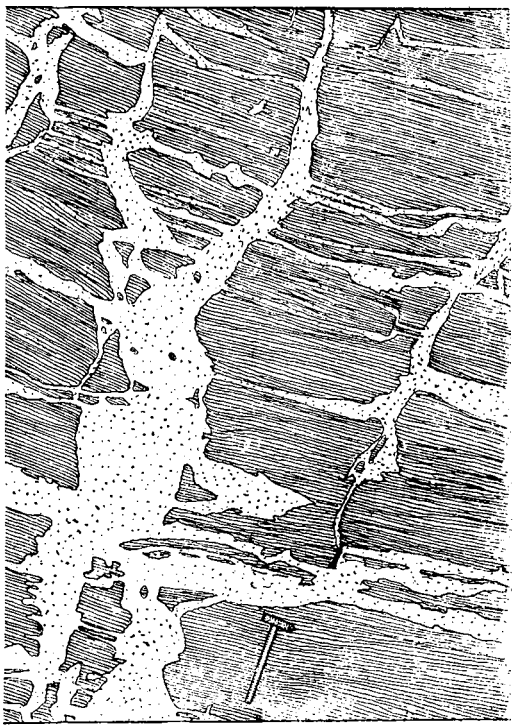


Рис. 5. Разветвление жил (пегматита в гнейсе).

§ 12. Вулканизм на глубине

О происходящих на больших глубинах вулканических явлениях известно еще очень мало достоверного. При остывании массы изверженных пород принимают в зависимости от обстоятельств самые разнообразные формы.

Частую форму залегания изверженных пород представляют инъекционные массы и *интрузии*. Если магма проникает в породу вдоль трещин или плоскостей сланцеватости, то говорят о согласной инъекции, или впрыскивании; несогласной она называется, если внедрение магмы происходит поперек плоскостей напластования смежной породы. И в том и в другом случае смежная порода претерпевает некоторое большее или меньшее превращение (*метаморфизм*). Оно вызывает, например, образование *ленточных* или *жильных гнейсов*, прожилки которых прорезывают породу по самым разнообразным направлениям.

Штоки — это округленные бесформенные массы изверженных пород, продольный разрез которых в общем обнаруживает грубую конусообразную форму, иногда со ступенчатым очертанием боков, от которых отходят в прилежащую породу многочисленные разветвления (апофизы, отпрыски).

Штоки представляют выпуклые верхние части огромных лежащих на глубине *интрузивных массивов — батолитов.*

Наиболее часто изверженные породы встречаются в виде жил. Это неправильные образования, ограниченные с боков более или менее параллельными плоскостями, простирающиеся на значительно большее расстояние по длине, чем по ширине; жилы представляют таким образом более или менее плитообразные формы заполнения, прорезающие более древние породы разных видов (изверженные породы, кристаллические сланцы, осадочные породы) (рис. 4, 5, 6). Перпендикулярное расстояние между боками жилы (называемыми зальбандами) определяет мощность жилы; угол, составляемый горизонтальной прямой линией, идущей по поверхности жилы, с меридианом, определяет *простирание* жилы, а наклонение ее к горизонтальной плоскости—ее *падение;* у наклонной жилы различают *висячий* и *лежачий бок* (рис. 7).

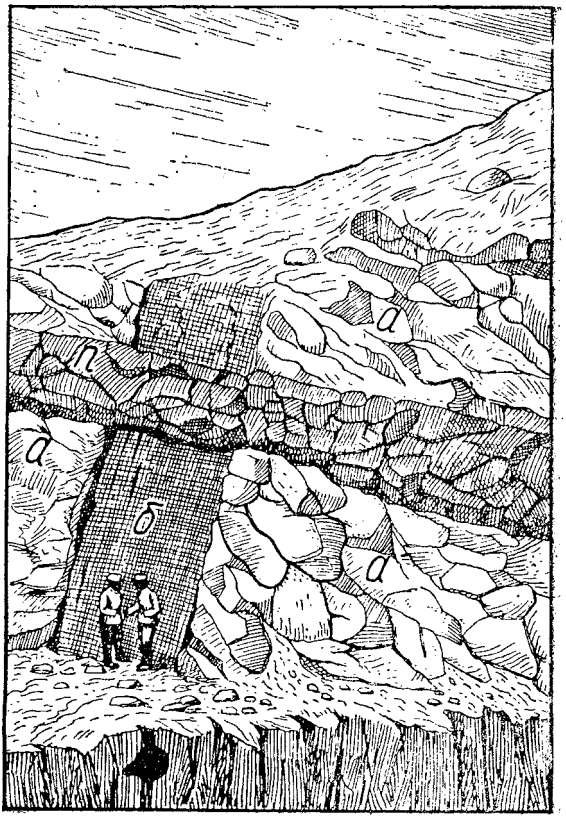


Рис. 6. Пересечение жил разного возраста: жила *п* моложе жилы *б*, которая в свою очередь моложе пересекаемой ею породы *а*.

Пересечение жильной массы с земной поверхностью называется выходом жилы. Если слагающая жилу порода лучше сопротивляется действию разрушительных сил, чем окружающие ее породы, то жилы на местности выдаются в виде простирающихся более или менее прямолинейно стенообразных скал — д а е к.

Если же жильная масса выветривается легче окружающей породы, то образуются бороздообразные углубления, узкие расселины. Мощность жилы уменьшается к ее концу, она, как говорят, выклинивается.

Очертание выклинивания часто неравномерно криволинейно, так что в выходах можно наблюдать прерывчатое строение одной и той же жилы.

Мощность жил колеблется в широких пределах от нескольких дециметров до сотен метров.

Если старая жила вновь прорывается и заполняется магмой другого состава чем первая, то образуется сложная жила; такие смешан-

ные жилы могут также образоваться путем расщепления подымающейся в расщелине магмы.

Жилы, простирание или падение которых имеют различное направление, могут пересекать друг друга; в таком случае жила, пересекающая другую, очевидно моложе ее.

В строительно-техническом отношении жильные породы, особенно при незначительной мощности жилы, играют лишь подчиненную роль.

Если массы изверженных пород не прорезают окружающую породу под острым или прямым углом как настоящие жилы, а залегают согласно с ними так, что они представляют более или менее

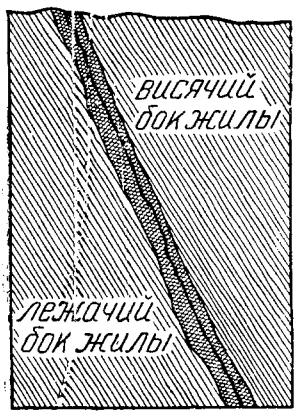


Рис. 7. Вертикальный разрез крутой жилы.

правильные включения между пластами, то такие образования называются *пластовыми жилами*; такие жилы имеют то же простирание и падение, как и окружающие их породы, следует в точности всем их складкам, нарушениям и переломам и отличаются лишь составом. Пластовым жилам также присущи самые разнообразные размеры; одною из наибольших известным нам пластовых жил является известный Whin Sill в Англии, представляющий залегающую в нижнекаменноугольных песчаниках базальтовую толщу, занимающую при длине до 130 *км* площадь приблизительно в 1600 *км*^{2}.

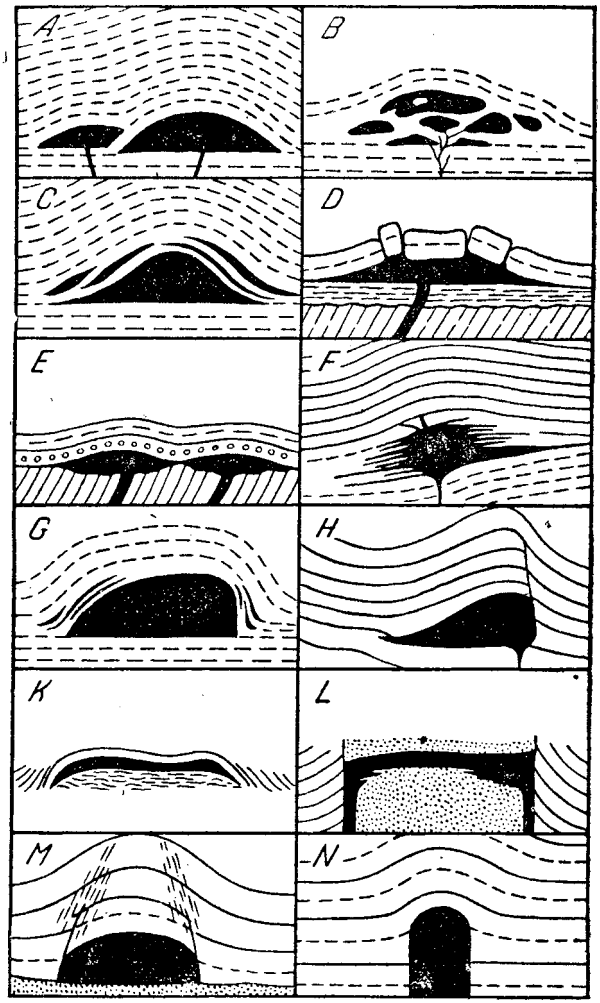


Рис. 8. Различные формы лакколитов в вертикальном разрезе.

Так же возникают и *пластовые штоки.*

Караваевидные или грибообразные изверженные образования, зажатые в расплавленно-жидком состоянии между более древними слоями, называются *куполами* и *лакколитами.*[1] Основание их приблизительно горизонтально, поверхность их плавно округляется кверху или же получает колоколообразную форму (рис. 8, 9 и 10).



Рис. 9, Лакколит (Калько в центр. Кавказе). Фот. Д. Белянкина.



Рис. 10. Округленная поверхность лакколита Плака (южн. берег Крыма). Фот. Ф. Левинсон-Лессинга.

[1] В СССР прекрасными примерами лакколитов являются известные горы группы Минеральных вод на Сев. Кавказе (Беш-тау, Машук, Змейка, Верблюд, Кинжал и др.), а также на южном берегу Крыма (Аю-Даг, Кастель и др.).

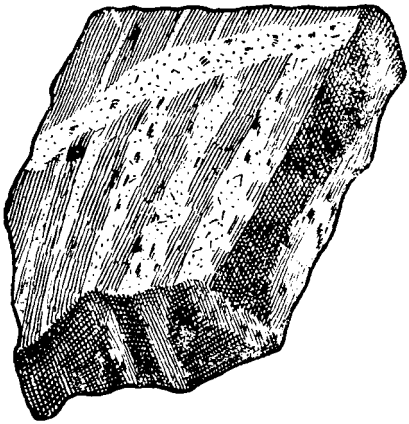
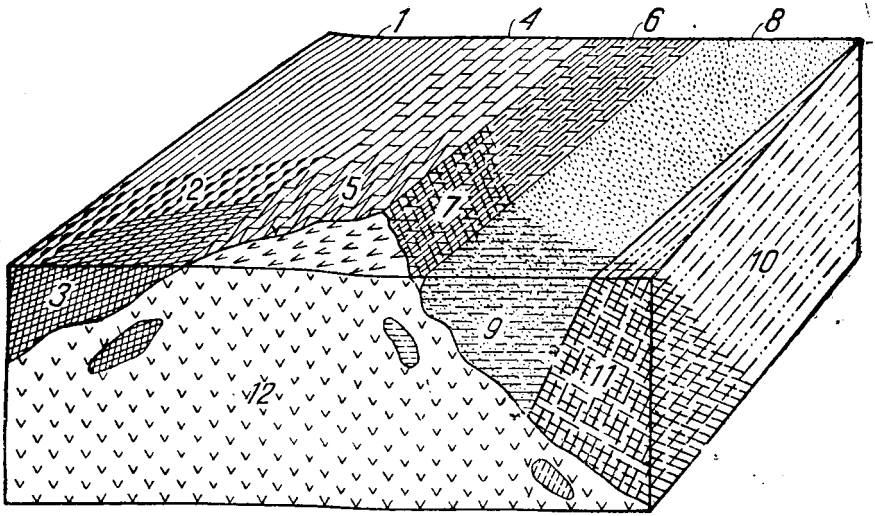


Рис. 11. Жила (пегматитовая) с боковыми ответвлениями (в гнейсе).



Рис. 12. Инъекционный гнейс.



1 — известково-туфовый сланец.
2 — гранатовая порода.
3 — залежь магнетита.
4 — известняк.
5 — мрамор.
6 — мергель.
7 — хлоритовый сланец.
8 — глинистый сланец.
9 — андалузитовый сланец.
10 — песчаник.
11 — кварцит.
12 — гранит.

Рис. 13. Схема метаморфизации различных осадочных пород в контакте с гранитом.

Если внедрившиеся магмы задерживались среди окружающих пород, то они влияли в более или менее высокой мере на эти породы как благодаря своей высокой температуре, так и благодаря выделяющимся из них парам и газам; совокупность этих влияний обозначается термином *контактовый метаморфизм* (изменение при соприкосновении). Влияние это начинается одновременно с внедрением магмы и прекращается лишь по уравновешивании температур остывшей магмы и окружающих ее пород (рис. 11, 12, 13 и 14).

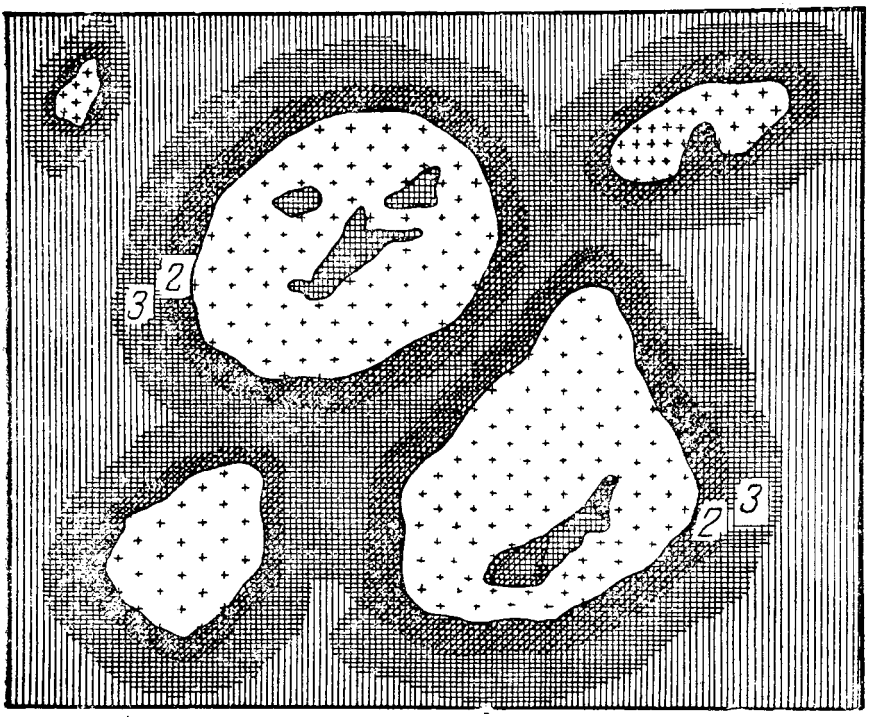


Рис. 14. Зоны контакта (*2* и *3*) измененных действием изверженных пород (крестики), прорванных ими осадочных (вертикальная штриховка) (в плане).

Изверженные породы лишь чуть заметно подвергаются изменениям под влиянием поднимающихся магм, так как их минеральный состав и строение уже приведены в то равновесие, к которому стремится контактовый метаморфизм.

В богатых кремнекислотой осадочных породах контактовый метаморфизм, за исключением происходящего изменения строения и величины зерна, мало заметен.

Богатые глиноземом породы (глинистые сланцы и др.) выявляют особо широкий и часто ясно расчлененный пояс метаморфизма (контактовый пояс); под этим обозначением подразумевают ту, облекающую изверженную породу, толщу смежной породы, в которой заметны влияния остывающей магмы. Богатые глиноземом сланцы преобразовываются во внешнем слое контактового пояса в контактовые сланцы, с образованием в толще породы многочисленных мелких тем-

ных и узловатых пятен. Ближе к изверженной породе начинают появляться породы явно кристаллические, в большинстве слюдяные сланцы с узлами и срастаниями кордиерита, андалузита и др. Наконец, с дальнейшим приближением к изверженной породе сланцеватое сложение все более и более уступает место плотному, массивному; в то же время превращенные породы становятся твердыми и хрупкими. В таком случае их называют *роговиками*. Технически такие породы могут иметь некоторое значение, ибо иногда в районе с преобладающими мягкими, хрупкими породами они доставляют чуть ли не единственный подходящий материал для заготовки щебня и строительного камня на фундаменты, стены и т. д. Для такой цели они вполне пригодны вследствие большого сопротивления раздроблению (3000—4000 *кг/см*^{2}) и незначительной изнашиваемости.

Изменения претерпеваются не только смежными породами, но также после остывания и самими внедрившимися изверженными породами; изменения последних состоят из разрыхлений состава изверженных пород под влиянием вызываемого охлаждением сокращения объема, в образовании трещин, расселин, *отдельностей* (см. ниже § 16).

§ 13. Состав земной коры

Кора земная, доступная нашему исследованию, состоит из однородных неорганических тел, называемых минералами. В огромном большинстве случаев минералы представляют анизотропные кристаллические однородные твердые тела, т. е. такие, в которых атомы вещества расположены в виде системы правильных решеток. Если минералы проявляются в определенных геометрических формах, ограниченных ровными плоскостями с постоянными углами, то они называются *кристаллами*, в противном случае — *кристаллическими* зернами. Сравнительно редко минералы бывают аморфными телами твердыми или жидкими (например ртуть), в которых частицы расположены без правильной ориентировки. Минералы распределены в земной коре чрезвычайно неравномерно. Одни из них встречаются только небольшими кристаллами или мелкими зернами, редко рассеянными, например алмаз, золото, изумруд, платина и пр.; другие же образуют разнообразные сочетания или агрегаты многочисленных неделимых, образующих те каменные массы, которые принимают существенное участие в строении земной коры, например известковый шпат, гипс, кварц, слюда, полевые шпаты и пр. Эти-то каменные массы, представляющие соединение (агрегат) одного или нескольких минеральных видов, занимающие более или менее значительные пространства и составляющие существенные части земной коры, называются *горными породами*.

Горные породы можно классифицировать и разделять на группы с различных точек зрения. Так например, они разделяются на простые и сложные в зависимости от того, состоят ли они из одного или нескольких минеральных видов, например мрамор — простая порода, потому что представляет собою агрегат одного известкового шпата, а гранит — сложная порода, так как состоит из трех минералов: кварца, полевого шпата и слюды. Затем породы называются *кристаллическими*, если они представляют агрегат кристаллических ми-

неральов, например мрамор, гранит; минералы, слагающие их, образовались одновременно с происхождением самой породы. Породы, состоящие из обломков других, прежде существовавших пород, называются *обломочными* или *кластическими*, например песчаники, конгломераты; минералы, слагающие их, образовались раньше происхождения самих пород.

Состав горных пород хотя довольно разнообразен, но количество основных элементов и минералов, слагающих породы, весьма небольшое: из известных 70 химических элементов существенное значение в составе земной коры имеют лишь 20: — O, H, C, Cl, S, F, Pb, N, Li, Al, Fe, Au, K, Na, Ca, Mg, Ba, Ti, Zr, Cr. Почти из двух тысяч минеральных видов, известных в настоящее время, только около 50, т. е. 2,5%, имеют важное петрографическое значение и называются *породообразующими минералами.*

Все составные части горных пород могут быть разделены на определяющие их сущность — *существенные главные составные части*, на минералы, наличие или отсутствие которых для определения принадлежности породы к той или другой группе роли не играет, — *несущественные* или второстепенные составные части; и, наконец, на такие составные части, которые местами появляются в породе, составляя при этом нередко одну из главных частей ее и вызывая даже образование нового вида породы, — так называемые посторонние, *случайные* части.

Существенные главные минералы, т. е. *первичные*, выкристаллизовавшиеся при образовании изверженных пород, можно разделить на следующие три группы:

1. Свободный кремнезем — кварц.
2. Светлые или бесцветные силикаты, т. е. соли кремневой кислоты — полевые шпаты и фельдшпатиды.
3. Цветные железо-магнезиальные силикаты — пироксены или авгиты, амфиболы или роговые обманки, биотит, оливин. [1]

§ 14. Наиболее распространенные минералы

Каждый приступающий к изучению геологии должен уметь распознавать по внешним признакам наиболее обычные минералы и знать их приблизительный химический состав. Для этого приходится преимущественно основываться на *физических свойствах минералов*, из которых главнейшими являются: цвет, черта, твердость, удельный вес и кристаллическая форма. *Цвет* одного и того же минерала нередко весьма изменчив, преимущественно благодаря посторонним примесям, но тем не менее служит важным признаком. Согласно скале Мооса *твердость* минерала — весьма характерная величина — может легко определяться самыми простыми способами, а именно: минералы с твердостью от 1 до 2 чертятся ногтем, около 3 — царапают медную монету; минералы, не царапающие стекла — не тверже 5, а царапающие его, но не кварц, должны быть между 5 и 7. Для определения твердости также необходимо научиться пользоваться острием

[1] Основную массу магматической горной породы составляют в среднем: полевые шпаты и фельдшпатиды (т. е. минералы второй группы) 66%, цветные минералы (третья группа) 30%, кварц (первая группа) 12%.

обыкновенного перочинного ножа, наблюдая степень легкости проникания его в минерал; этим способом легко, например, отличить минералы однородного вида, например: кальцит и ангидрит (т. 3), доломит (т. 4), магнезит (т. 5), полевой шпат (т. 6), топаз (т. 8). При твердости в 6 или в 6½ лезвие ножа вместо царапания минерала само тупится и оставляет темный цвет стали на нем. При испытании твердости, конечно, необходимо применять лишь свежие поверхности минералов, не разрушенные, а также не на плоскостях спайности минералов. Помимо определения твердости отдельных минералов, теми же методами можно пользоваться для распознавания и различия пород, сходных по внешнему виду, как например светлых фельзитов от известняков и доломитов, темных базальтов от некоторых железных руд, известняков и песчаников.

Черта или след, оставляемый минералами на твердой белой поверхности (необожженном фарфоре), также нередко может помочь распознаванию двух хотя бы и одноцветных минералов, так как цвета их в твердой массе и в порошке часто различны.

Очень важным признаком минералов служит их спайность или способность колоться по одному или нескольким направлениям, образуя правильные плоскости. Здесь можно различить следующие ее градации: 1) весьма совершенная, как у слюд, талька, хлорита, графита, разделяющихся на тонкие листочки; 2) совершенная: плавиковый шпат, карбонаты, ангидрит, — трудно получить излом при ударе; 3) средняя: полевые шпаты, роговая обманка, авгит, эпидот; — легко получить как излом, так и спайный осколок; 4) несовершенная — оливин, гранат, — спайность видна лишь в особо благоприятных условиях, в прочих же случаях излом раковистый, как и в следующей степени; 5) весьма несовершенная — пирит, лейцит, нефелин, турмалин, магнетит, кварц.

Важный физический признак минералов — *удельный вес* — может отчасти определяться приблизительно взвешиванием на руке, для чего однако надо приобрести известную опытность.

Такие свойства как магнетизм, запах и вкус имеют второстепенное значение; *магнитность* устанавливается влиянием на стрелку компаса; глинистые соединения при дыхании на них издают характерный горьковатый запах, а некоторые известняки (органического происхождения) при ударе издают сильный запах сероводорода. На вкус, наконец, реагируют только минералы, растворимые в воде (поваренная соль и некоторые другие).

Определение кристаллической формы — наболее точный и научный из физических признаков минералов — не может быть здесь рассмотрено и составляет уже область *кристаллографии*.

В дальнейшем дана самая краткая характеристика наиболее обычных и важных минералов, исключительно *макроскопическая*, т. е. такая, которая может быть сделана на основании наблюдения простым глазом лишь с помощью карманной лупы (увеличивающей не более 10, а обычно 4 — 6 раз). Несмотря на это желательно, конечно, каждому студенту ознакомиться с основными признаками тех же минералов и под *микроскопом*, что вопреки установившемуся мнению в элементарном виде отнюдь несложно и достижимо в короткое время. Вместе с тем, научившись определять приблизительно не бо-

лее 20 минералов, явится возможность определять и классифицировать важнейшие зернисто-кристаллические породы, имеющие значение для всякого рода практиков-техников.

Свободный кремнезем

Кварц — окись кремния (SiO_2). Встречается в крупнокристаллическом и плотном виде. Удельный вес 2,65. Излом раковистый. Блеск стеклянный, иногда жирный. Цвет различный, от водяно-прозрачного до темного; свободный от примеси кварц чист и прозрачен, но часто окрашен окислами железа. Не разрушается кислотами, кроме плавиковой, и не плавится паяльной трубкой. Тверже стали (т. 7) и поэтому не царапается ножом, сам царапая стекло; лишен спайности; по причине большой твердости и химической стойкости является последним остатком от разрушения поверхности, в то время как более мягкий материал превращается в илы. Эти устойчивые крупинки кварца, более или менее крупные, накапливаются по берегам морей в виде песков.

Как *вторичный* материал, кварц, отложенный растворами, выполняет пустоты и трещины, образуя тогда жеоды и жилы. Большие массы кварца и аморфной кремнекислоты нередко отлагаются горячими источниками.

Главные разновидности кварца: кристаллические — горный хрусталь, аметист и обыкновенный белый кварц; скрытокристаллические — кремень, халцедон, агат, оникс, яшма. В отличие от кристаллических разновидностей кварца последние более доступны выветриванию.

Светлые силикаты

Полевой шпат. Твердость 6. Царапается лишь твердой сталью. Удельный вес 2,5. Эта важная группа состоит из многочисленных минералов, обладающих близкими физическими и химическими свойствами и однородными условиями нахождения. По химическому своему составу полевые шпаты — силикаты алюминия и одного или нескольких оснований: окисей натрия или калия и извести. Спайность полевых шпатов особенно характерна всегда в двух направлениях, и согласно ее разновидностям они и делятся на две естественные группы: 1) *ортоклазы*[1] и 2) *плагиоклазы*.[2]

Так как полевые шпаты редко встречаются в горных породах кристаллами большими и правильными, то геологу для определения вида полевого шпата необходимо прибегать к другим признакам, из которых важным является пластинчатое строение плагиоклазов, происходящее из многочисленного срастания отдельных кристаллов, видимое обычно под микроскопом в шлифах; то же явление нередко обнаруживается параллельной штриховатостью на свежей плоскости

---

[1] С греческого орто — прямой и клазис — ломать, т. е. ломающийся под прямыми углами.

[2] С греческого — косоломающийся.

спайности плагиоклазов простым глазом или под лупой и никогда не замечается у ортоклазов; последние образуют лишь простые двойники, поперечный разрез которых дает лишь две полосы. Простые двойники ортоклазов и сложные — плагиоклазов лучше всего видны в поляризованном свете, окрашивающем каждую их полоску иначе, давая этим лучший способ распознавания обеих групп. Темные, тусклые, восковидные полевые шпаты чаще относятся к плагиоклазам, а светлорозовые и желтые — к ортоклазам, хотя и не всегда точно.

Полевые шпаты — главные составные части изверженных пород — в значительной мере слагают и кристаллические сланцы. Цвет их различен, чаще — серый, белый, красноватый и реже — желтоватый и зеленый. В породах они обычно в форме таблитчатых и шестоватых кристаллов.

Ортоклаз — силикат алюминия и калия, содержащий 64,6% окиси кремния, 18,5% глинозема и 16,9% окиси калия, одна из главных составных частей гранита, гнейса и сиенита. Кристаллы ортоклаза в породах обычно несовершенны. Прозрачная стекловидная разновидность называется *санидин* и входит в новейшие вулканические породы (лавы, трахиты).

Плагиоклазы представляют собой целую серию минералов, крайними членами которой являются *альбит* (силикат натрия — глинозема) и *анортит* (известково-глиноземистый силикат). Промежуточные между ними рассматриваются как изоморфные смеси обоих в различных пропорциях; если обозначить альбит через Аб, а анортит через Ан, то главные промежуточные члены будут:

Олигоклаз	$Аб_6 Ан_0$	до	$Аб_3 Ан_1$
Андезин	$Аб_3 Ан_1$	„	$Аб_1 Ан_1$
Лабрадорит	$Аб_1 Ан_1$	„	$Аб_1 Ан_3$
Битовнит	$Аб_1 Ан_3$	„	$Аб_0 Ан_1$

Плагиоклазы, главнейшие породообразующие минералы, являются длинными мелкими кристаллами, иногда образуя в пустотах и более развитые формы.

Легко выветриваясь и изменяясь, полевые шпаты реже встречаются в породах вторичных (осадочных). Продуктом выветривания полевых шпатов обычно является *каолин*, а также кальцит в случае полевых шпатов известковых (анортит). Под влиянием динамометаморфизма или горячей воды калиевые полевые шпаты переходят в калиевую слюду (мусковит — см. ниже).

Превращение полевых шпатов в каолин — весьма важный процесс в почвообразовании (каолинизация) — замечается по исчезновению блеска кристаллов и приобретению ими тусклого землистого вида. Знать точно характер и степень изменяемости определенных полевых шпатов весьма существенно потому, что они обычно присутствуют в наиболее употребительных естественных строительных материалах.

Фельдшпатиды (лейцит, нефелин, содалит, гаюин) близки по химическому составу полевым шпатам и играют почти ту же, но лишь гораздо меньшую, роль в породообразовании; породы, в которых они участвуют, менее распространены; в кристаллических сланцах

фельдшпатиды никогда не встречаются. *Нефелин*[1] — важная составная часть щелочных вулканических пород — всегда находится в фонолитах и нередко в базальтах; зеленовато-красноватая разновидность нефелина с жирным блеском — элеолит — встречается в сиенитах. Лейцит обычно в виде правильных одиночных кристаллов (24-гранников) зеленовато-серых, легко разрушающихся, находится в некоторых лавах.

Цветные минералы

Группа слюд (т. 2, уд. в. 3) заключает в себе много представителей, характерных общим свойством расщепляться на тончайшие упругие, иногда прозрачные пластинки, обусловленным весьма совершенной спайностью. По химическому составу слюды — силикаты алюминия, калия, часть магния, железа и др.; лишь две слюды имеют значение в породообразовании, а именно: *биотит*[2] — железо-магнезиальная слюда, обычно черная или темнокоричневая, главная составная часть большинства гранитов, гнейсов, сиенитов и других изверженных пород. По причине малой устойчивости биотит редко встречается в осадочных породах, в которых гораздо чаще преобладает *мусковит*[3] — калийная слюда, бесцветная или серебристо-белая, имеющая промышленное значение и ценность (в пластинках, превышающих 6 $см^2$, и в порошке). Мусковит в качестве первичного минерала встречается в кристаллических сланцах и гранитах и, кроме последних, из изверженных пород только еще в некоторых кварцевых порфирах, но зато находится гораздо чаще в виде вторичного образования из других богатых алюминием силикатов (полевые шпаты, нефелин и др.). Иногда (например в метаморфизованных известняках и гранитных — пегматитовых жилах) встречаются большие кристаллы мусковита.

Группа оливина (или перидота) (т. 6,5, уд. в. 3,5) заключает силикаты железа и магния без глинозема. Спайность несовершенная. Содержание железа изменчиво, причем с его увеличением возрастает и плавкость оливина. Цвет желто-зеленый, блеск стеклянный, излом раковистый. Оливин встречается в наиболее основных породах, бедных кремнеземом, иногда слагая главную массу их (перидотиты). Нередко находится в габбро и базальтах, причем блестящие зерна его легко распознаются простым глазом. Оливин легко переходит, соединяясь с водой, в *змеевик, тонкожилковатая* разновидность которого — *хризотил* — в промышленности дает один из 2 сортов асбеста (см. ниже амфиболы). Благородный одноцветный змеевик употребляется для художественных поделок. Красиво и слабо окрашенные (желтые и зеленые) разновидности оливина известны у ювелиров под названием хризолита.

Группа хлорита (т. 2 — 3, уд. в. 2,6 — 3) заключает несколько зеленоватых минералов, состоящих из водных силикатов магния и алюминия, обычно еще с примесью железа. В породах хлорит встре-

---

[1] С греческого нефеле — облако.
[2] По имени Био — французского минералога.
[3] От английского слова — Московия или б. средняя Россия.

чается в форме шестиугольных неэластичных пластинок или, чаще, изогнутых неправильных чешуек, волокон и пучков и землистых скоплений; часто он походит на слюду. Единственная порода, в значительной степени образованная этим минералом, это — хлоритовый сланец, хотя нередко он встречается и в изверженных породах в качестве вторичного продукта, происшедшего от разрушения таких минералов, как роговая обманка, авгит, биотит и др.; этому процессу обязаны многие изверженные породы своей зеленоватой окраской. Сюда же относится и *глауконит* — водный силикат алюминия, калия и железа, встречающийся часто в меловых и третичных песчаниках.

Тальк (т. 1, уд. в. 2,5) — водный силикат магния, белого или бледнозеленого цвета, легко расщепляющийся на неэластичные листочки и настолько мягкий, что царапается ногтем. Блеск жемчужный, а на ощупь тальк жирный; кислотами не разлагается. В породах лишь вторичного происхождения, а в качестве главной составной части — только в тальковых сланцах. Скрытокристаллические разновидности — *стеатит* или жировик, «горшечный камень» и «морская пенка», не имея породообразующего значения, играют роль в технике для изготовления труб, стоков и пр. Иногда тальк напоминает каолин, но последний отличается от него способностью делаться в соединении с водой пластичным.

Амфиболы и пироксены (т. 5—6, уд. в. 2,3 — 3,6) — сложные силикаты, обычно содержащие железо, известь и магнезию. Обе группы заключают также массу разновидностей, делящихся на две категории: 1) не содержащие глинозема — светлых, зеленых оттенков и 2) содержащие глинозем — темных цветов.

Из бесчисленных амфиболов наиболее обычны *тремолит* и *актинолит*, последний имеет вид тонких столбчатых кристаллов, нередко совершенно волокнистых, шелковистых, известных под именем *асбеста*. Плотная разновидность актинолита спутанно-волокнистого сложения называется *нефритом*, имеющим важное историко-этнографическое и художественное значение. Из амфиболов с глиноземом наибольшее значение имеет *роговая обманка* (в остальном близкая к актинолиту), известная в двух видах — *обыкновенной*, присущей глубинным породам (гранит, сиенит, диорит), и *базальтической* (короткими кристаллами), присущей породам эффузивным (трахитам, андезитам и базальтам).

Из пироксенов бо́льшее породообразующее значение имеют содержащие глинозем, причем наиболее важен *авгит*[1] — наиболее существенная составная часть основных пород (базальт, долерит и др.), а также присущий многим другим изверженным породам. В породах кристаллы авгита призматические, нередко двойниковые, с округленными углами темных оттенков. Коричневая, серовато-зеленая разновидность авгита, листоватого строения, полуметаллического блеска в изломе, называется диаллаг, который служит составной частью габбро и входит также в змеевиковые и оливиновые породы. Два главных члена группы амфиболов и пироксенов — роговая обманка и авгит — часто трудно различимы в самых кристаллах. Лучшим отличительным признаком служит спайность, два направления которой

[1] С греческого, значит: блестящий.

в роговой обманке пересекаются под углами в 124°, а в авгите — почти под прямыми. У роговых обманок часто янтарный блеск, тогда как авгиты более тусклы и покрыты ржавчиной на выветрелых поверхностях. Как общее правило, можно принять принадлежность обыкновенной роговой обманки кислым глубинным породам и кристаллическим сланцам, а базальтической роговой обманки и авгита — преимущественно эффузивным породам, основным, бедным кремнекислотой.

Пироксены, разлагаясь под влиянием выветривания, переходят по большей части в змеевики и хлориты, иногда в сопровождении карбонатов и лимонита. Выветривание амфиболов сходно с пироксенами и в результате дает карбонаты, окислы железа и кварц.

Группа каолина заключает различные вторичные продукты разложения различных глиноземсодержащих силикатов, преимущественно полевых шпатов, из которых наибольшее значение имеет *каолин* (или китайская глина), водный силикат глинозема (т. 1, уд. в. 2,5). В чистом виде он белый землистый или мучнистый, неплавкий и не разлагаемый кислотами. Обычно имеющиеся примеси, в особенности окислы железа, окрашивают каолин в желтовато-красные или коричневые оттенки; кроме того, встречаются серые, зеленые и синеватые цвета. Кристаллическое состояние каолина обнаруживается лишь редко под микроскопом, и явлений спайности поэтому в нем не наблюдается. Каолин согласно своему происхождению находится в качестве вторичного продукта в разрушенных изверженных породах, а особенно в метаморфических и осадочных, причем некоторые сланцы и глины в значительной мере состоят из него. Процесс каолинизации играет большую роль в почвообразовании и в происхождении значительных промышленных залежей глин.

Кальцит, или известковый шпат — углекислый кальций ($CaCO_3$) (т. 3, уд. в. 2,7) — характерен своей спайностью в трех направлениях, дающей ромбоэдры в форме вытянутых по диагонали кубов, и легкой разлагаемостью кислотами, выделяющими из него углекислоту. Прозрачные куски кальцита обнаруживают его двойное лучепреломление (помещенные, например, над книгой они удваивают буквы). Чаще кальцит белый или бесцветный, но иногда встречаются окраски коричневая, желтая, зеленая и розоватая, более или менее чистые. Кальцит — важная слагаемая осадочных пород водного происхождения; в мраморах он кристаллический; в известняках — плотный; рыхлый, землистый — в мелу, в натечных туфах — травертинах и пещерных сталактитах.

Кальцит часто служит связывающим веществом (известковые песчаники), а в качестве вторичного продукта встречается в мельчайших порах различных минералов и пород, заполняя трещины и пустоты в качестве обычного жильного минерала.

Кальцит — важнейший петрофицирующий (т. е. вызывающий окаменение) минерал и наряду с кварцем наиболее обычный. Значение его в технике и промышленности очень важно, благодаря разностороннему применению слагаемых им горных пород: изготовление портланд-цемента, искусственных удобрений, флюсов в металлургии, строительных и декоративных камней, оптических приборов (из прозрачной чистой разновидности — «исландского шпата»).

Соединенный карбонат кальция и магния — *доломит*, чаще в виде массивных агрегатов различной окраски, образует значительные массы осадочных пород, часто метаморфизованных.

Лучший отличительный признак кальцита — его способность легко растворяться в слабой холодной соляной кислоте, доломит же не растворяется.

Каменная соль — хлористый натрий (NaCl), кристаллизуется кубами. Встречается чаще сплошными массами в виде горной породы совместно с ангидритом и гипсом.

Апатит — фосфористый кальций с примесью хлористого или фтористого, т. е. хлорапатит и фторапатит (т. 5, уд. в. 3,2). Блеск стеклянный, хрупок, иногда прозрачен, белого, зеленоватого и коричневатого цвета. Плавится трудно, в кислотах растворяется. Обычно участвуя во многих изверженных породах лишь в виде микроскопических удлиненных кристаллов, апатит более крупными формами встречается в метаморфизованных известняках, тальковых и хлоритовых сланцах и пегматитах (гранитах), а, кроме того, образует самостоятельные жилки в габбро.

Апатит имеет большое практическое значение для искусственного удобрения почв; его аморфная землистая разновидность, встречающаяся чаще под названием фосфоритов, в значительной мере органического происхождения.

Ангидрит — сульфат кальция ($CaSO_4$, т. 3, уд. в. 3) и гипс — водный сульфат кальция ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$, т. 1,5, уд. в. 2,4).

Гипс обычно белый и прозрачный и реже окрашен; в кислотах растворяется слабо; плавится, расщепляясь в белую эмаль. Спайность иногда хорошая, подобно слюде, с той разницей, что его тонкие пластинки не эластичны и хрупки. От талька отличается отсутствием жирного ощущения. Кристаллы—отдельные и сросшиеся конкреции—часто встречаются в глинах, иногда же гипс образует зернистыми и сплошными массами целые пласты и мощные залежи среди глинистых и мергелистых отложений, совместно с каменной солью и ангидритом, а также служит цементом песчаников. Кристаллический гипс с совершенной спайностью называется *селенит*, а мелкозернистый, скрытокристаллический — *алебастр*. Промышленное применение гипса широко и общеизвестно.

Барит или тяжелый шпат — сульфат бария ($BaSO_4$, т. 3,5, уд. в. 4,5), вторичный минерал, встречающийся в пустотах и жилах обыкновенно в рудных образованиях. Его большой удельный вес, немного бо́льшая твердость и сопротивление кислотам отличают барит от кальцита. Имеет большое техническое значение в красочной и кожевенной промышленности.

Железные руды. Железо в его различных соединениях — одно из наиболее распространенных в земной коре веществ; находится в горных породах всех типов и возрастов. Оно встречается как составная часть силикатов, так и в виде самостоятельных образований, сернистых, окисленных и т. п., называемых *рудами*. Неопределенные зеленовато-синеватые окраски многих пород обязаны именно присутствию железа. Разлагаясь, породы, содержащие силикаты железа, освобождают закись его FeO, переходящую затем в окись Fe_2O_3 красного или ржавого цвета, чем обусловливается и соответственное изменение

окраски выветрившихся частей пород, могущих даже превратиться в желтые и красные кирпичные глины.

Наиболее обычные и важные естественные соединения железа следующие:

Самородное железо в метеоритах, базальтах и змеевиках в соединении с никкелем.

Закись железа (FeO) встречается не самостоятельно, но лишь в составе различных силикатов.

Магнетит (Fe_3O_4, т. 6) — черная магнитная окись-закись, часто заключенная в изверженных породах; при выветривании последней магнетит переходит в карбонат и затем в окись железа, что вызывает ржаво-коричневую окраску поверхностей, подверженных действию атмосферы и воды. Притягивается магнитом всякого рода.

Гематит (Fe_2O_3, т. 6) и *красный железняк* — окись железа — ценная руда, встречается пластовыми залежами среди осадочных пород и в жилах.

Лимонит — бурый железняк ($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$, т. 5 до 1) — бурая железная водная окись железа, встречается пластовыми и неправильными залежами в слоистых отложениях и в виде «шляпы» сернистых руд. В качестве «болотной» и «озерной» руд встречается на дне водоемов в результате действия органических кислот. Лимонит преимущественно окрашивает в ржавые и желтые цвета почвы, глины, пески и песчаники. Обыкновенная ржавчина состоит из лимонита, а смесь его с глиной дает охру.

Пирит (т. 6,5) — *железный* или *серный колчедан* (FeS_2), обычно находится в рудных жилах, содержащих золото, серебро, медь и другие металлы, а также мелкими зернами среди сланцев и других слоистых пород и в каменном угле. Как вторичный продукт он часто встречается в измененных андезитах и других изверженных породах, а в виде стяжений — в глинах.

Сидерит (т. 5), или *шпатовый железняк* ($FeCO_3$), или углекислое железо. В свежем изломе серого цвета, а на выветрившихся (хотя бы в течение нескольких недель) поверхностях — коричневатого. Черта белая. Легко чертится ножом. Обычно встречается скоплениями, в которых можно различить блестящие неправильные плоскости спайности. Сидерит растворяется теплой соляной кислотой, выделяя углекислоту.

Как уже было сказано, все породообразующие минералы можно разделить на *первичные* — непосредственно выделившиеся из магмы, и *вторичные* — происшедшие путем химических последующих изменений породы, преимущественно действием воды. Вместе с тем первичные минералы могут быть *главными* или существенными и *второстепенными*. Главные минералы определяют вид породы; так например кварц, полевой шпат и один из окрашенных минералов (слюда, пироксен или амфибол) определяют собою гранит, и если будет отсутствовать один из них, то порода перестанет быть гранитом, между тем как отсутствие одного или нескольких второстепенных минералов этого значения не имеет. С другой стороны, изобилие какого-нибудь второстепенного минерала или выделение его особенно заметными кристаллами обусловливает название его разновидности (например гранит турмалиновый).

Таблица важнейших минералов, расположенных по основным химическим группировкам

I. Самородные

Золото	Au
Платина	Pt
Серебро	Ag
Сера	S
Графит, Алмаз	C

II. Окислы

Снег, лед	H_2O
Кварц	SiO_2
Магнетит (магнитный железняк)	Fe_3O_4
Гематит (красный железняк)	Fe_2O_3
Лимонит (бурый железняк)	$2Fe_2O_3 + 3\,aq$

III. Силикаты

(соли кремневой кислоты)

Группа полевых шпатов	SiO_2, Al_2O_3, K_2O или Na_2O или CaO
Группа слюд	SiO_2, Al_2O_3, K_2O или MgO, aq
Каолин (глина)	SiO_2, Al_2O_3, aq (вода)
Группа авгита и роговой обманки	SiO_2, Al_2O_3, (Ca, Mg Fe)O
Нефелин	SiO_2, Al_2O_3, Na_2O
Хлорит	SiO_2, Al_2O_3, Mg(Fe)O, aq
Оливин	SiO_2, (Mg, Fe)O
Змеевик, тальк	SiO_2, MgO, aq

IV. Карбонаты, сульфаты, галоиды, фосфаты

Кальцит (известков. шпат)	$CaCO_3$	Гипс	$CaSO_4$,2 aq
Доломит	$CaMgC_2O_6$	Барит (тяжелый шпат)	$BaSO_4$
Магнезит	$MgCO_3$	Флуорит (плавиков. шпат)	CaF_2
Сидерит	$FeCO_3$	Апатит	$(F, Cl)\,Ca_5(PO_4)_3$
Ангидрит	$CaSO_4$	Каменная соль	NaCl

V. Сульфиды

Свинцовый блеск	PbS
Цинковая обманка	ZnS
Пирит (серный колчедан)	FeS_2

§ 15. Изверженные горные породы

При размещении образующих породы минералов по последовательности их выделения из расплавленной массы получается следующий ряд:

1. Апатит и железные руды.
2. Окрашенные составные части: оливин, биотит, роговая обманка, авгит.
3. Бесцветные или светлые составные части: анортит, лабрадор, нефелин, лейцит, альбит, ортоклаз.
4. Кварц и стекло.

Для того чтобы составить некоторое понятие о времени, требующемся для завершения всего процесса кристаллизации определенных минералов, заметим, что образование лейцитового кристалла 2 *см* в поперечнике длилось 800 — 1600 часов, а авгита длиною в 1 *см* — от 154 до 208 часов.

Внешние условия застывания и расщепления магмы определяют также взаимоотношения отдельных составных частей образующихся пород: их состав и *структуру* или строение, характерные для всей группы пород. При определении отдельных групп этих пород можно исходить из двух точек зрения, — либо классификация основывается

на степени кристаллизации, либо же она руководствуется в первую голову количественным взаимоотношением отдельных составных частей.

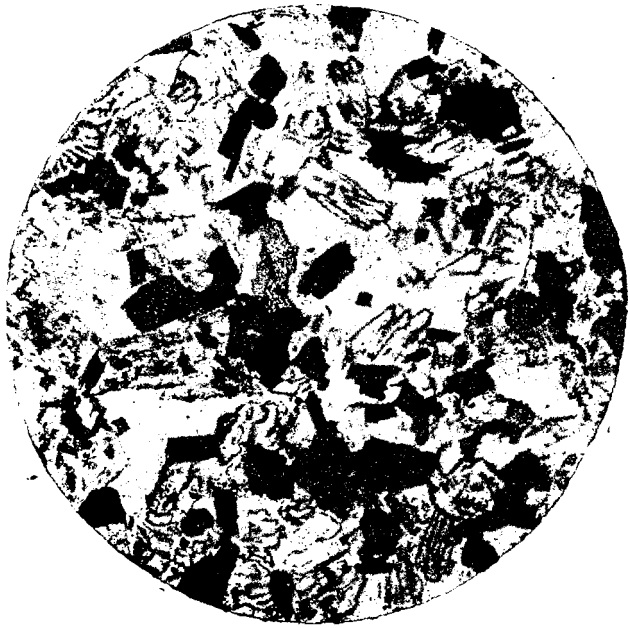


Рис. 15. Гранитовая структура.

Полнокристаллической называют породу с полностью выкристаллизовавшейся магмой. Эта группа главным образом встречается среди интрузивных пород, остывающих на глубинах *(глубинных)* (рис. 4 и 15).

Полукристаллической называется группа, содержащая рядом с кристаллическими частями и стекловидную массу; последняя заполняет промежутки между кристаллическими зернами. В эту группу входят породы, образовавшиеся из поднявшихся до земной поверхности расплавленных масс, а также ряд промежуточных между собственно излившимися и настоящими глубинными породами.

Стекловидная группа встречается редко и ограничивается подводными и поверхностными излияниями; в этом случае остывание всей



Рис. 16. Порфировая структура.

массы произошло столь быстро, что кристаллизация не успела начаться.

Если при классификации руководствоваться второй из вышеприведенных точек зрения, то можно различить *равномернозернистую* и *порфировую структуры* или *строение*. В равномернозернистых породах отдельные составные части, образовавшиеся в приблизительно равные, хотя иногда и длительные, промежутки времени, занимают также и приблизительно равные объемы; ни одна составная часть не выделяется особой, отличной от других, величиной, хотя последняя и колеблется в довольно широких рамках. Равномернозернистая или *гранитная* структура (рис. 15) образуется при очень медленном охлаждении и при полном, ненарушенном завершении кристаллизации, почему она и проявляется преимущественно в глубинных, *интрузивных* породах (в интрузиях, в батолитах). *Порфировой* группой, напротив, называются те породы, которые при рассмотрении невооруженным глазом в плотной или мелкозернистой основной массе образуют более крупные самостоятельные кристаллы, так называемые вкрапленники (рис. 16). Образование составных частей пород этой группы явилось следствием двух различных процессов, отделенных как в отношении места, так и в отношении времени; границы их иногда резко очерчиваются, иногда же почти совершенно стираются. Вкрапленники выкристаллизовались в то время, когда расплавленные массы находились еще в недрах Земли, были сильно пропитаны газами и обладали поэтому и большей подвижностью, содействующей образованию кристаллов. Оставшаяся еще жидкой главная масса магмы, поднявшаяся с выделившимися из нее частями на земную поверхность, остывала здесь в основную массу в значительно менее выгодных условиях, вызывавших образование мельчайших кристаллов и стекла. Во многих случаях возможно выделение вкрапленных кристаллов во время поднятия магмы, частично же и во время самого излияния ее. Порфировое строение характерно для главной массы *эффузивных* пород.



Рис. 17. Трахитовая структура.

Наконец, можно при классификации пород руководствоваться как той, так и другой точкой зрения, и тогда получаются следующие под-

разделения всей группы изверженных пород: подгруппа полнокристаллически-порфировых пород, подгруппа полукристаллически-порфировых и подгруппа стекловидно-порфировых пород (рис. 17), — все наименования понятны без дальнейших объяснений.

Основные магмы, т. е. содержащие менее 50% кремнезема, в большинстве жидки, почему и не дают стекловидных образований; это, главным образом, проявляется в богатых железом и марганцем рас-

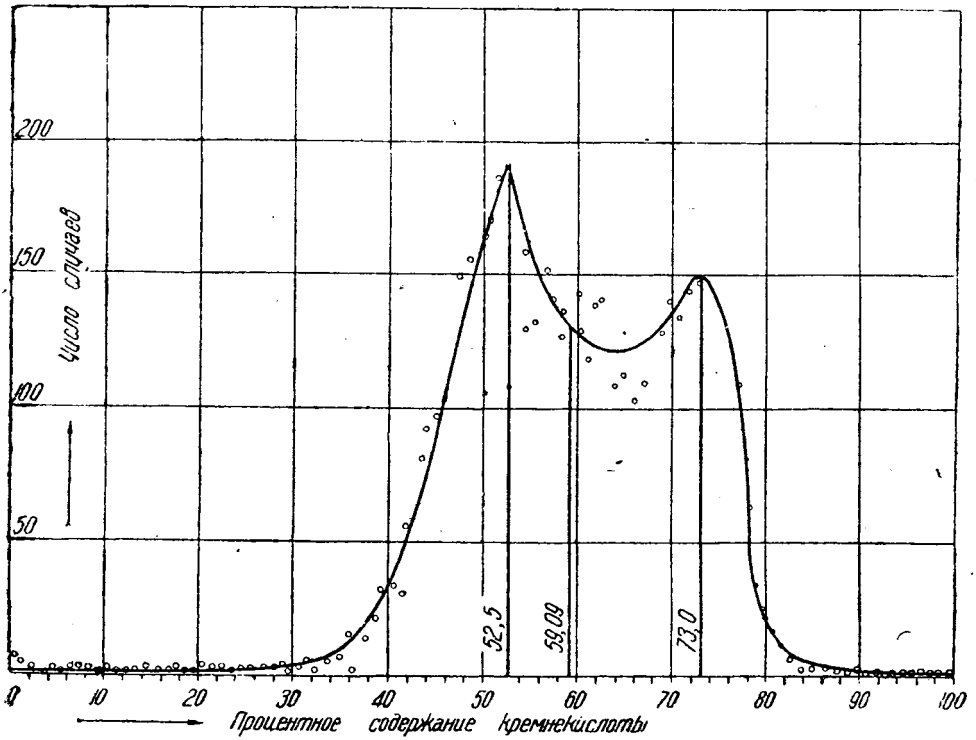


Рис. 18. Кривая, показывающая распределение изверженных пород различной кислотности. Ордината в 52,5% SiO_2 соответствует базальту, ордината в 73% — граниту и ордината 59,09% — среднему типу из 5000 анализов (по Ричардсону).

плавленных массах. Магмы, содержащие много кремнезема, наоборот, достигают сильной тягучести, затрудняющей их полную кристаллизацию, делая ее иногда и невозможной; поэтому из них и образуются часто стекловидные или полукристаллические породы.

Изверженные породы составляют, как это видно из нижеприведенной таблицы, некоторый ряд, в котором процентное содержание кремнекислоты, начиная наиболее кислым начальным членом, гранитом (соответственно липаритом и кварцевым порфиром), и кончая наиболее основными конечными членами, перидотитами и пироксенитами (соответственно пикритами и пикрито-порфиритами), понижается постепенно с 80 до 35%.

Параллельно уменьшению кремнекислоты (рис. 18) наблюдается увеличение цветных составных частей (магнезиальная слюда, ро-

Основное деление изверженных пород

Порода содержит			Строение породы преимущественно: равномернозернистое (породы глубинные)	Содержание кремнекислоты до 80% и до 35%	Строение породы преимущественно: порфировое (породы жильные и излившиеся)
Преимущественно щелочные полевые шпаты	С кварцем и слюдой (или иной цветной составной частью)		Гранит		Кварцевый порфир Липарит
	Без кварца	С цветными составными частями без нефелина	Сиенит		Ортоклазовый порфир Трахит
		То же, но с нефелином	Элеолитовый (нефелиновый) сиенит		Фонолит
Преимущественно известково-натровый полевой шпат	С роговой обманкой или биотитом (реже с авгитом)	и кварцем	Кварцевый диорит		Кварцевые порфириты, кварцевые андезиты (дациты)
		без кварца	Диорит		Порфирит и андезит
	С авгитом, чаще оливином (реже с роговой обманкой)	авгиты ромбические	Норит		Норито-порфириты, гиперстено-андезиты
		авгиты моноклинные	Габбро, оливиновое габбро		Диабаз, мелафир, базальт
Без полевого шпата или лишь со следами его	Оливин один или вместе с роговой обманкой, биотитом и др.		Перидотиты		Пикриты и пикрито-порфириты
	Преобладающий авгит		Пироксениты		

говая обманка, авгиты) и с ним — возрастание удельного веса (гранит = 2,6—2,7, пикриты = 3,0—3,4) и прочности (сопротивление давлению гранита в среднем 1200—1600 *кг/см*², базальта 2600—40 000 *кг/см*²); также при подходе к основному концу ряда все чаще и обильнее в среду составных частей примешивается оливин, здесь же появляются в виде примеси в породе имеющие большое экономическое значение руды, главным образом из числа содержащих хром, никкель, медь и платину.

§ 16. Отдельность

Сокращение остывающей массы сначала вызывает напряжения, которые с продолжающимся охлаждением могут возрасти до столь высокой степени, что связь отстоящих на разные расстояния друг от друга и различного очертания плоскостей в породе нарушается; образуются трещины и расселины, прорезывающие породу по самым разнообразным направлениям. Такие трещины часто столь узки и тонки, что не поддаются даже наблюдению невооруженным глазом и обнаруживаются лишь в более легком раскалывании породы в определенном направлении.



Рис. 19. Матрацевидная отдельность в граните (гора Россыпуха, Зап. Алтай).

Эти трещины обусловливают происхождение отдельностей, разбивающих породы на более или менее правильные тела, выделение которых происходит уже под влиянием выветривания. Значение отдельностей весьма велико: они существенно облегчают добычу и обработку пород, ибо разделение крупных глыб породы как бы предначертано самой природой и дает возможность сэкономить каменотесу много труда и взрывчатых веществ. Вредна отдельность лишь в том случае, если она вызвала раздробление породы на слишком мелкие глыбы, не позволяющие использовать ее для некоторых целей, как например для заготовки подферменных камней, больших плит, монолитов и т. п.

Политобразная и пластовая отдельности

Если поверхностный слой изверженной породы охлаждается равномерно, то на нижней плоскости остывающей плиты возникают в момент затвердения, благодаря стяжению остывающих частиц, напряжения по отношению к верхним частицам еще не остывшего слоя, каковые ослабляют существовавшую между слоями связь, разрывая, может быть, ее местами совершенно. То же явление повторяется при остывании следующих по глубине пластов. Таким образом первоначально однородная масса расслаивается на ряд пластов, более или менее параллельных к поверхности.

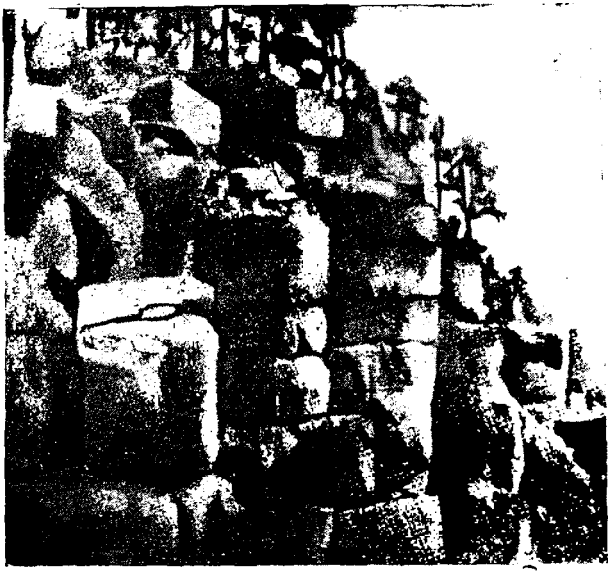


Рис. 20. Параллелепипедальная отдельность в гранов габбро-диоритов у разъезда Курят, Вост. Сибирь.

Мощность пластов зависит не только от свойств остывающих масс, но также главным образом от медленности охлаждения; сообразно с этим толщина плит, начиная с поверхности изверженной породы и вглубь ее, все более и более возрастает; в равной мере наблюдаемая в верхних частях массы резкость отделения пластов по мере углубления все смягчается, исчезая в конце концов совершенно. Зависимость толщины плит и степени зияния трещин отдельности от скорости застывания проявляется не только в одной и той же породе на различных глубинах, но также и на одинаковой глубине в массах породы, застывших в различных условиях.

Толстые плиты и пласты, удобные для получения строительного и тесового камня, встречаются часто в гранитах (рис. 19 и 20). Плиты менее значительной толщины, идущие на облицовку для тротуаров и т. п., встречаются в гранитах, кварцевых порфирах, базальтах и др. Более тонкие плиты могут быть использованы после небольшой легкой отделки в качестве мостильного камня; пластины, находимые иногда в базальтовых ломках, а также в некоторых порфировых и фонолитовых месторождениях, местами могут с успехом заменить кровельные сланцы.

Столбчатая отдельность

Если поток расплавленной массы застывает по своей поверхности неравномерно, то отдельные ранее остывшие составные части выделяются в своего рода центры охлаждения, от которых оно и распро-

страняется по всем направлениям. Поверхности распространения, редко приближающиеся вполне к своей идеальной форме — окружности, при дальнейшем застывании пересекают друг друга, и хорды, соединяющие точки пересечения дуговых линий, становятся теми прямыми, по которым разряжаются напряжения стяжения. Таким образом образуется целая сеть плоскостей отдельности, петли коей в со-



Рис. 21. Столбчатая отдельность в базальте (Яблоновый хребет, р. Аналтымтянка).



Рис. 22. Столбчатая отдельность в базальте (южное побережье оз. Гокчи, Армения). Фот. А. Гинзберга.

вершенном своем развитии представляют правильные шестиугольники, в большинстве же неправильные шести-, пяти- и четырехугольники, а иногда даже и треугольники. При распространении охлаждения с поверхности вглубь породы образуются столбы с описанной площадью сечения и часто весьма значительной длины (рис. 21 и 22).

Столбы всегда перпендикулярны к плоскости охлаждения, значит в потоках — перпендикулярны к поверхности, в жилах — к зальбандам. Столбчатая отдельность также тем яснее и разделяет массу породы тем совершеннее, чем скорее завершается охлаждение; поэтому она лучше проявляется в небольших по объему массах и внутри их. В обнажениях столбы в зависимости от пересечения ими поверхности охлаждения располагаются в форме костра, веера, клина и ступеней. Столбчатая отдельность встречается преимущественно в базальтовых породах, не чужда также и кислым глубинным породам. Левинсон-Лессинг для потоков Казбека и лав Армении описывает оригинальные особенности: 1) в нижних частях мощных потоков столбы отличаются

правильностью и незначительным диаметром; 2) выше столбы толще и короче; 3) наконец, еще выше правильность трещин исчезает, и столбчатая отдельность заменяется неправильною многогранною отдельностью с извилистыми трещинами, изогнутыми и часто вытянутыми в направлении движения потока.

Иногда плитообразная отдельность наблюдается одновременно с столбчатой; в таком случае столбы расчленяются перпендикулярно к их оси на толстые, караваеобразные или тонкие, дискообразные, наслоенные друг на друга части.

Столбчатая отдельность сокращает степень применимости породы. Если столбы при достаточном по величине поперечнике обнаруживают правильные подходящие формы, то они находят сбыт в качестве тумб, столбов и т. п. Иначе их применимость ограничивается заготовкой щебня, балластом для загрузки молов и каменных валов и использованием в качестве мостильного камня, давая готовые шашки при распиливании столбов поперек; при этом далеко проникающая трещиноватость существенно облегчает разработку породы, позволяя вести ее без применения взрывчатых веществ, лишь при помощи клина и лома. Взрывчатые вещества при трещиноватости породы даже не дают желательных результатов вследствие того, что газы взрыва имеют слишком много путей для распространения, теряя при этом большую часть своей упругости. При выемочных работах (штольни, туннели) необходимо учитывать сильную последующую ломкость столбчатоотделенных пород, дающую себя знать особенно резко в тех случаях, когда столбы перпендикулярны к потолку искусственной выемки.

Шаровая отдельность

Со столбчатой отдельностью тесно связана рядом переходных ступеней шаровая отдельность. В ней отдельные центры охлаждения возникают не только рядом на поверхности расплавленной массы, но и в ярусах друг над другом. Последствием протекающего таким образом охлаждения является распад породы в виде более или менее правильных шаров (рис. 23).

Часто такие скалы производят впечатление массы, составленной из пушечных ядер. Шаровидная форма часто еще подчеркивается выветриванием, распыляющим и удаляющим наружные неправильные слои, в то время когда само ядро сохраняет всю свою свежесть, не обнаруживая трещин. Она наблюдается наиболее часто в базальтах и диабазах, иногда в мелафирах, реже в гранитах.

Если разработка месторождения имеет целью добычу более крупных кусков породы, то шаровидная отдельность является серьезной помехой, давая много отвала.

Неправильно-многогранная отдельность

При неправильно-многогранной отдельности порода распадается на многочисленные, в большинстве своем небольшие куски совсем неправильной, угловатой и остроребернoй формы. Она сильно распростра-

нена в порфирах и диабазах, наблюдается иногда и в базальтах. Сильное размельчение породы не дает возможности добывать достаточно большие куски строительного камня, допуская лишь заготовку щебня, добыча которого возможна простейшими инструментами. В отношении последующей ломкости она менее выгодна, чем шаровая отдельность.

Правильно-шестиугольная отдельность

Возникновением трех приблизительно взаимно перпендикулярных систем трещин в более глубоких, медленно охлаждающихся частях

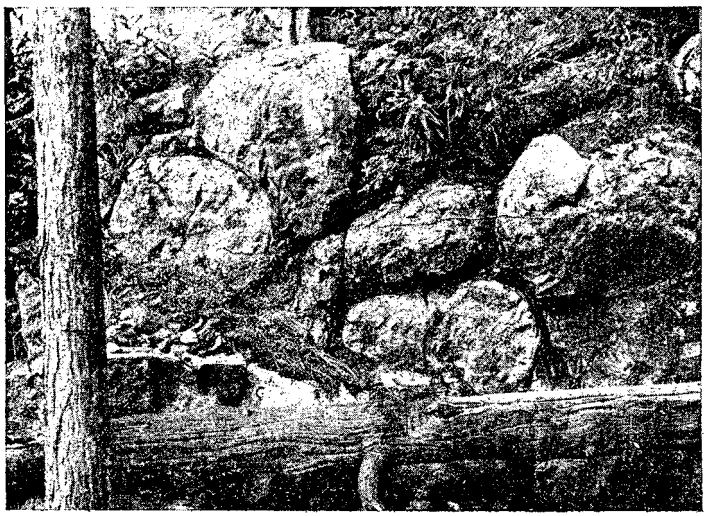


Рис. 23. Шаровая отдельность (мыс Педро-Кара на Сужарском побережьи Онежского озера). Фот. В. Тимофеева.

массы изверженной породы вызывается правильно-шестиугольная отдельность, переходящая, при приблизительно параллельном расположении ребер, в кубическую отдельность.

Она нередко встречается в гранитах и кварцевых порфирах и вызывает в связи с действием выветривающих, округляющих ребра сил образование известных подушкообразных, караваевидных и матрацеобразных форм выветривания гранитных скал. Эта отдельность сильно облегчает добычу, раскалывание и обработку.

От трещин отдельности надлежит строго отмежевать часто встречающуюся преимущественно в гнейсо-гранитах *колкость*, проявляющуюся параллельно направлению прослоев слюды.

§ 17. Технические свойства изверженных пород

В техническом отношении наилучшими свойствами обладает подгруппа равномернозернистых пород; стойкость на выветривание, прочность и сопротивление разрушению вырастают в общем с уменьшением зерна; очень крупнозернистые породы обычно дают меньшие цифры

прочности; плотные изверженные породы, отдельные составные части коих невооруженным глазом неразличимы, преимущественно прочны и стойки на выветривание. Порфировая группа в общем отстает от равномернозернистой как в отношении прочности, так и в отношении стойкости на выветривание, причем тем значительнее, чем больше размеры вкрапленников по отношению к составным частям основной массы; большие минеральные зерна поддаются выветриванию скорее, чем основная масса, и оставляют в породе пустоты, из которых разложение проникает все дальше вглубь породы. Породы стекловатые (чистое вулканическое стекло) очень хрупки и не выдерживают колебаний температуры. Полустекловатое строение в техническом отношении также менее выгодно; значительному содержанию хрупкого стекла приписывают быстрое разрушение некоторых базальтов.



Рис. 24. Полосатое сложение сиенита (миаскита). Урал.

Физические условия застывания расплавленных масс придают происходящим из них породам особенное *сложение (текстуру)*, зависящее от размещения в них отдельных составных частей. Как общее правило, изверженные породы имеют *равномерное массивное сложение;* листоватые или шестоватые минералы расположены в среде остальных составных частей как попало и нигде не придерживаются какого-либо определенного направления. *Слоистое сложение* изверженной породы получается в том случае, если выделившиеся первоначально чешуйчатые или столбчатые кристаллы под давлением продвигающихся расплавленных масс получили одинаковое направление еще до застывания остатков магмы под действием течений в ней (рис. 24).

Сланцеватое сложение возникает вторично, в результате давления на уже твердую изверженную или осадочную горную породу.

С технической точки зрения в общем надлежит отдать предпочтение массивному сложению. Сланцеватое сложение иногда может действительно облегчить разработку породы и разделение ее на отдельные пласты; но в то же время оно может оказаться и мешающим и даже вредным, если образование чешуйчато-столбчатых частиц начинает преобладать; вызываемое этим растрескивание и расщепление породы, в общем вполне пригодной для строительных работ, часто не допускает ее применения для каменотесных работ.

Граниты (см. таблицу на стр. 60)

В зависимости от присутствия в составе породы мусковита, биотита, роговой обманки, авгита и т. п. рядом со щелочным полевым шпатом и кварцем в ряду щелочно-известковых гранитов различают: двуслюдяные граниты (кроме полевого шпата и кварца, в состав их

входят в приблизительно равных количествах биотит и мусковит), биотитовые граниты или гранититы (по содержанию биотит сильно превышает мусковит), мусковитовые граниты (с преобладанием мусковита), роговообманковые граниты (из цветных составных частей главнейшей является роговая обманка), авгитовые граниты (с преобладанием авгита в качестве цветной составной части) и т. д.

Настоящие граниты массивны и равномернозернисты. Кроме них, встречаются и порфировые разновидности, которые обнаруживают в кажущейся невооруженному глазу равномерно-мелкозернистой основной массе более значительные кристаллы полевого шпата и кварца.

В других гранитах сложение (текстура) напоминает кристаллические сланцы в том отношении, что отдельные пластинки слюды расположены по параллельным плоскостям; в таком случае их называют *гнейсовым гранитом*. С усилением сланцеватости они превращаются в *гранито-гнейсы*.

В зависимости от количества тяжелых составных цветных частей *удельный вес гранитов колеблется* от 2,6 до 2,7. Граниты сравнительно нетрудно поддаются обработке, по степени обрабатываемости они находятся в 5—6 группе скалы (среднетвердая — твердая порода). Разрушающиеся граниты с полувыветрившимися полевыми шпатами, или совсем выветрившимися в глину и железную охру, по легкости обработки относятся к 4 группе (ломкая порода, поддающаяся обработке клином, киркой и ломом). При ручном бурении в очень твердом гнейсо-граните суточная проходка достигает 0,5—0,8 *м*, и на каждый один кубический метр выработанной породы расходуется 4—5½ *кг* взрывчатого вещества.

Последующая обрушимость (Nachbrückigkeit) свежих гранитов очень мала, кроме лишь сильно выветрелых пород. Стойкими на выветривание являются мелкозернистые и среднезернистые граниты с совершенно свежими на спайной поверхности чисто зеркальными полевыми шпатами, без серного колчедана и лишь с небольшим содержанием слюды; ржавые пятна на стенках трещин и других, не свежих, поверхностях могут являться следствием выветривания биотита или же действия железного колчедана; так как последний путем разложения в сернокислые соли железа (железный купорос, $FeSO_4 \cdot 7\ H_2O$) и серную кислоту, особо сильно разъедающую полевые шпаты гранитов, очень вреден, надлежит всякому применению подозрительных на серный колчедан гранитов предпослать их точное исследование. Последнее вообще особо необходимо в отношении гранитов, используемых при водных сооружениях.

Временное сопротивление раздроблению германских гранитов колеблется от 1200 до 1600 *кг/см²*, лучших шведских сортов около 2000 *кг/см²*, достигая иногда 2400—2600 *кг/см²*. Среди гранитов СССР мы имеем колебания от 1200 (пермский) до 2100 (подольский) и 2300 *кг/см²* (херсонский). Большим сопротивлением обладают в общем граниты с полнокристаллическим строением, без пустот, мелкозернистые, с высоким содержанием кварцевых зерен, не имеющих трещин и не раздробленных, и с малым содержанием слюды. Слюда должна быть по возможности распределена бессистемно по всей породе; скопления ее сильно понижают степень сопротивления. Замет-

ная примесь роговой обманки или авгита повышает коэфициент прочности, если только эти темные части окрашены в голубой сочный цвет и не указывают своим зеленоватым или хлоритовым видом на процесс разложения. Полевые шпаты также не должны выказывать помутнений и явлений размягчения и не должны быть ни трещиноватыми, ни слишком большими, потому что в таких условиях неравномерное во всех направлениях расширение вызывает сначала раздробление, а потом и выпадение кристаллов. Менее вредно химическое и физическое выветривание полевого шпата при наличии большого количества кварца; при разложении полевого шпата поверхность такого гранита покрывается мелкими углублениями и ямками, становясь похожей на изрытое оспой лицо, но глыба породы сама по себе остается, связанная кварцевым скелетом, довольно прочной.

Сопротивление свежих гранитов морозу почти всегда отвечает предъявленным требованиям. Некоторое снижение вызывают лишь граниты с сильно выветрелыми полевыми шпатами, в которых связь отдельных зерен между собой уже заметно ослаблена. Изнашивание свежих гранитов в общем мало, и тем меньше, чем мелкозернистее их строение и чем больше содержание в них кварца. Огнеупорность гранитов, напротив, далеко не удовлетворительна, ибо большинство гранитов чрезвычайно чувствительны в отношении резких изменений температуры. Внезапное охлаждение нагретого камня путем обливания холодной водой в особенности вызывает растрескивание и откалывание частиц породы. Поэтому некоторые строительные постановления, как например берлинские, запрещают применение гранита при постройке наружных лестниц.

Вряд ли какая-либо другая горная порода находит столь широкое техническое применение, как именно гранит. Из него выделывают камни для мостовых, тротуарные плиты, цоколи, ступени, отбойные тумбы, перилочные и межевые камни, жернова и т. п. Гранитный щебень является ценным материалом в дорожном шоссейном строительстве для балласта в верхнем строении железных дорог, а также и для выделки бетона. Гранитный дикий и тесовый камень применяется как в фортификационном, так и в гражданском под- и надземном строительстве; подводные сооружения требуют особо свежих пород (главным образом полевых шпатов), так как в противном случае они быстро разрушаются. Гранитом пользуются также при каменотесных работах для выделки памятников, колонн, цоколей, украшений и различных облицовок. При этом особое значение приобретает часто его красивая окраска.

С точки зрения технической очень важно, что в гранитных породах выветривание проникает часто глубоко в толщу породы; более твердые зерна кварца остаются неразложившимися в мягкой песчано-глинистой массе, заполняющей не только поверхностные углубления, но и более глубокие трещины и расселины; измельчению породы часто предшествует ее разрыхление, захватывающее в первую голову более крупнозернистые, а также и прилегающие к трещинам части. С прогрессирующим разложением породы понижается степень пригодности ее к обработке, в то время как последующая ломкость сильно возрастает. Склонность гранитов к измельчению и геологическое их залегание в широких, плосковыпуклых штоках, куполах и т. п. определяют

также и гидрогеологические свойства гранитов. Скалистые однообразно сложенные массивы простираются на относительно большие глубины, и осаждающаяся на них влага уходит по трещинам также далеко вглубь; гранитные районы в большинстве бедны обильными и постоянно текущими родниками. Передвижение водных частиц, за исключением стекающих быстро по трещинам, происходит на границе между разрыхленным выветрелым слоем и свежей породой вдоль углублений, мелких долинок и других неровностей.

Количество воды таких источников тем значительнее, и вода тем более пригодна для питья, чем мощнее и чем лучше фильтрующим оказывается выветрелый слой. При этом обнаружено, что в общем южные склоны суше и беднее влагой, чем северные, которые по общему правилу обладают меньшей крутизной и покрыты более богатым растительным покровом. При гидротехнических постройках надлежит поэтому в гранитных областях придерживаться по возможности северных склонов; при постройке же путей сообщения целесообразно уклоняться от них, ибо здесь снег остается дольше лежать, чем на южных склонах; сильное же увлажнение почвы и вызванная им склонность к сдвижению ее (оползни, скольжение и осыпание земли) заставляют прибегать к возведению дорого стоящих водоотводных и иных предохранительных сооружений. Промышленные месторождения *гранита* в СССР весьма многочисленны. Главнейшие из них находятся: в Карелии (по восточному берегу Онежского озера и др.), в Волыни (Житомирский округ), в Подолии (близ Винницы), в Киевщине, Полтавщине, б. Воронежской губ. (у Павловска), в разных местах Урала, в районе Ново-Сибирска, Корфовки (Уссурийская железная дорога) и др.

Сиениты

Характерным признаком для членов группы сиенитов является отсутствие или бедность содержания кварца и преобладание щелочного полевого шпата, в то время как цветные составные части — магнезиальная слюда, роговая обманка, авгит — часто имеются лишь в незначительных количествах. Кварцсодержащие разновидности (сиенитовый гранит) являются связующим звеном с гранитами.

В зависимости от преобладания тех или иных цветных составных частей, связанных между собой опять-таки целым рядом переходных разновидностей, различают слюдяной, роговообманковый и авгитовый сиенит. Удельный вес сиенита превышает немногим удельный вес гранита (уд. в. = 2,7—2,9, редко выше). То же обнаруживает и сопротивление раздроблению, которое составляет от 1500 до 2000 *кг/см*^{2}.

Окраска сиенита меняется в зависимости от преобладания тех или иных частей; в большинстве своем она серовато-красная или темно-зеленая, реже черно-зеленая, серая или синеватая. Сиенит легче поддается обработке, чем гранит; сиениты вообще мягче, но зато более вязки, особенно если они богаты содержанием роговой обманки или авгита; они хорошо поддаются полировке. Сцепляемость их не всегда меньше сцепляемости гранитов, сопротивление выветриванию в общем удовлетворительно.

Вязкость, сопротивляемость выветриванию и твердость (вельзауский сиенит в виде исключения имеет твердость 8) делают из роговообманковых и авгитовых сиенитов ценный материал для мощения дорог и щебенки; все же необходимо отметить, что их применение, как и нахождение, лишь местное, а потому и ограниченное; для поделочных и облицовочных работ сиенит, благодаря своим прекрасным цветам, ценится часто выше гранита. Особенно отличаются, например, красивые среднезернистые авгитовые сиениты из юго-восточной Норвегии (Лангезундфьорд), которые ввиду высокой степени крепости, стойкости и легкости полирования употребляются для облицовки фасадов, цоколей дворцов, памятников и т. д.[1]

Диориты

Диориты состоят из натро-известкового полевого шпата с одним или несколькими членами группы магнезиальной слюды, роговой обманки или авгита. Кварц *может* входить в их состав, но отсутствует почти или же полностью в большинстве разновидностей. Различают:

Кварцевые диориты. Они содержат кроме полевого шпата и какой-либо цветной составной части еще кварц и составляют таким образом переход к гранитам, отличаясь от последних содержанием более или менее основных плагиоклазов.

Авгитовые диориты: авгит преобладает среди остальных цветных составных частей.

Роговообманковые диориты или просто диориты; они являются наиболее распространенной разновидностью.

Слюдяные диориты. Магнезиальная слюда превышает количественно роговую обманку. Присутствие кварца дает повод назвать их кварцево-слюдяными диоритами.

Общая окраска диорита колеблется от темнозеленой до черно-зеленой, или же зеленая с белыми вкрапленностями.

Плотность колеблется, в зависимости от содержания тяжелых темных составных частей, между 2,75 и 3,0. Сопротивление раздроблению превышает таковое гранита и сиенита, достигая в среднем 1800—2400 *кг/см*^{2}.

Снашиваемость диоритов уменьшается с мелкозернистостью, в то время как обработка становится затруднительнее, особенно если порода содержит много роговой обманки или авгита.

Стойкость на выветривание вырастает с вытеснением слюды роговой обманкой или авгитом. За отсутствием серного колчедана надлежит следить тем тщательнее, чем более основными, значит и более подверженными разложению, и чем менее свежими являются плагиоклазы. Способность отлично полироваться делает из диоритов ценный поделочный и облицовочный строительный материал.[2] *Мелкозернистые* с богатым содержанием роговой обманки *диориты принадлежат к наиболее вязким, прочным* на раздробление и *наименее*

[1] Подробнее см. Гейслер. «Строительные камни». Сборник «Нерудные ископаемые», КЕПС, 1927 г. Ленинград.

[2] Например, прекрасное здание б. Воронцовского дворца в Алупке (Крым), выстроенное в 1832 г.

снашиваемым породам. Поэтому они также применяются с успехом в качестве подкладок для двигателей и подпорных камней под мостовые фермы и подобные им сооружения. Вязкость делает их особенно применимыми для мостовых и щебня. Красивые разновидности применяются также для украшений и художественных построек.

Габбро

Габбро состоит преимущественно из плагиоклаза и диаллага; диаллаг может быть полностью или частично замещен роговой обманкой. Оливин иногда появляется в составе породы, иногда же отсутствует. Кварц встречается в габбро чрезвычайно редко. Руд в большинстве случаев много, также и апатита.

По наружному виду габбро в общем представляет бесформенную массу, строение его равномернозернистое, преимущественно крупнозернистое. Порфировое строение почти что не встречается, зато довольно часто шлировое, волокнистое, чешуйчатое и чрезвычайно крупнозернистое.

Плотность габбро значительна (2,8—3,1). Окраска в большинстве очень приятная — темнозеленая или оливково-зеленая, иногда зеленовато-серая и коричневато-зеленая, с белыми крапинками. Габбро великолепно полируется, отличается чрезвычайной крепостью и обладает тем большей стойкостью на выветривание, чем меньше содержание полевого шпата и чем равномернее его структура. Сопротивление сжатию мелкозернистых видов очень велико (в среднем 2000—2800 *кг/см*^{2} и уменьшается с увеличением зерна до 1000 *кг/см*^{2}). Прочностью габбро обладает большой, обработка его очень трудна. При разработке в породе выемок, штолен и т. п. приходится применять очень твердые сверла, быстро снашивающиеся и требующие частой закалки, а также расходовать много взрывчатых веществ, ибо порода не только вязка, но и очень мало трещиновата; при ручном бурении суточная проходка достигает с трудом 0,4—0,6 погонных метров.

Габбро хорошо принимает полировку и часто великолепно окрашен, почему и ценен как материал для столовых досок, колонн, карнизов, облицовки памятников и т. п.

Из многих сортов габбро получается отличный материал для шероховатых мостильных камней, а также и великолепный щебень. Технически малоценны габбро с большим содержанием выветрелого сильно известкового полевого шпата, оливина или свежеобразовавшегося хлорита.

Габбровые породы и среди них лабрадориты широко распространены и разрабатываются на Волыни и Киевщине.

Перидотиты и пироксениты

Перидотитами и пироксенитами называются бесполевошпатовые или во всяком случае очень бедные полевым шпатом породы, состоящие преимущественно из оливина (перидотиты) и пироксена (пироксениты). Они отличаются очень небольшим содержанием кремнекислоты, глинозема и щелочей, а также обилием магнезии и железа.

Их удельный вес в свежем состоянии больше удельного веса всех вышеперечисленных групп (3—3,4); присутствие змеевика понижает степень плотности породы.

Цвет в большинстве темный, часто зеленоватый или зеленовато-черный; часто имеются пятнистые струистые рисунки или красные крапинки (примесь граната), которые сильно повышают ценность породы как поделочного камня, особенно для внутренних украшений. Разновидности с большим содержанием оливина, особенно находящиеся в стадии серпентинизации, нестойки на выветривание.

В свежем состоянии перидотиты и пироксениты вязки и трудно поддаются обработке.

Члены этой группы глубинных пород, наиболее основной и тяжелой и обладающей наименьшим содержанием кремнекислоты, еще в большей мере, чем габбро, сопровождаются присутствием руд; с их месторождениями связаны залежи никкеля, хромистого железняка, меди и др.

Кварцевые порфиры и липариты

Строение порфировое. Основная масса либо плотная и тогда окрашена в белый, серый, желтоватый, беднокрасный или кирпично-красный цвет, либо бесформенная (стекловидная) и тогда окрашена в большинстве в телесный, черноватый, коричневый, реже красноватый цвета.

В основной массе имеются вкрапленники щелочного полевого шпата и кварца, иногда сопровождаемые чешуйками магнезиальной слюды.

Полевошпатовые вкрапленники в кварцевых порфирах — преимущественно красные или грязно-серые ортоклазы, в липаритах они заменяются пластинчатыми вытянутыми в длину санидинами. Если же ортоклаз заменяется альбитом, то порода называется кварцевым кератофиром. Кварц отсутствует среди вкрапленников, если отвердение основной массы последовало сейчас же за остыванием полевошпатовых вкраплений; порфиры часто называют фельзитовыми порфирами, если свободная кремнекислота выделилась только в основной массе в виде кварца. Если вкрапленников нет вообще или если их мало, то говорят о фельзите.

Кварцевые порфиры и липариты различаются собственно существенным образом лишь своим геологическим возрастом. Более молодые липариты в общем лучше сохранились, имеют преимущественно более светлую окраску и стекловидный полевой шпат (санидин), в то время как более старые кварцевые порфиры, под влиянием более развившегося окисления железистых веществ, окрашены часто в ярко-красный или буроватый цвет и содержат сплошные на вид несвежие полевые шпаты.

Порфиры и липариты пригодны как щебенный материал для шоссейных и железных дорог, а также в качестве мелкого и крупного мостильного камня. При плитообразной отдельности они также применимы и в качестве тесового камня. Возможность полировки и красивые цвета и рисунки некоторых разновидностей делают из них ценный материал для поделочных камней, как то: для выделки столовых

досок, ваз, урн, памятников и т. п. Сопротивление раздроблению в среднем равно 1300—1800 *кг/см²*, часто далеко превышая эти цифры. Плотность кварцевых порфиров меняется от 2,40 до 2,60; изредка они достигают еще высших цифр. Прочность их вполне удовлетворительна, последующая ломкость в общем незначительна; трудность обработки средняя, и лишь фельзитовые порфиры и фельзиты поддаются с большим трудом ломке; при разработке штолен в фельзитовом порфире ручным бурением дневной успех работы достигает 0,4—0,7 погонных метров, машинным бурением — около 2½ *м*, в обыкновенном порфире — в среднем от 2,9 до 4 погонных метров.

Качество и стойкость на выветривание липаритов и кварцевых порфиров зависит от свойств и количества основной массы и вкрапленностей. Плотные фельзиты принадлежат к наилучшим сортам строительного камня, особенно если их основные массы не имеют раковин, свежи и сильно окрашены; из таких пород сталь выбивает искру, они не поддаются царапанию ножом и в изломе занозисты; их сопротивление раздроблению достигает 2800 *кг/см²* и даже больше. Фельзитовые порфиры с незначительным сравнительно количеством вкрапленников и с хорошо сложенной основной массой мало отстают от них в отношении крепости. Остальные разновидности порфиров при равном качестве основной массы тем крепче и более стойки на выветривание, чем более основная масса количественно превосходит вкрапленности. В бедных вкрапленностями порфирах, с богатой кремнием основной массой, даже несвежесть полевых шпатов может не принести вреда, ибо прочная основная масса сможет попрежнему связывать всю породу и после выветривания полевых шпатов. Обилие кварца выгоднее обилия полевого шпата. Из различных разновидностей структуры основной массы стекловидная менее выгодна, ибо она более хрупка и легче поддается выветриванию, чем полукристаллическая или полнокристаллическая; последняя, в свою очередь, должна простому глазу казаться совершенно плотной, эмалеобразной и роговой и не должна иметь следов выветривания; она не должна принимать царапин под действием ногтя. Серный колчедан и глинозем всегда вредны, особенно в фельдшпатидовых порфирах.

Полевошпатовые порфиры и трахиты

Сиенитовые магмы образовали на поверхности земли трахиты (более молодые породы) и полевошпатовые порфиры (более древние); от кварцевых порфиров и липаритов они отличаются отсутствием кварца.

Основная масса в большинстве выглядит плотной, иногда стекловидной и окрашена в серый, желтоватый или красноватый цвет. Структура большей частью порфировая. Плотность колеблется около 2,55 (2,20—2,61); наименьшего значения она достигает в ячеистых трахитах. Общая окраска меняется от серой до зеленовато-серой, желтоватой и красноватой.

Сопротивление раздроблению вследствие пористого сложения незначительно, в среднем 600—700 *кг/см²*.

Полевошпатовые порфиры и трахиты легче поддаются обработке, чем члены предыдущих групп; снашиваемость их, в особенности разновидностей с большими вкрапленностями, довольно значительна.

Поскольку полевошпатовые порфиры довольно пригодны для бутового и строительного камня, для ощебенки шоссейных дорог, для железнодорожного балласта и т. д., постольку это может быть сказано в отношении трахитов лишь в том случае, если они не слишком трещиноваты и не богаты санидиновыми вкраплениями. Сильно ячеистые, особенно дырчатые трахиты быстро размалываются колесами повозок, не выдерживают в постройках слишком большой нагрузки; они также мало стойки на выветривание, легко превращаются в песок и подвержены разрушающему действию мороза; ввиду их остающейся при снашиваемости шероховатости ими иногда замащивают более крупные дорожные участки.

Большие трещиноватые санидиновые кристаллы легко выветриваются из массы породы, открывая тем самым выветривающим силам доступ внутрь породы. Лучшие из малосодержащих полевой шпат трахитов, благодаря их шероховатости, хорошо связываются с известковым раствором, но требуют до укладки смачивания, ибо в противном случае они впитали бы из раствора слишком много влаги. Из некоторых месторождений добывают хорошие жернова, из других сортов, поддающихся более легкой обработке, выделывают колонны, карнизы, ступени, украшения и т. д. *Трахит не принимает полировки.*

Отделяемые целыми плитами трахиты употребляются для настилок тротуаров, для полов, а более тонкие даже для кровельных работ.

Порфиры прекрасного качества для брусчатки имеются на южном берегу Крыма в г. Кастель и Партените (сопротивление 1800 *кг/см*^{2}), около Челябинска на Урале, в Салаире, Кузнецком Ала-тау и Алтае, около г. Томска (сопротивление 2700 *кг/см*^{2}).

Трахиты добываются на Кавказе в лакколитах Минераловодской группы (Беш-тау, Кинжал, Кум-гора и др.) и в Эриванском районе. В последнем, как вообще в Армении, широко развиты, кроме трахитов и базальтов, их туфы, являющиеся не только основным строительным материалом района, но и весьма ценным предметом вывоза (в последнее время в Москву и др. места).

Фонолиты

Фонолиты являются порфировыми эффузивными породами, для коих характерно соединение санидина (или анортоклаза) и нефелина (с характерным частью шестиугольным, частью прямоугольным разрезом) в качестве вкрапленностей; существенной цветной составной частью, входящей преимущественно в состав основной массы и поэтому невооруженному глазу незаметной, является авгит. Роговая обманка встречается редко. Основная масса плотна, в большинстве зеленовато-серая или коричневатая и отливает жирным блеском.

Миндалевидное строение наблюдается часто; удельный вес составляет от 2,44 до 2,58 (редко до 2,64). Выветривающийся фонолит покрывается желтоватой или серовато-белой корой, отделяющейся от свежей породы. В общем многие фонолиты, в особенности богатые содержанием нефелина, очень мало стойки на выветривание.

Окраска в большинстве беловатая, светлосерая или светлозеленая с слабым жирным блеском; излом занозистый, острый, плоскораковистый. Отдельность часто ясно плитчатая, иногда же столбчатая, в зависимости от нее и определяется применение породы для покрытия кровли, сидений, столовых досок, настилов полов, тротуарных плит, для возведения стен и т. д.

Местами фонолит употребляется на стеклянных заводах, а при большом содержании калия находит также применение в размолотом виде в качестве искусственного удобрения почв.

Сопротивление раздроблению определяется в 1700—2500 *кг/см*^{2}.

При выветривании фонолиты распадаются, как общее правило, на кучу остроребериых плиточных обломков, покрывающихся при выветривании серо-беловатой каолиноподобной корой.

Андезиты и порфириты

Более молодые андезиты и более древние порфириты представляют порфировые эффузивные породы, образовавшиеся из остывшей диоритовой магмы; в светлосерой или красноватой, темносерой, даже черной, а иногда и зеленоватой или коричневой основной массе имеются вкрапленности известково-натрового полевого шпата, а также биотитовые, роговообманковые и авгитовые.

В зависимости от преобладающей цветной составной части породы, различают слюдяные, роговообманковые и авгитовые порфириты и андезиты.

Общий цвет всей породы от светлосерого до темносерого, у порфиритов, как правило, серовато-зеленый, желтовато-зеленый, часто и яркозеленый. Удельный вес разновидностей колеблется между 2,56 и 2,85, а сопротивление раздроблению между 1200 и 2400 *кг/см*^{2}.

Породы эти пригодны для поделок, особенно при красивой окраске и толстослоистой отдельности. Общая темная окраска породы указывает на большое содержание в ее составе авгитов и роговой обманки и тем самым на повышенную твердость и стойкость на выветривание.

Диабазы, мелафиры и базальты

Габброидные магмы образовали в виде жил и поверхностных излияний эффузивные породы, обладающие частью видимым простому глазу порфировым, иногда же и зернистым строением и отличающиеся всегда темным, даже черным цветом. Наружный облик в большинстве матовый, тусклый; местами проблескивают частицы титаносодержащих железных руд. Зерно редко крупное (*долериты*), в большинстве случаев мелкое (*анамезиты*); иногда строение плотное (*афаниты*). Главными составными частями являются известково-натровый полевой шпат и авгит; место полевого шпата часто замещает лейцит или нефелин; в таком случае образуются разновидности породы, называемые сообразно с новой составной частью лейцитовыми базальтами, нефелиновыми базальтами. Добавлением оливина порода изменяется в оливиновый базальт или оливиновый диабаз.

В породах с порфировым строением из основной всегда темной массы выделяются всегда главным образом только авгиты и оливины

как бы в виде вкрапленностей; полевые шпаты, их заместители и руды менее заметны.

а) *Мелафирами* обозначаются обыкновенно темные, более древние, вскипающие под действием соляной кислоты, породы с более или менее порфировым строением, благодаря вкрапленностям известково-натрового полевого шпата, авгита или оливина; мелафиры являются таким образом как бы порфировыми видоизменениями оливиновых диабазов.

Удельный вес составляет в большинстве 2,5—2,8, реже больше (2,92). Сопротивление раздроблению несвежих пород редко превышает 1200 *кг/см*^{2}; только совсем свежие породы обнаруживают большую степень сопротивления. Мелафир стоек на выветривание лишь в свежем состоянии и тогда вполне применим для облицовок, строительного камня, щебня для бетона, щебня для шоссейных и балласта для железных дорог, иногда также в качестве подферменных камней; темная суровая общая окраска делает его излюбленным материалом для украшений.

Свойство породы от трения быстро делаться гладкой, а также незначительная ее стойкость на выветривание делают ее мало пригодной для применения в качестве мостильного камня. Выветрившаяся порода, обнаруживаемая благодаря своему землистому сложению и несвежей плоскости излома, окрашенной в шкалу цветов от светлозеленого до коричневого, должна применяться лишь с большой осторожностью. Хорошие мелафиры обладают темнейшей зеленой окраской и тонковолокнистым скученным расположением своих авгитовых игл.

Выветривание начинается от поверхности и проникает внутрь по расщелинам и трещинам, окрашивая плоскости породы сначала зеленоватым, а потом коричневатым цветом и обволакивая их землистой корой.

б) *Диабазы*, как более древние породы, отличаются часто уже по внешнему виду от похожих в общем на них базальтов, которые в связи с меньшим возрастом обладают большей свежестью. Минеральный состав обеих пород в остальном совершенно одинаков. Отличительной чертой диабазов является редко встречающееся в базальтах так называемое «переплетное» строение: среди шестоватых, беспорядочно переплетающихся известково-натровых полевых шпатов зажата темная аморфная, заполняющая промежутки, авгитовая масса; редко встречаются разновидности с зернистым, габбровидным строением (габброидные диабазы).

При выветривании первоначально темная, черновато-зеленая порода становится бурой и распадается в богатый глиной, по цвету ржавый хрящ.

Удельный вес диабазов колеблется между 2,8 и 3,0 (реже выше), сопротивление раздроблению между 2000 и 4000 *кг/см*^{2}.

Твердость и обрабатываемость — средние; последующая ломкость зависит от степени сохранности породы. Легкое полирование делает их ценным материалом для поделок и украшений. Черные шведские и финские сорта в промышленности ошибочно называются «шведским гранитом».

«Диабазит» искусственный строительный камень, состоящий из диабазовой муки и раствора (известки). Свежие диабазы дают вели-

колепный стойкий мостильный камень, медленно снашивающийся щебень. Мелкая трещиноватость часто не допускает их применения в качестве строительного камня. Диабазы иногда содержат руды.

Диабазы выходят на западном берегу Онежского озера (они дают брусчатку для Ленинграда, Москвы и др. городов) и на Сегозере; запасы значительные. Диорито-диабазовые породы залегают в виде многих небольших лакколитов (Кара-даг, Аю-даг, Кастель, Коктебель, Лимены, Алупка) и жил по южному берегу Крыма и в окрестностях г. Симферополя, а также в б. Черноморской губ. (р. Мзымта).

в) Под именем *базальта* сопоставляется ряд пород, которые, кроме темного, часто мелкозернистого до плотного или порфирового вида, не имеют друг с другом почти ничего общего за исключением только их очень основного состава и преобладания авгита среди цветных составных частей.

Место полевого шпата может заступить замещающий его минерал, но полевой шпат может также совершенно отсутствовать; в породу часто примешаны стекловидные массы.

Наименования разновидностей, как то: кварцевый базальт, полевошпатовый, нефелиновый, лейцитовый, оливиновый и безоливиновый базальт — понятны сами по себе. *Траппом* называют базальтовые эффузивные породы с переплетным строением без оливиновых или авгитовых вкрапленностей.

Удельный вес базальтов 2,7—3,3; они принадлежат таким образом к наиболее тяжелым изверженным породам. Вследствие большой твердости они трудно поддаются обработке, часто легко раскалываются и хорошо полируются. Хрупкость базальтов не позволяет их применять для более тонких украшений, карнизов и т. д. Они хорошо проводят тепло, впитывают довольно значительное количество влаги, почему возводимые из них стены холодные, сырые.

Последующей ломкостью обладают лишь базальты с большим содержанием стекла, легко подверженные распаду и разложению. Базальты залегают в форме покровов, куполов и жил и отличаются часто проявляющейся столбчатой отдельностью, второстепенной является поперечная отдельность; встречается также шаровидная и неправильно-полиэдрическая отдельность. Поскольку отдельность базальтов облегчает их добычу, позволяя часто применять лом и кирку и экономить взрывчатые вещества, постольку она, с другой стороны, ограничивает круг их применения, если диаметр отдельных столбов слишком мал, что весьма часто имеет место в природе. Поэтому лишь немногие залежи этой очень стойкой на выветривание и очень твердой породы могут быть использованы. Более тонкие столбы базальтов используются в качестве тумб или камней для закрепления откосов, водяных построек (дамб и т. д.), насыпей, фундаментов, в качестве мостильного камня для улиц и в качестве щебня для шоссейных дорог и балласта при укладке шпал. Для мощения мелким камнем базальт более пригоден, чем для крупного мощения, ибо в последнем случае края породы вследствие хрупкости ее легко откалываются, и поверхность отдельных камней быстро становится гладкой. Ноздреватый и глинистый базальты находят применение в качестве строительного камня, жерновов и мостильного камня; в последнем случае шероховатая поверхность представляет известные выгоды (гладкий,

бестрещиноватый базальт становится при снашивании очень скользким), с другой же стороны такие мостовые поддаются значительно хуже чистке. Кроме вышеперечисленных случаев, базальты применяются в качестве плавня в металлургии, в бутылочном, стеклянном, цементном производстве и т. п.

Сопротивление раздроблению колеблется от 1100 до 5000 *кг/см*^{2}.

Базальты в общем выветриваются трудно и медленно; обломки их на откосах, покрытых осыпями, часто имеют острые края, что свидетельствует о совершенно исключительной сопротивляемости некоторых разновидностей разрушительному влиянию сил выветривания.

Такие базальты представляют великолепный материал с высоким сопротивлением сжатию. Наряду с этими имеются, иногда в той же ломке, также базальты, дающие при выветривании округленные ребра, следовательно, значительно менее стойкие на выветривание; кроме того, имеются породы, покрывающиеся при лежании на открытом воздухе маленькими, постепенно яснее выступающими, звездообразными, беловато-серыми пятнышками и крапинками; вскоре вокруг этих пятен образуется целая сетка тонких неправильных трещин, по которым порода в конце концов распадается в крупный или угловатозернистый гравий или песок. Такие разновидности называются «загоревшими» — «Sonnenbrenner» — и для технических целей вовсе непригодны. Они образуются главным образом на поверхности базальтовых потоков, жил и т. п. На свежих осколках таких базальтов можно вызвать появление упомянутых пятнышек, появляющихся иногда по истечении нескольких недель, путем кипячения осколка в течение нескольких часов в карбонате аммония или в уксусной кислоте, а также путем повторного разогревания кусков породы до 250—300° Ц.

О признаках, указывающих на стойкость базальтов, на выветривание и степень их сопротивления раздроблению, можно сказать следующее.

Окраска хороших сортов базальта должна быть очень темной, зерно породы — чрезвычайно тонким и равномерным, строение — не порфировым; более крупные полевые шпаты и авгиты, в особенности же оливины и нефелины, легче поддаются выветриванию, поэтому надлежит испытывать их свежесть при помощи стальной иглы. Основная масса также должна только с трудом царапаться стальной иглой; мягкость или даже глинистый запах основной массы являются признаком недоброкачественности породы, в особенности же полной непригодности ее для подводных сооружений. Для последней цели необходимо особенно тщательно производить выбор базальтовых строительных камней, так как установлено, что менее хорошие сорта на ватерлинии весьма часто промерзают и растрескиваются. Излом породы должен быть плоскораковистым, а не угловато-ячеистым. Слой выветривания в хороших базальтах редко превышает толщину в 2—3 *мм*; более толстые слои выветривания в большинстве своем выделяются также и ржаво-красным цветом, происходящим от выделившегося из стекловатой части породы бурого железняка. Чем больше имеется стекловатой массы, тем более понижается стойкость базальта на выветривание и степень сопротивления раздроблению, присутствие же ее часто обнаруживается невооруженным глазом.

§ 18. Горообразовательные процессы

Сложные физико-химические процессы, происходящие сейчас в самом теле Земли, являются прямым продолжением длительных преобразований одной из первичных космических туманностей в планету. Современное внутреннее строение Земли закономерно изменяется и развивается непрерывно, отнюдь не являясь чем-то законченным, когда-то «созданным» и мертвым. Все, хотя и противоположные по характеру и результатам, процессы, происходящие внутри Земли, объединяются едиными законами, о сущности которых мы пока можем высказывать лишь те или иные гипотезы. Они весьма еще противоречивы и излагаются в специальных курсах общей геологии, здесь же совершенно опущены. Науку о строении Земли и непрерывном преобразовании его мы называем *геотектоникой*. Она является основной и важнейшей частью геологии. Если, как сказано, ее основные законы еще не вполне нам ясны, особенно в отношении недоступных нашему прямому наблюдению глубинных процессов, то о результатах их на поверхности Земли и в ближайших к ней верхних частях земной коры (до 5 *км*) у нас накопился фактический материал по наблюдениям геологическим, геофизическим, буровым, рудничным, туннельным. Этот материал совершенно достаточен уже для ясного представления о строении, т. е. взаимном расположении горных пород, в той оболочке Земли, с которой человеку и в частности технику приходится практически иметь дело; он вместе с тем ему и абсолютно необходим для всякой сколько-нибудь сознательной работы. Иначе говоря, если знание *геотектоники*, в широком смысле, технику обременительно и в значительной мере излишне, то представление о *тектонике* того участка поверхности, к которому приурочена его работа, обязательно, особенно если она связана с проникновением в *коренные породы*, глубже обычно покрывающих их *наносов*.

Независимо от тех или иных геотектонических гипотез, положительным фактом является наличие внутри Земли больших (повышающихся вглубь) температур и давлений. Одним из проявлений этих факторов является *вулканизм*, с которым мы ознакомились. Другим проявлением являются изменения строения, т. е. тектоника, или *тектонические процессы*, или движения земной коры.

Иногда их называют *горообразовательными процессами*, исходя из того, что благодаря движениям земной коры, всякого рода поднятиям, выпячиваниям, сморщиваниям *(складчатости)* и возникают те первичные неровности на поверхности Земли, которые называются ее *рельефом*, или просто *горами*. Не все однако горы, т. е. возвышенности на Земле, исключительно такого тектонического происхожде-

ния, как увидим в конце этого параграфа и в дальнейших частях курса. Кроме процессов тектонических или *процессов внутренней динамики* Земли (включая сюда и вулканизм), над непрерывным изменением поверхности Земли работают и *процессы внешней динамики*, или *денудационные* (буквально с латинского «смывающие»), основным агентом которых служит вода в разных видах[1] (жидкая или твердая, наземная или подземная и т. п.). Ознакомляясь с ними дальше, мы увидим, что у всех внешних (денудационных) процессов имеются всегда три фазы действия — *разрушение* (смыв), *перенос* измельченных продуктов в другое место (обычно сверху вниз) и *отложение* там, где живая сила данного денудационного агента падает или исчезает.

Внешние процессы ведут к сглаживанию земной поверхности и уничтожению всех ее возвышенностей; процессы же тектонические столь же усиленно заняты созданием новых неровностей поверхности; вместе они формируют лик Земли. Движения твердой коры Земли, поднимающие или опускающие большие участки коры, в целом не изменяя их строения, называются *эпейрогеническими*[2] или материкообразующими, в противовес *орогеническим* или *горообразующим* процессам в узком смысле слова, непосредственным результатом которых являются собственно горы и нагорья, образованные смятием и разрывами земной коры.

Перемещения отдельных частей земной коры при эпейрогенических процессах происходят преимущественно по радиусу Земли. Речь идет значит о вертикальных перемещениях (поднятиях и опусканиях), в то время как орогенические процессы происходят как радиально, так и горизонтально по касательной к земной поверхности и вызывают вследствие бокового давления горизонтальное перемещение частей коры и образование складок. Вертикальное перемещение частей земной коры происходит после местного разрыва ее и разложения ранее единой массы в ряд более или менее многочисленных глыб, ограниченных трещинами, вдоль которых и происходит перемещение. Такие разломы и плоскости перемещения масс могли образоваться вследствие разных причин: растяжения, разрыва, сжатия, чрезмерного сгибания или скручивания.

Горизонтальные перемещения сначала образовывают простую *складку;* это легко можно проверить на опыте, сдвигая два наложенных друг на друга отреза сукна с противоположных сторон. Если боковое давление продолжается также и после образования обыкновенных складок, то нередко сплошность породы разрывается, и отдельные части складки надвигаются одна на другую. Складка переходит в надвиг. И здесь, как и в вертикальных перемещениях, обязательной

---

[1] Так как количественно больше технических работ связано собственно с самой поверхностью земли, т. е. с полем деятельности процессов денудационных, то они умышленно в данном курсе излагаются гораздо подробнее, чем тектонические, что не должно, однако, давать неверное представление о меньшей важности и сложности вторых. Для специалиста геолога и горного инженера отношения обратные, почему данный курс им и не годится. Вопросы же туннелей все равно без геологов решаться не должны.

[2] «Эпейрос» по-гречески значит материк, «орос» — гора, «геннао» — рождаю, произвожу.

предпосылкой является предварительное образование трещины или плоскости скольжения.

Исследования последних десятилетий доказали, что надвиги иногда с амплитудой перемещения во много километров играют значительно бо́льшую роль, чем это предполагалось раньше.[1]

Итак благодаря вечному взаимодействию воздвигающих внутренних процессов Земли и сглаживающих, разрушающих внешних, образуются формы земной поверхности, как углубления — отрицательные формы рельефа, так и возвышения — положительные формы.

Технике наиболее интересны мелкие формы рельефа.

Большие формы рельефа представляют материки и морские бассейны. К средним формам рельефа принадлежат низменности и области опускания на материках, котловины, котлообразные провалы и долины, а также одиночные горные вершины, нагорья и горные массивы. Низменности или низины представляют плоские или равнинные образования, лишь немногим возвышающиеся над морским уровнем или даже лежащие ниже его. Если они расположены, как например Ломбардская или Германская низменности, поблизости от морского берега, то их называют береговыми или краевыми низменностями; в геологическом недалеком прошлом они образовывали морское дно. Внутренние низменности расположены далеко от берегов материка и представляют, как например Среднерусская или Сарматская низменность, плосковолнистые, широко раскинувшиеся, обширные равнины.

Плато или столовые страны состоят из пологих или горизонтально лежащих слоев осадочных и изверженных пород.

Горы делятся на:

I. Тектонические
- а) горы разлома или глыбовые
- б) горы складчатые

II. Денудационные
- 1. Насыпные
  - а) эоловые — образуются деятельностью ветра
  - б) ледниковые — образуются деятельностью льда
- 2. Горы сноса
  - в) вулканические — образуются деятельностью вулканов

§ 19. Медленные поднятия и опускания земной коры (процессы эпейрогенические, колебательные)

Медленные, охватывающие большие участки земной коры, поднятия и опускания несомненны. В то же время нельзя скрывать всех трудностей, возникающих при правильном толковании замеченных движений коры, трудностей, возникающих при самом наблюдении этих движений, что объясняется отсутствием истинной нолевой поверхности, из которой можно было бы исходить при измерениях.

Линия, от которой мы в общем исходим — уровень поверхности моря, сам с течением времени перемещается и не может поэтому служить абсолютным мерилом высоты, так как кроме движений земной

[1] Подробнее различные виды и формы тектонических нарушений описаны в § 40.

коры, несомненно, хотя и в меньшей мере, имеются изменения и объема вод океанов и морей, влияющие на положение уровня их. Наконец, поднятие уровня моря может быть вызвано поднятием его дна, а не опусканием берегов. В последующем выражения поднятия и опускания будут применяться вне зависимости от того, вызвано ли изменение береговой линии перемещением уровня моря или поверхности материка.

Поднятия оставляют за собой на берегах легко отличимые и долго сохраняющиеся следы в форме крутых обрывов и примыкающих к ним спереди немного покатых или горизонтальных плоскостей — *террас*. Каждый обрыв представляет волноприбойный уступ, от которого набегающие по пологому дну волны отрывали кусок за куском глыбы пород. Понижение уровня моря или же поднятие материка осушали такие площади, оставив на них, кроме береговых валунов, еще и другие следы моря, в виде отложений морских раковин, кораллов, улиток, следов работы сверлящих моллюсков и др. Если поднятие происходит быстро, то свидетелями перемещения границы между сушей и морем являются водопады и крутые падения впадающих в море ручьев и рек. В виде примера и поныне продолжающихся поднятий может служить Скандинавия.[1]

Опускания материка обнаруживаются лежащими ниже морского уровня затопленными устьями рек. Наиболее известными примерами являются фьорды Норвегии, Шотландии, Гренландии и т. п. Босфор и Дарданеллы являются частями опустившегося огромного потока. Опускания и поныне происходят во многих местах. Так например берега Голландии и всей северной Германии опускаются все ниже и ниже, то же самое наблюдается и на берегах северной Франции, Далмации и др.

Из внутренних областей Германии также имеются сведения о медленном перемещении больших площадей поверхности земли в последнее время. Например заметки, вырубленные в породе в руднике Моргенштерн у Аахена в боках трещины сброса, переместились по отношению друг друга в течение 2½ лет на 11½ *см*.

Ряд точнейших нивеллировок, проведенных в Германии и Франции, ясно указывает на существование медленных колебаний поверхности земли, при нашей короткой жизни незаметных, но играющих существенную роль как в геологической истории Земли, так и в истории жизни народов.

Инженер, возводящий на морском берегу долговременные сооружения, не может не обращать своего внимания на явления перемещения береговой линии, в особенности если наблюдается поднятие уровня воды. Тем самым его обязанностью является также участвовать в исследовании поднятий и опусканий путем периодически повторяемых, точных измерений и опубликования результатов этих наблюдений. Вопрос выбора рационального способа предохранения Ленинграда от наводнений в значительной мере зависит от того, в каком состоянии находится это побережье Финского залива — поднятия или опускания и какова скорость этих движений.

[1] Максимум поднятия установлен у Стокгольма в Швеции, а южная граница его, или нолевая линия проходит от Рити на Болотое и южнее Андомы.

§ 20. Землетрясения

Землетрясением называют всякое сотрясение земной коры, происходящее от причин внутренних, скрытых в недрах Земли; если сотрясается морское дно, то такое явление называется *моретрясением.*

Каждый час, ночью и днем (в среднем) происходит где-нибудь землетрясение. Эти толчки, эта дрожь Земли, происходящие не только с самых древних исторических времен, но, вероятно, уже многие миллионы лет, ясно говорят об ее подвижности и являются лишь ничтожными отголосками и показателями бесконечно долгих и грандиозных процессов создания и преобразования нашей планеты. Этими процессами, изучением их на поверхности Земли занимается *геология,* а внутри Земли — *геофизика.*

Лишь недавно эти две науки тесно объединились и соединенными усилиями и методами гораздо успешнее и точнее, чем раньше, стали проникать в сущность внутреннего устройства Земли и тех процессов, которые его непрерывно изменяют.

Наиболее важно в этом отношении, пожалуй, было сближение геологии с той частью геофизики, которая помощью очень точных инструментов и физико-математических вычислений исследует упругие колебания твердых тел, колебания, распространяющиеся в теле Земли, законы их распространения, скорость и т. д., и которая названа *сейсмологией.*[1] Так возникла *сейсмогеология.* Эта наука пользуется одновременно результатами сейсмологических и геологических точных исследований для выявления наиболее подвижных частей земной поверхности и объясняет причины этой подвижности. Установление взаимной связи сейсмических и геологических фактов каждого данного места и закономерностей этой связи составляет основную цель сейсмогеологии, достижение которой даст возможность уже много точнее, чем до сих пор, разделить поверхность Земли на области большей или меньшей подвижности или опасности в смысле землетрясений.

Этим путем будет достигнута возможность предсказания, если не времени землетрясений, то во всяком случае вероятных мест их, силы и характера, что для народного хозяйства в целом, а в особенности строительства, имеет уже громадное значение.

В 1905 г. директор Сейсмологического института Японии указал на громадную опасность, которой неминуемо подвергнется Токио вследствие разрыва его водопровода при ближайшем большом землетрясении, которое, по его мнению, должно было произойти. «Мы должны быть готовы тогда потерять 100 000 человек» — писал он. К этим «пророческим» словам, однако, отнеслись насмешливо и неодобрительно, как к напрасному распространению паники среди населения.

Но за минуту до полуночи первого сентября 1923 г. предсказание начало сбываться и в течение пяти минут Токио с 2 000 000 населения

[1] Буквально с греческого — наука о толчках, о сотрясениях, так как «сейсмос» значит толчок.

и Иокогама с полумиллионом населением были уничтожены. В обоих городах по заведомо преуменьшенным официальным данным было убито около 1 000 000 людей, 104 000 было ранено и 44 000 исчезло без вести.

Домов было уничтожено 576 262, а общий материальный убыток исчислялся в 4½ млрд. долларов. Главной причиной гибели города были именно пожары, возникшие одновременно в разных его частях при порче водопровода; при этом на одной только площади в Токио заживо было зажарено 32 000 человек, оцепленных кольцом бушующего пожара. Предсказание директора Сейсмологического института исполнилось с абсолютной и зловещей точностью. Почти аналогичные явления наблюдались при гибели от землетрясения Сан-Франциско в 1906 г., столицы Никарагуа в 1931 г. и других городов. С увеличением размеров городов, с расширением и усложнением промышленности, с сосредоточением в них громадных хранилищ огнеопасных веществ, бензина и т. п., одновременно с централизацией водопроводящих артерий, иногда очень длинных, опасность гибели от возникающих при землетрясениях пожаров все увеличивается, особенно в городах с многоэтажными колоссальными домами-небоскребами.

Однако по силе землетрясение в Японии 1923 г. не было еще наибольшим. Его значительно превосходило землетрясение весной 1933 г., центр которого, к счастью однако, лежал в океане, и землетрясение 16 января 1934 г. в сев. Индии.

Считается, что за 4000 лет погибло во время землетрясений не менее 13 млн. людей, причем совершенно естественно, что эта цифра весьма неточна и много меньше действительной.

§ 21. Причины, характер и распространение землетрясений

Землетрясения, или сейсмические удары, исходят из какой-либо точки твердой земной коры, которую называют *гипоцентр*; точка, ле-

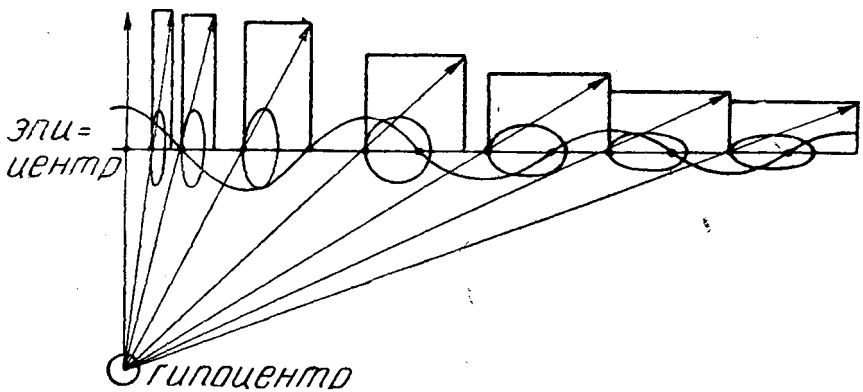


Рис. 25. Постепенный переход вертикальных сейсмических ударов в волнообразные по мере удаления от эпицентра.

жащая на поверхности Земли, в ближайшем от гипоцентра расстоянии, называется *эпицентром* (рис. 25). Причины возникновения

землетрясений и образования центров первоначального трясения различны и позволяют, исходя из них, произвести *классификацию землетрясений.*

Наиболее далеко распространяющиеся и разрушительные *тектонические* землетрясения, непосредственно связанные с глубокими линиями разрыва земной коры; они встречаются наиболее часто там, где движения в недрах Земли еще сильны, т. е. в молодых складчатых горах и их предгорьях, как и в молодых площадях опускания; очень редко или даже совсем они не встречаются в обширных уравновешенных древних площадях.

Если причиной сотрясений земной поверхности являются извержения вулканов или какие-либо другие вулканические явления, то

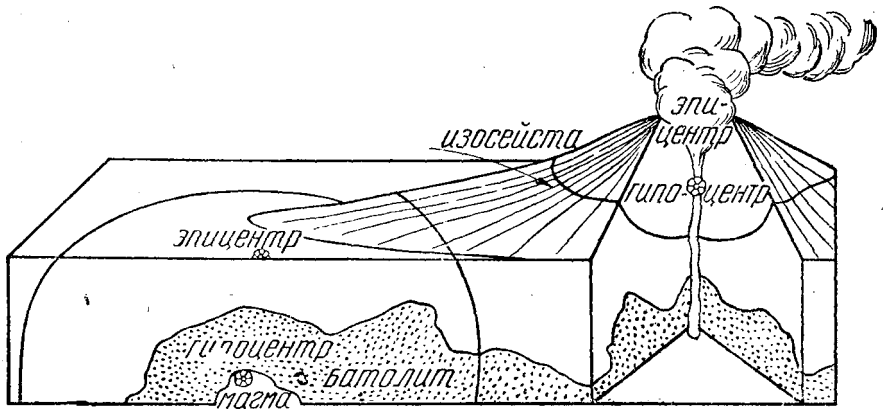


Рис. 26. Схема происхождения вулканических землетрясений (справа) и интрузивных (слева).

говорят о вулканических землетрясениях; они вызываются либо громадными взрывами газов, или же поднимающимися расплавленными массами, окончательное извержение коих на земную поверхность почему-либо не произошло *(скрыто вулканические, магматические* или *интрузивные землетрясения)* (рис. 26). Строгое разделение тектонических и вулканических землетрясений часто невозможно, так как и те и другие являются проявлениями и следствиями одних и тех же действующих внутри Земли процессов.

Сравнительно малозначительны в отношении вредных последствий и всегда очень ограничены в своем распространении *денудационные (обвальные) землетрясения,* вызываемые обвалами образовавшихся естественным путем полостей. Они наиболее часто встречаются в областях, в которых легко растворимые породы, как то: каменная соль, гипс, ангидрит, также и известняк, размываются или растворяются циркулирующими в них водами. О таких землетрясениях сообщалось, например, из окрестностей Риги, Эйслебена, Рейхенхалля, б. Пермской губ. и др. Кроме того, в горном массиве могут образоваться более значительные полости вследствие истока крупных количеств воды, которые при проявлении возникающих разгрузочных напряжений вызывают незначительные землетрясения. Таковым, на-

пример, является происшедшее 2 и 13 ноября 1913 г. в Гренхском туннеле, в Швейцарской Юре, туннельное сотрясение, распространившееся от южного конца туннеля как от центра. Но такие землетрясения являются уже переходной ступенью к движениям земной коры, не могущим быть названными землетрясениями в геологическом смысле.

Вызванные указанными причинами сотрясения Земли распространяются в земном шаре во все стороны в виде *упругих волн*.

Скорость распространения сейсмических волн в метрах в секунду в различных горных породах

Породы \ Сейсмические волны (*м/сек*)	Продольные	Поперечные
Гранит	3 960	2 580
Мрамор	3 550	1 830
Плотный песчаник	3 780	—
Песчаник средней плотности	1 670	700

Для сравнения:

Скорость скорого поезда . . . . . 30 *м/сек.*
Скорость течения быстрой реки . . . . . 3 „

К месту наблюдения волны эти попадают либо непосредственно через земную кору либо путем одно- или многократного отражения от земной поверхности, либо, наконец, по самой земной поверхности (поверхностные волны). Наблюдателю, находящемуся над центром (в эпицентре) землетрясения, будет казаться, что удары идут вертикально из глубины; чем дальше он будет удален от центра сотрясения, тем более боковыми окажутся наблюдаемые им колебания.

Научное наблюдение и измерение землетрясений производится при помощи измерителей сотрясений — *сейсмометров*. Они состоят главным образом из тяжелой массы — маятника, подвешенного к стержню; движение маятника записывается пишущим рычагом на бумажной ленте, медленно протягиваемой часовым механизмом. Точно идущие часы отмечают особыми значками на ленте минуту за минутой; если маятник находится в покое, то пишущий рычаг движется по несущему бумагу валику в прямом направлении; при малейшем же движении маятника пишущий рычаг уклоняется вправо или влево, и так как бумажная лента находится в беспрерывном движении, то на ней получается зигзагообразная линия, так называемая *сейсмограмма*.

В более совершенных приборах (системы Б. Голицына и П. Никифорова) эта механическая регистрация заменена «оптической» (на фотобумаге).

Из сейсмограммы видно, находится ли центр землетрясения под местом наблюдения, или на большем или меньшем расстоянии от него.

Так называемые местные землетрясения обнаруживают на сейсмограмме не разложение сотрясения на ряд ударов, а лишь одно глав-

ное движение, внезапно начинающееся и медленно ослабляющееся; ближние землетрясения наряду с главным сотрясением и последующим затуханием обнаруживают еще одного «предтечу», более отдаленные землетрясения — также и «второго предтечу».

Чем глубже расположен центр землетрясения, тем более заглушенным будет проявляться сотрясение на земной поверхности, охватывая в то же время более значительные пространства; мелко лежащие центры вызывают часто очень сильные колебания земной коры, но сотрясают при этом в большинстве своем сравнительно незначительные площади.

Для определения интенсивности землетрясения Меркалли — Зиберг установили следующую (передаваемую здесь в сокращенном виде) шкалу:

1-я степень (или балл). Незаметно (величина наибольшего ускорения почвы 2,5 *мм/сек*^{2}).

Сотрясение для человека неощутимо; оно обнаруживается лишь записями сейсмометров для ближних землетрясений. После сообщения об определении землетрясения при помощи научных приборов иногда являются люди, уверяющие, что они заметили землетрясение.

2-я степень. Очень легко (2,6 — 5,0 *мм/сек*^{2}).

Лишь немногие, находящиеся в полном покое люди, в особенности обладающие восприимчивыми органами чувств и нервами, ощущают землетрясение в виде легкого дрожания или покачивания. В верхних этажах домов землетрясение легче может быть замечено, чем на уровне земли; тишина ночи также содействует этому.

3-я степень. Легко (6 — 10 *мм/сек*^{2}).

Даже в более густонаселенных местностях землетрясение ощущается лишь небольшой частью населения, как легкое сотрясение, напоминающее вызванное проездом повозки. Иногда удается определить приблизительно срок и направление движения. Некоторые наблюдатели лишь после обмена мыслей приходят к заключению, что присутствовали при землетрясении.

4-я степень. Посредственно (11—25 *мм/сек*^{2}).

Лишь немногие из находящихся на открытом воздухе лиц замечают землетрясение, которое внутри строения ощущается значительно полнее. Предметы комнатной обстановки обнаруживают дрожащее или легко колеблющееся движение, в связи с чем тесно составленные стаканы или посуда с легким звоном соприкасаются, подобно тому как это наблюдается при проезде грузовика по неровной мостовой.

Окна дребезжат, двери, балки и полы трещат, потолки хрустят. Поверхность жидкостей приходит в легкое волнение. Некоторые из спящих просыпаются. Испуг такие землетрясения вызывают лишь в том случае, если население уже напугано или взволновано предыдущими более сильными землетрясениями.

5-я степень. Довольно сильно (26—50 *мм/сек*^{2}).

Даже в дневной суете очень многие как на улице, так и на открытых местах ощущают землетрясение; в жилых помещениях оно вполне заметно благодаря сотрясению всего здания; получается впечатление, будто в доме падает какой-либо тяжелый предмет (мешок, мебель), или будто наблюдатель колеблется вместе с подстилкой (стул, кро-

вать), как на корабле при свежей погоде. Все спящие просыпаются. Некоторые лица спасаются бегством на открытый воздух.

Растения, ветви, тонкие сучья кустов и деревьев заметно движутся как будто под действием среднего ветра. Висячие предметы, как то: занавески, висячие лампы и не слишком тяжелые люстры начинают покачиваться; звонки звонят; маятники часов останавливаются или получают более сильный размах, в зависимости от того, действует ли удар вертикально или примерно в направлении их колебаний; в последнем случае остановившиеся маятниковые часы могут вновь пойти; часовые пружины звенят металлическим звуком; электрический свет прерывается или вспыхивает вследствие касания проводов; картины ударяются с треском о стену или сдвигаются; из наполненных высоких открытых сосудов выливаются небольшие количества жидкостей; прислоненные к стене предметы, стоящие рамки для фотографий, безделушки могут быть опрокинуты, более легкие предметы могут быть сдвинуты с места; мебель трещит; двери и оконные ставни захлопываются; оконные стекла лопаются.

6-я степень. Сильно (51 — 100 *мм/сек*^{2}).

Землетрясение всеми ощущается с ужасом, так что многие бегут из зданий; некоторые думают, что не удастся устоять на ногах. Жидкости приходят в сильное волнение; картины срываются со стен. книги и т. п. — с полок, оставаясь на месте вдоль стен, стоящих параллельно направлению удара; посуда частью разбивается; устойчивые предметы обстановки, даже отдельные части мебели сдвигаются с места или опрокидываются, подвешенные небольшие колокола звонят, башенные часы начинают бить.

Одиночные прочно построенные по среднеевропейскому методу строения обнаруживают трещины в штукатурке, могущей кое-где с потолков и стен обвалиться. В плохо построенных домах замечаются более значительные повреждения, но все же безопасные.

7-я степень. Очень сильно (101 — 250 *мм/сек*^{2}).

Обстановке жилищ вследствие опрокидывания и падения даже тяжелых предметов в большом количестве наносится сильный урон. Начинают звонить крупные колокола; ручьи, реки, озера, пруды обнаруживают заметное волнение, а также помутнение воды от взболтанной тины. Песчаные и галечные берега местами осыпаются или оползают. Уровень воды в колодцах меняется.

Многочисленные дома, даже при добросовестной постройке, страдают от сотрясения: в стенах образуются небольшие трещины, обваливаются более значительные куски штукатурки и лепных украшений, отделяются и обрушиваются карнизы. В заводских трубах образуются трещины, покрышки их обваливаются, и отдельные кирпичи выкалываются из их стен; не совсем исправные трубы дымоходов срезаются по плоскости крыши и повреждают последние. С башен и высоких строений срываются плохо прикрепленные украшения. В фахверковых постройках штукатурка сильно повреждается, особенно в местах стыков.

Плохо построенные или уже ненадежные постройки подвергаются серьезным повреждениям: досчатые заборы падают, сараи, старые каменные ограды, хижины могут обвалиться. Построенные с особой прочностью на сотрясение строения, как то: большинство японских

каменных и деревянных домов, деревянные и плетеные постройки, каковые применяются в большинстве тропических сейсмических областей, остаются в полной исправности.

8-я степень. Разрушительно (251 — 500 *мм/сек*^{2}).

Деревья движутся как при сильном ветре или даже во время бури. Даже наиболее тяжелые предметы обстановки либо сдвигаются с места, либо опрокидываются. Статуи в общественных местах поворачиваются на своих цоколях или падают. Каменные ограды разрываются и обрушиваются. Дома среднеевропейской постройки даже при очень прочной работе получают серьезнейшие повреждения; в стенах образуются трещины; отдельные строения частично обрушиваются; большинство труб обваливается; особенно сильно страдают от сотрясения фабричные трубы и колокольни, и их обрушение может причинить близ стоящим строениям больше вреда, чем непосредственное воздействие самого землетрясения; наиболее прочные фабричные трубы разрываются лишь в верхней части и обнаруживают там частичные сдвиги. Стойкие на сотрясение японские постройки немного повреждаются, обнаруживая небольшие трещины, отваливание штукатурки; деревянные постройки скрипят и потрескивают в связях. В крутых откосах и в мокрой земле образуются легкие трещины, из которых иногда выступает вода, смешанная местами с песком и илом.

9-я степень. Опустошительно (501 — 1000 *мм/сек*^{2}).

Прочные дома европейской постройки столь серьезно повреждаются, что большое количество их становится непригодным для жилья; единичные постройки совершенно или же почти полностью обваливаются. Каркасные постройки сдвигаются на фундаменте, отчего они при известных обстоятельствах могут сильно пострадать. Из числа антисейсмических построек каменные обнаруживают значительные повреждения. В срубах деревянных домов образуются трещины, а более старые деревянные дома покашиваются.

10-я степень. Уничтожающе (1000—2500 *мм/сек*^{2}).

Большинство каменных и каркасных построек разрушаются вместе с основаниями; даже в отличных кирпичных стенах образуются трещины; процентное отношение при этом для европейских конструкций значительно менее выгодно, чем для антисейсмических построек. Прочно связанным деревянным строениям и мостам причиняется большой вред, единичные из них разрушаются. Дамбы и т. п. сооружения подвергаются серьезным повреждениям, железнодорожные рельсы легко изгибаются, а газовые, водопроводные и канализационные трубы разрываются или выворачиваются. В каменных и асфальтовых мостовых образуются трещины или широкие волнообразные складки. В рыхлых и в особенности в сырых почвах образуются трещины, шириною в несколько дециметров; в особенности вблизи протоков наблюдаются параллельные им трещины, шириною в ½—¾ *м*. Рыхлая земля сползает со скалистых откосов, а от скал откалываются меньшие или большие обломки. От речных берегов и крутых побережий отделяются целые глыбы, а на пологих берегах песчаные массы сползают, нередко существенно изменяя рельеф поверхности. Уровень воды в колодцах часто меняется; вода из протоков и прудов выбрасывается на берег.

11-я степень. Катастрофа (2501—5000 *мм/сек*^{2}).

От каменных построек любых конструкций почти ничего не остается на месте. Даже из прочных построек из дерева и плетений лишь единичные выдерживают сотрясение. Наиболее значительные и прочные мостовые сооружения разрушаются обвалом массивных каменных устоев и изломом железных столбов; более упругие деревянные мосты сопротивляются лучше. Плотины и дамбы совершенно разрываются и часто на большом протяжении, железнодорожные рельсы сильно изгибаются и выворачиваются. Степень и вид разрушения колесных дорог определяется свойствами подстилающего грунта. Проложенные в земле трубы совершенно разрываются и приводятся в непригодное для дальнейшей работы состояние. Верхние слои земли обнаруживают разнообразные и часто довольно обширные изменения в строении, зависящие в деталях от свойств почвы: образуются широкие расщелины и трещины, а в особенности в мягких или содержащих воду почвах наблюдаются нарушения как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении; на поверхность выступает вода, содержащая песок и ил; происходят многочисленные оползни и скалистые обвалы.

12-я степень. Полная гибель — ужасная катастрофа (> 5000 *мм/сек*^{2}).

Ни одно сооружение, построенное руками человека, не выдерживает сотрясения. Влияния на почву и ее изменения принимают гранлиозные размеры: даже в коренных скалистых породах образуются сбросовые трещины с значительной высотой сдвига, заметным перемещением в вертикальном направлении и многочисленными расселинами; скалистые утесы обрушиваются; многочисленны и велики обрушения, обвалы и оползни берегов.

Соответственно проявляется и значительное влияние на наземные и подземные потоки: образуются водопады, озера: реки меняют свое русло и т. п.

Интенсивность действия землетрясения, между прочим, во многом зависит от свойств почвы и подпочвы. В этом отношении существенное значение имеют род породы и степень ее выветрелости. Кристаллические породы, находящиеся в свежем невыветрелом состоянии, сильно ослабляют действие землетрясения; при сильной же выветрелости, наоборот, могут происходить чрезвычайно сильные сотрясения. Мощные обломочные массы действуют смягчающе, в то время как рыхлые отложения, залегающие на скалистой почве, незначительной мощности, сильно смещаются и перемешиваются наподобие хладниевских звуковых фигур; поэтому там, где скалистые выпуклости возвышаются из-под тонких обломочных слоев, образуются в сейсмических областях как бы острова, не затронутые сотрясением. Сырые почвы, болота и т. д. обладают легкой подвижностью частиц и сильно страдают поэтому от землетрясений. Сбросы препятствуют распространению сотрясений, если только они доходят до глубины, не меньшей глубины залегания центра землетрясения. Если же последний находится на большей глубине, тогда плоскости сброса или сдвига, наоборот, усиливают сотрясения, являясь плоскостями более легких перемещений, и вызывают иногда новые сотрясения, образуя таким образом своего рода второстепенные очаги землетрясений.

Затронутое землетрясением пространство обычно называется областью сотрясения; размеры его колеблются между немногими квадратными километрами и несколькими миллионами квадратных километров.

Если соединить в области сотрясения сплошной линией точки, где землетрясение проявлялось с равной силой, то получаются кривые линии, так называемые *изосейсты*. Их очертания теснейшим образом связаны с формой области сотрясения.

Не все области земной поверхности одинаково часто или одинаково сильно подвергаются землетрясениям. Некоторые очень часто переживают землетрясения и называются поэтому сильно сотрясающимися *(сейсмическими)* областями, другие редко страдают от разрушительных действий землетрясений и называются поэтому слабо сотрясающимися (*пенесейсмическими*) областями, в то время как остальная часть земной коры может считаться более или менее свободной от землетрясений *(асейсмической)*.

Главные сейсмические области земли приблизительно совпадают с двумя большими окружностями, вдоль которых расположены ныне действующие вулканы. На средиземноморско-азиатскую дугу приходится около 51%; а на тихоокеанскую дугу около 40% всех наблюдаемых землетрясений, в то время как на всю остальную поверхность земного шара распределяются остающиеся 9% всех землетрясений.

Свободными от землетрясений являются обширные низины, засыпанные мощными рыхлыми массами, так, например, Северо-Германская равнина, обширные равнины севера Европейской части СССР, Венгерская низменность и др.

§ 22. Последствия землетрясений

К резким, но быстро проходящим изменениям земной поверхности, вызываемым землетрясениями, принадлежат в первую очередь трещины и расселины, образующиеся почти всегда в верхних слоях Земли. В большинстве своем такие трещины не слишком широки, но случается, что между их широко разинутыми краями исчезают дома. Длина их различна, доходя иногда до нескольких километров.

Трещины эти в большинстве своем идут приблизительно прямо, но могут также принять дугообразную или зигзагообразную форму; иногда образуется группа радиальных трещин, исходящих из общего центра, представляющего возникшую во время землетрясения круглую впадину, или илистые или песчаные бугорки. В таких случаях иногда пользовались вводившим в заблуждение термином грязевых вулканов; возникновение же таких холмов является лишь следствием выкидывания мокрого песка или ила, часто сопровождаемого выделением почвенного газа.

Более значительными являются перемещения земных глыб в вертикальном и горизонтальном направлениях (рис. 27). Известно опускание берега между Мессиной и Реджио на глубину около 2 *м*, происшедшее 28 декабря 1908 г. вследствие мессинского землетрясения; при японском в 1923 г. берега Иокогамы опустились до 1½ *м*.

Во время опустошительного среднеяпонского землетрясения 28 октября 1891 г. образовалась местами очень широкая трещина, длиною в 112 *км*, края которой, в отношении друг друга, оказались перемещенными на 1½—2 *м* в горизонтальном и в среднем на 2½—6 *м* в вертикальном направлении. Подобные же явления наблюдались также во время сильного землетрясения в Сан-Франциско 18 апреля 1906 г. (рис. 28) и Семиреченского 1911 г., когда вертикальные перемещения доходили до 8 *м* (р. Ак-су).



Рис. 27. Разрывы и ступенчатые оседания поверхности на северном берегу озера Иссык-куль, между Уйталом и Сазановкой, происшедшие при землетрясении 1911 г. в северных цепях Тянь-шаня. На краю обрыва стоят верблюды, по которым можно судить о величине его.

Повреждения и разрушения, которым подвергаются под действием землетрясения искусственные сооружения, частью обрисованы в определении степеней интенсивности землетрясений по Меркалли-Зибергу (см. стр. 87) и нуждаются поэтому лишь в коротком дополняющем разъяснении. Наполненные водою водоемы (цистерны) опоражниваются, источники или родники, снабжавшие водою населенные пункты, высыхают, и вместо старых образуются новые. Водопроводные трубы разрушаются. Подводные кабели разрываются вследствие моретрясений, в то время как при подводных вулканических извержениях иногда расплавляются их гуттаперчевые оболочки. Во время землетрясения в Сан-Франциско 18 апреля 1906 г. меньше всего пострадали те здания, фундамент которых был заложен на скале; больше пострадали дома в долинах, между скалистыми боками которых име-

лись обломочные отложения, и еще сильнее постройки на песчаных прибрежных дюнах; но больше всего сотрясались образованные искусственными насыпями участки, рыхлые массы которых подпрыгивали и дрожали подобно студню на блюде. Во время того же землетрясения сохранились совершенно неповрежденными две бетонных больших плотины, лежавшие в стороне от линии сдвига, хотя они и подвергались сотрясению. Три других плотины, возведенные из земли, высотою в 22,8, 28,35 и 29 *м*, затронутые линией сдвига, получили более или менее значительные повреждения в виде продольных и поперечных трещин, осадок и пр., но все же сохранились. Напротив трубопроводы пострадали в сильнейшей мере.

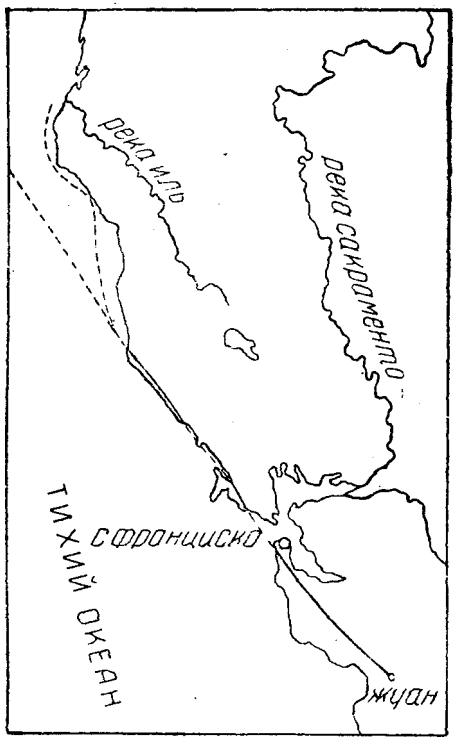


Рис. 28. Линия разлома (сброссдвига) земной коры, вдоль которой произошло сильное землетрясение 1906 г. в Калифорнии.

Если учесть огромный вред, причиняемый землетрясениями, то не приходится удивляться, что человек издавна искал путей обезопасить себя от действий землетрясений и способов для заблаговременного предсказания этого ужасного проявления сил природы.

Широко распространено было мнение, что наблюдение за источниками, выходившими из больших глубин, может служить отправной точкой для определения предстоящего землетрясения. Некоторые исследователи предполагали, что существует некоторая связь между частотой землетрясений и появлением солнечных пятен; другие пытались показать влияние взаимного к Земле расположения Солнца и Луны. Более обосновано, повидимому, предположение, что низкое давление атмосферы способствует выявлению напряжений в земной коре; и действительно во времена высокого давления землетрясения наблюдаются значительно реже, чем тогда, когда барометр показывает падающее давление. Взаимоотношения между взрывами рудничных газов и землетрясениями пока приходится считать невыясненными.

В старые годы регистрировались лишь самые сильные катастрофы и только в наиболее культурных местах. Теперь, благодаря точным инструментальным наблюдениям, регистрируется уже почти вся масса толчков, а когда сеть сейсмических станций покроет землю равномерно, то будут регистрироваться все землетрясения. Но и теперь уже число их весьма велико (более одного в час). Около половины этих десяти или более тысяч землетрясений в год замечают лишь инструменты, а другую половину и люди; один процент их разрушителен. Катастрофические «мировые» землетрясения происхо-

дят в среднем каждые 20 дней, но центры большинства их, к счастью, лежат на дне океанов (преимущественно Тихого). Энергия, проявляющаяся при землетрясениях, грандиозна. Чтобы грубо представить ее себе можно сказать, что энергия калифорнийского землетрясения 1906 г. была достаточна, чтобы поднять один кубический километр горных масс на высоту в два километра, а при землетрясении в северных цепях Тянь-шаня в 1911 г. она была в 26 раз больше! Смещение каждой частицы земной поверхности при этом колебании достигает также больших величин, так например в Японии в 1891 г. оно достигало 10 *см* в вертикальном направлении и 35 *см* в горизонтальном.

Легко понять, как столь большие колебания могут отражаться на всех рыхлых, неустойчивых, недостаточно связных и упругих массах на поверхности земли, как естественных, т. е. горных массах, почвах и т. п., так и искусственных, т. е. всякого рода сооружениях. Они приобретают при этом «ускорение силы тяжести», величина которого, пропорциональная силе землетрясения, является важным показателем этой силы (см. выше шкалу) и той основной практически величиной, которую нужно знать инженеру-проектировщику и строителю для всех работ в областях, заведомо подверженных землетрясениям. Опытом указывается, что «величины ускорения», не превосходящие 500 *мм/сек*^{2}, не опасны, от 500 до 1000 *мм/сек*^{2} заставляют строить обычным образом, но более тщательно выбирая места и материал, а в 1000 *мм/сек*^{2} и выше требуют применения обязательно особых «антисейсмических» или «сейсмостойких» конструкций. Именно поэтому на составляемых нами теперь картах, о которых мы скажем далее, мы и показываем эти величины, совпадающие с «баллами».

Возможно точное выявление областей заведомо или предположительно сотрясаемых, или, иначе говоря, «сейсмическое районирование» является насущной необходимостью в целях как чисто научных, так и глубоко практических. К этой задаче у нас в СССР подошли сейчас ближе, чем в других странах, но также весьма недавно (с 1931 г.). Созданный в составе Сейсмологического института Академии наук СССР, в Ленинграде, Сейсмогеологический отдел, по идее и под непосредственным руководством проф. Д. И. Мушкетова, сначала разработал основные положения метода и одновременно занялся систематизацией всех статистических, сейсмологических и геологических данных по главным сейсмическим областям Союза.

На основании подобного сейсмологического анализа, в самом приближенном виде, составлена в 1932 г. первая «Сейсмо-тектоническая схема СССР», в упрощенном виде изображенная на рис. 29. Густота вертикальной штриховки указывает на интенсивность процессов, могущих вызвать землетрясения, а, следовательно, и степень вероятия в различных частях Союза. Черные пятна неправильных форм показывают области уже известных, изученных сильных одно- или многократных землетрясений, дающих «сейсмические районы», которые по различным признакам можно объединить в сейсмические области. Для Восточной Сибири мы пока не располагаем почти никакими данным, и потому она остается белой. Лучше всего изучены Средняя Азия, Кавказ и Крым. В общем предварительно можно наметить

на территории СССР следующие сейсмические области: *Карельскую*, весьма слабую, с редкими очень слабыми сотрясениями, связанными, вероятно, с процессом медленного поднятия всей Фенноскандии и Мурмана; *Крымско-Украинскую* с эпицентрами, лежащими на дне Черного моря (в 40—80 *км* от его южного берега), дающими частые

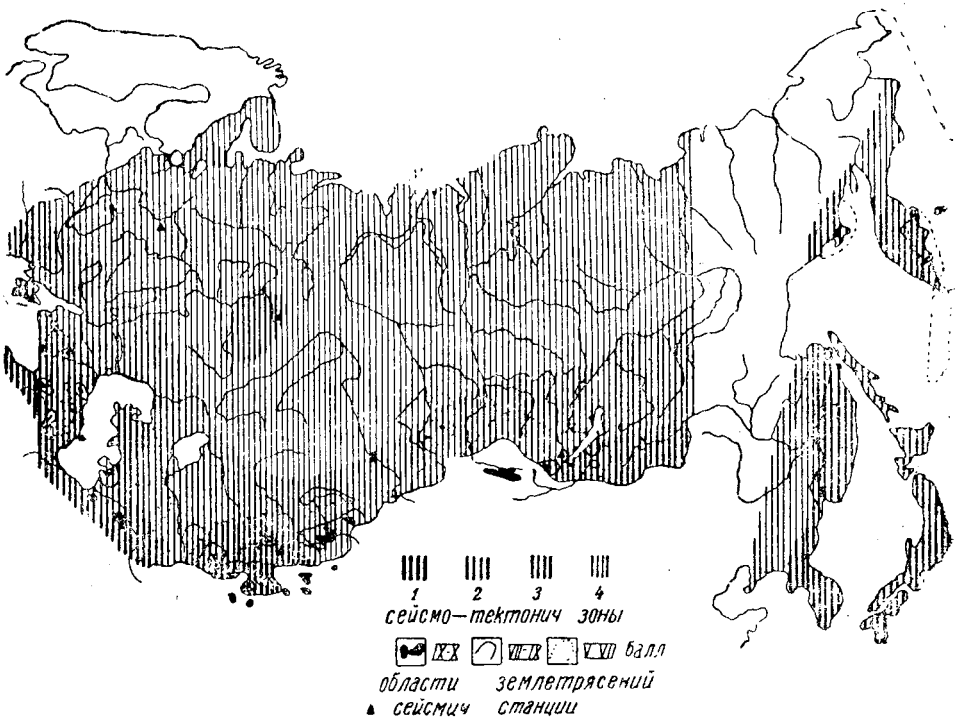


Рис. 29. Схематическая карта сейсмичности СССР. Густота штриховки показывает степень современной тектонической активности, а следовательно степень потенциальной сейсмичности в четырех зонах. Области землетрясений охарактеризованы баллами на основании имеющегося статистического материала. Северо-восток СССР незаштрихован, т. к. данные еще отсутствуют.

удары (с 1928 по 1933 г. около 700, по большей части слабых): *Кавказскую*, наиболее активные районы которой (Шемахинский, Горийский, Ленинаканский, Зангезурский) лежат в Закавказье; *Закаспийскую* — с небольшим Западно-туркменским районом и более значительными персидскими очагами, отзывающимися и в прилежащих частях Туркменистана, например недавнее землетрясение в Ашхабаде; *Среднеазиатскую*, наибольшую из всех как по общей площади, так и по числу отдельных районов, по силе и частоте землетрясений. В ней, например, в 1928 г. было зарегистрировано более 1000 ударов местного происхождения; за последние полвека в Ср. Азии произошло до десяти катастрофических землетрясений (Верненское 1887 г., Беловодское, Каратагское, Кашгарское, Андижанское 1903 г., Тянь-шаньское 1911 г., Наманганское 1929 г., Инги-базарское 1930 г. и др.); Западно-сибирскую — *Кузнецкая*, слабая: *При-*

байкальская, с сильными прилежащими монгольскими очагами и целым рядом местных очагов, связанных с образованием Байкальской впадины; *Дальневосточная*, слабая, и *Камчатская*, отчасти связанная с вулканизмом Камчатки. Обе последние области крайне мало изучены.

На основании этой первой схемы можно уже делать общие выводы о бо́льшей или меньшей угрожаемости отдельных частей Союза в отношении землетрясений; из нее вытекают план и программа дальнейших сейсмологических исследований и прежде всего развертывания сети сейсмических станций.

§ 23. Технические вопросы в сейсмических областях

Основные принципы сейсмологии и методы сейсмических исследований указаны выше. Здесь следует еще раз подчеркнуть необходимость исследования в сейсмическом отношении площадей, предназначенных для возведения на них крупных сооружений в областях, часто подвергающихся землетрясениям. Современные успехи в усовершенствовании простых и портативных сейсмических приборов позволяют воспользоваться ими для исследования прочности масс, при пересечении их, например, туннелем и в других случаях. Остановимся еще подробнее на разрушительном действии землетрясений на постройки.

Размеры разрушительных последствий зависят от весьма сложных условий, так как они определяются не только силою удара, но также характером сотрясения, углом выхода удара, направлением сейсмической волны, свойствами почвы и качеством построек.

Само собой разумеется, что чем сильнее удар, тем гибельнее он для зданий, но при одной и той же силе степень разрушения неодинакова при разном характере сотрясений.

Вертикальные колебания, отличаясь малыми амплитудами, обыкновенно менее вредны для зданий, нежели волнообразные колебания, которые даже при умеренной силе производят большие разрушения. Вертикальные удары, подбрасывая предметы вверх, только при большой силе разбивают их горизонтальными трещинами на несколько частей, причем каждая часть, при плохой установке на пьедестале, поворачивается на некоторый угол вокруг вертикальной оси или отбрасывается в сторону, например башни, колонны, памятники и пр.; подбрасывание и поворот крыш наблюдаются только в очень редких случаях, причем стены разбиваются неправильною, весьма сложной системой трещин, которые способствуют полному раздроблению стен, особенно при опускании подброшенной крыши, как наблюдалось на плохих постройках, например при верненском землетрясении 28 мая 1887 года.

Волнообразные колебания производят даже при небольшой силе общее расстройство в зданиях, причем разрушение отличается неравномерностью не только в разных, но даже в одном и том же здании, в зависимости от направления сейсмической волны и величины угла выхода удара. Что касается направления сейсмической волны, то оно имеет большое влияние на степень разрушения различных частей

здания, а именно, все перпендикулярные к волне стены разрушаются гораздо меньше параллельных с ней стен. Большее разрушение параллельных стен объясняется неравномерностью сейсмической волны, которая не только передвигает, но изгибает стену, как это отчетливо наблюдается на изгибании рельс в форме буквы S при некоторых землетрясениях. Перпендикулярные стены разваливаются или покрываются правильными трещинами, наклоненными в одну или в две противоположные стороны с одинаковым углом падения, по которому иногда определяются угол выхода удара и глубина центра землетря-

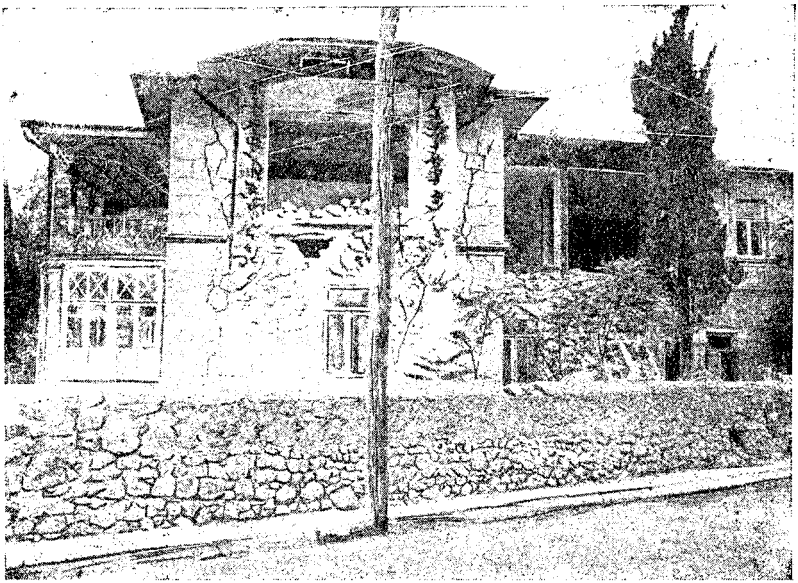


Рис. 30. Выпадение поперечных стен в г. Ялте при землетрясении 12 сентября 1927 г.

сения (рис. 30 и 31). Стены же параллельные волне настолько раздробляются, что часто совершенно вываливаются; здание становится сквозным, и крыша поддерживается только двумя поперечными стенами; например, при верненском землетрясении вывалились преимущественно северные и южные стены домов, потому что сейсмическая волна направлялась с юга из области эпицентра, залегавшего в 10 *км* к югу от г. Верного. По свидетельству Дарвина, при землетрясении в Консепционе в 1835 г. удар, распространившийся в юго-восточном направлении и произведший волну юго-восточного простирания, гораздо больше разрушил улицы того же направления, нежели улицы с северо-западным простиранием, т. е. перпендикулярные к направлению удара. В Каракасе почти каждый дом имеет свою laga securo или безопасную стену, у которой сохраняются ломкие предметы. Эта laga securo — северная сторона зданий — выбрана потому, что разрушительные удары большею частью проходят с запада на восток. Если волна проходит диагонально, т. е. встречает угол здания, то этот угол обыкновенно разваливается, а стены покрываются такими неправиль-

ными трещинами, что по ним невозможно определить угол выхода удара.

Угол выхода удара имеет большое значение при разрушении зданий. Опыт и теоретические соображения одинаково свидетельствуют, что наисильнейшие разрушения происходят при углах выхода удара от 45 до 55°.

Выяснение зависимости разрушения зданий от угла выхода удара и направления сейсмической волны важно в том отношении, что оно указывает способы уменьшения вреда, наносимого землетрясениями;



Рис. 31. Обычное падение свободно стоящих, не укрепленных печей. Землетрясение 12 сентября 1927 г. в Ялте.

зависимость эту необходимо принимать во внимание при основании новых поселений в сейсмических областях, или при возведении каких-либо капитальных сооружений, особенно имеющих общественное значение; их всегда следует располагать в расстоянии и направлении наибольшей безопасности по отношению к местным эпицентрам, которые, разумеется, заранее должны быть определены.

В области наибольшего проявления ударов катастрофы захватывают искусственные сооружения человека, и для умения строить их так, чтобы они выдерживали динамические сейсмические напряжения, необходимо изучение особых конструкций и наиболее подходящего материала. Излишне теперь доказывать важность этой технической задачи, достаточно уже воспринятой в конце прошлого столетия всеми культурными государствами, хотя исполнение ее не везде достаточно энергично проводится. После каждой большой катастрофы интерес населения и государственных органов повышается, подвигает вопрос на ступень дальше, но, не дойдя до конца, замирает. И тем не менее эта отрасль сейсмологии — антисейсмическая техника —

стоит, быть может, ныне на более прочном основании, чем другие; если бы только беспечное человечество действительно в полной мере использовало ее достижения, то, несомненно, его потери от причин сейсмических уже сократились бы значительно.

Сейсмическое районирование нашего Союза (см. стр. 95), с точки зрения нужд антисейсмического строительства, представляется необходимым этапом в деле нормирования строительства в условиях сейсмической безопасности.

В вопросах сейсмического районирования на настоящем этапе знаний, обосновывающих и направляющих принципиальные положения антисейсмического строительства, усматривается определенное стремление к крайнему ограничению шкалы основных расчетных данных. Так, японские нормы антисейсмического строительства, разработанные и принятые после исключительного по катастрофичности землетрясения, потрясшего Токио в 1923 г., предусматривают лишь в качестве основной нормы антисейсмического строительства единую ступень сейсмичности для всех сейсмических районов Японии, независимо от силы ранее проявлявшихся сейсмических воздействий и индивидуальных особенностей геологических факторов, — характеризуя ее единым для всей Японии расчетным сейсмическим ускорением в 1000 *мм/сек*^{2}. Авторитетнейшие американские исследователи для учета степени сейсмичности сейсмических районов обеих Америк предлагают принять две ступени сейсмичности, полагаемых в основу антисейсмического строительства, а именно (как правило) — 1000 *мм/сек*^{2} и как исключение — 500 *мм/сек*^{2} для наименее активных в прошлом районов при условии благоприятных геологических данных. Основанием такого взгляда на районирование являются установленные за последнее время после учета действия крупнейших землетрясений последнего десятилетия положения:

1. Шкала Меркалли-Канкани, обработанная Зибергом, принятая в настоящее время как стандартная за малыми поправками и нашими строительными органами, связывающая величину сейсмического ускорения данного землетрясения со степенью выявившихся повреждений, не может претендовать на точность, как далеко не охватывающая всего разнообразия сложного явления. Данные шкалы должны быть расценены только как приблизительные.

2. Влияние микрогеологических факторов на характер и степень проявляющихся на поверхности сейсмических сил. В зависимости от толщины, плотности и, главным образом, влажности выстилающего материковую породу поверхностного слоя, основной балл для данной местности может изменяться в широких пределах от 1 до 4, что обусловливает погрешности, возможные при оценке силы и эффекта землетрясения, в 5 и даже 10 раз.

3. Во время разрушительного японского землетрясения 1923 г. обратил на себя внимание исключительный по неожиданности факт, подтвержденный, однако, ретроспективным исследованием подобных же наблюдений, зафиксированных при прежних обследованиях разрушений катастрофических землетрясений, а именно: в возвышенных, построенных на дилювиальных почвах, частях Токио зафиксированы в первый, и пока единственный раз, непосредственно по соответствующей сейсмограмме величины наибольших амплитуд и отвечающих им периодов. Эти данные, непосредственно полученные помощью прибора, позволили установить для этой части Токио вычисленное значение соответствующего наибольшего сейсмического ускорения, оказавшегося равным 1000 *мм/сек*^{2}. По общему заключению в низменных частях города Токио, расположенных на аллювиальных наносах, сейсмическое ускорение должно было быть, в соответствии с силою проявившихся колебаний и сравнительно с прежними наблюдениями, больше определенного выше в 1,5—2,5 раза. К сожалению, сейсмографы, установленные в этой части Токио, вышли из строя во время первых же толчков. Между тем, в низменных частях Токио ряд новейших зданий 7- и 8-этажных, рассчитанных на ускорение 1000 *мм/сек*^{2}, не только не пострадал, но, более того, не получил даже более или менее заметных повреждений, ставящих его в каком-нибудь отношении ниже по сейсмической устойчивости ряда уцелевших зданий того же типа в возвышенной части Токио.

Этот факт, представляющий собою в известном смысле загадку, получает объяснение в констатировании своеобразного движения фундаментов жестких конструкций в раскачивающей их среде. Во время сейсмических толчков между активным грунтом и реагирующим на него фундаментом устанавливается некоторое взаимодействие, обусловливающее некоторое скольжение и раскачивание фундамента, в конечном счете понижающее степень действующей на него сейсмической

силы. Например, при землетрясении в Токио практически действовавшее сейсмическое ускорение порядка 3000 *мм/сек²* было низведено до расчетного для данной конструкции в 1000 *мм/сек²*.

4. Как отдельно стоящий фактор, должно быть зафиксировано следующее: все здания жесткого железобетонного типа, высотою от 7 до 8 этажей конструкции жестких рам, проектированные проф. Тапу Наито и рассчитанные на ускорение 1000 *мм/сек²*, не пострадали во время землетрясения 1923 г., и большинство из них не показало даже сколько-нибудь заметных повреждений.

Эти соображения приводят проф. Цпохера к заключению, что:

1) нормы расчетных ускорений, определенных по видимым воздействиям, весьма проблематичны и не могут претендовать на какую-либо достоверность;

2) здания, рассчитанные на сейсмическое ускорение в 1000 *мм/сек²*, даже во время сильнейших землетрясений порядка, наблюдавшегося в Токио в 1923 г., не понесли существенных повреждений.

Принимая во внимание изложенное выше, надлежит притти к заключению, что действительно при наличии приведенных соображений, получивших к тому же общее признание в ведущих по антисейсмическому строительству странах, представляется совершенно излишним и даже вредным, с точки зрения улавливания недостижимой в действительности точности со стороны расчетчиков, стремиться к уточнению местных диференцированных значений сейсмических ускорений.

Поэтому на изданных в СССР сейсмотектонических картах соответственными изосейстами указываются районы, характеризуемые только сейсмическими значениями сейсмических ускорений: до 500 *мм/сек²*, до 1000 *мм/сек²* и выше 1000 *мм/сек²*.

С точки зрения практики антисейсмического строительства надлежит, не стремясь к каким-либо интер- и экстраполяциям, в зависимости от того или иного вида изосейст считаться, приступая к проектировке и расчетам воздвигаемой антисейсмической конструкции в том или ином районе, со следующим принципиальным положением: в местностях с сейсмическим ускорением до 500 *мм/сек²* расчетное сейсмическое ускорение составляет 500 *мм/сек²*; в местностях с сейсмическим ускорением до 1000 *мм/сек²* считать расчетное сейсмическое ускорение равным 1000 *мм/сек²*. В местностях, где степень сейсмичности характеризуется сейсмическим ускорением свыше 1000 *мм/сек²*, какое-либо строительство массового и промышленного характера в условиях безопасности вообще невозможно.

В соответствии с указаниями практики по антисейсмическому строительству, накопившимися как в Союзе, так и в ведущих по этому строительству странах, представляется возможным в дальнейшем установить следующие градации в пользовании данными сейсмотектонических карт:

1. Антисейсмические здания и сооружения массового и промышленного типа, воздвигаемые в сейсмических районах, характеризуемых расчетным сейсмическим ускорением в 1000 *мм/сек²*, должны быть конструируемы в строгом соответствии с требованиями основных принципов антисейсмического строительства как со стороны несущей конструкции материала, так и со стороны производства работ и общего оформления плана, высоты междуэтажных перекрытий и верхнего покрытия. Все основные размеры несущей конструкции должны быть поверены и оправданы, кроме обычного, еще сейсмическим расчетом, т. е. расчетом, в котором приняты во внимание сейсмические силы инерции.

2. Антисейсмические здания массового и промышленного типа и сооружения, возводимые в сейсмических районах, характеризуемых расчетным ускорением в 500 *мм/сек²*, должны быть конструируемы при строгом соблюдении основных требований антисейсмического строительства в указанном выше разрезе, но без дополнительной к основной поверки и оправдания размеров несущей конструкции особым сейсмическим расчетом.

В СССР в настоящее время имеются в печатном виде наиболее отвечающие современным научным требованиям «Технические условия по антисейсмическому строительству в сейсмических районах Казакстана», разработанные и изданные Казгоспланом в 1930 г., а также «Временные технические условия на антисейсмическое строительство на транспорте» (изданные при возведении Туркестано-Сибирской железной дороги), утвержденные НКПС в 1929 г. Кроме того имеется оригинально разработанный проект «Технических условий на антисейсмическое строительство ЗакССР», изданный Закавказским институтом сооружений и напечатанный в «Известиях» его в 1930 г. Наиболее совершенными цельно продуманными, доступными для СССР, являются также изданные в 1930 г. итальянским правительством технические условия на сейсмостойкое строительство.

§ 24. Изменение пород при горообразовании

Тектонические процессы влияют на свойства пород приведенных ими в движение горных масс. Во многих случаях при горообразовании встречаются совершенно новые породы, не могущие быть причисленными ни к изверженным, ни к осадочным. Основным признаком их является кристаллическое и вместе с тем явно выраженное сланцеватое сложение; поэтому они часто и называются кристаллическими сланцами. В других случаях действие горообразующих сил сказалось в частичном или полном разрушении пород.

Метаморфизация, или изменения, коим породы подвергаются во время горообразующих процессов в самом широком смысле этого слова, лишь редко касаются их химического состава, но зато изменяются сложение и минеральный состав.

Метаморфизация пород вообще может происходить под действием поднимающихся магм, высоких температур, всестороннего давления или сильного сжатия.

Явления метаморфизма контактового, происходящие при приближении поднимающихся магм, выше уже изложены (см. § 12).

Иными представляются явления *дислокационного* или *кинетического метаморфизма*, происходящие под действием всестороннего давления, сильного бокового сжатия и высоких температур. К ним присоединяется еще растворяющее действие воды, редко отсутствующей в породах верхней части земной твердой коры. Из глубины поднимается вновь образовавшаяся вода (ювениальная), а сверху циркулирующая (вадозовая) под действием силы тяжести просачивается через отдельные слои земной коры. При этом вода даже при высоких температурах более значительных глубин может оставаться в жидком состоянии, если только она испытывает достаточно сильное давление; ее влиянию необходимо приписать целый ряд явлений растворения.

Изменения дислокационные отличаются преимущественно связанностью с областями нарушений (*дислокаций*) и независимостью от вулканических явлений, кроме того, они не влекут за собой плавления, они превращают растительные остатки в графит и антрацит; они не добавляют к минералам при перекристаллизации новых составных частей, а образуют ряд новых минералов и либо вызывают новые смятия и сланцеватость пород, либо усиливают наблюдавшуюся ранее. В остальном дислокационный и контактовый метаморфизм имеют много общего.

В зависимости от преобладания при превращении пород действия бокового сжатия или всестороннего давления и высоких температур, можно различать превращение сжатием (*динамометаморфизм*) от превращения опусканием больших масс (*регионального метаморфизма*). Первое проявляется преимущественно в образовании новых сложения и строения, последнее, напротив, вызывает молекулярные перемещения, проявляющиеся в виде нового состава минералов.

Динамометаморфизм вызывает разрушение породы, если боковое давление превосходит сопротивление породы раздроблению и условия залегания допускают выпучивание ее. По последней причине разрушение ограничивается верхними слоями твердой земной коры, обо-

значенными, по ван-Хайс, поясом раздробления: оно достигает глубин в 12, а по последним исследованиям и до 30 *км*. На больших

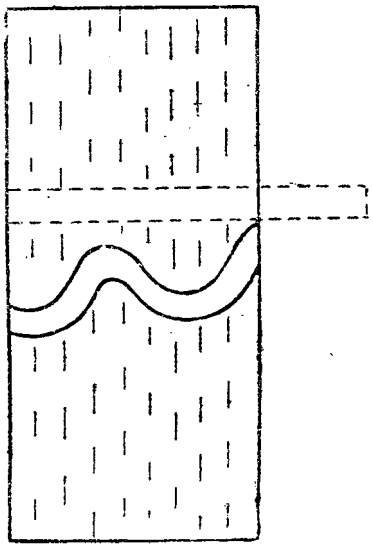


Рис. 32. Схема изогнутия жилы, первоначальная длина которой показана пунктиром.

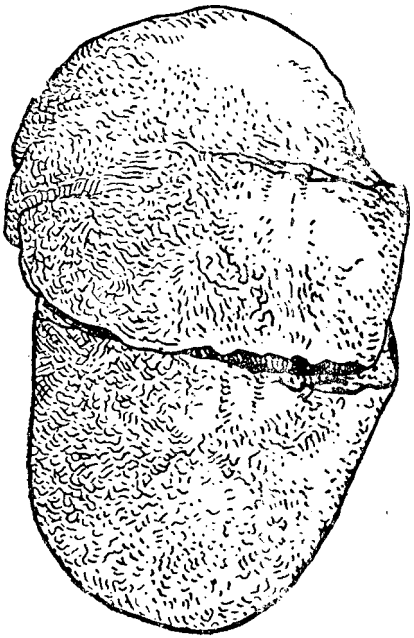


Рис. 33. Скалывание валуна (в конгломерате) тектоническим давлением.

глубинах давление налегающих масс и температура достигают столь значительных размеров, что породы становятся пластичными, подвергаясь подобным же преобразованиям как очень вязкое, тягучее тесто или сыроватая глина. Эти более глубокие слои земной коры, в которых под действием бокового сжатия наблюдаются пластические явления вроде сплющивания, сгибания, растяжения и течения масс, называют поясом пластичной деформации пород; превращение минералов в этом поясе называется *кристаллобластическим* метаморфизмом.

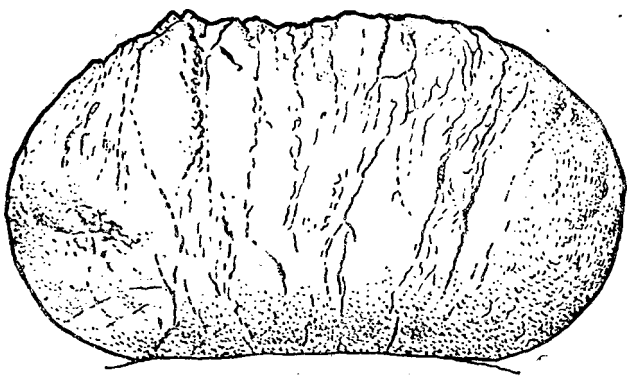


Рис. 34. Гранитный валун, разбитый радиальными трещинами под давлением на выпуклую поверхность нижележащего валуна. Верхняя часть вследствии этого же испытала растяжение.

В поясе раздробления преобладают смятие, сжатие и разрывание пород и их составных частей. Часто вся порода под давлением на-

легающих масс оказывается раздробленной на мелкие, угловатые обломки, которые при более долгом взаимном трении могут приобрести округленные ребра. Если при раздроблении пород в трещинах и полостях, образовавшихся из циркулирующих вод, осаждаются различные вещества, заполняющие эти трещины, то образуются *брекчии трения* или дислокационные брекчии. Их твердость зависит от качества цементов; несцементированные зоны раздробления не доставляют хороших строительных материалов и вообще обладают техническими неудобствами.

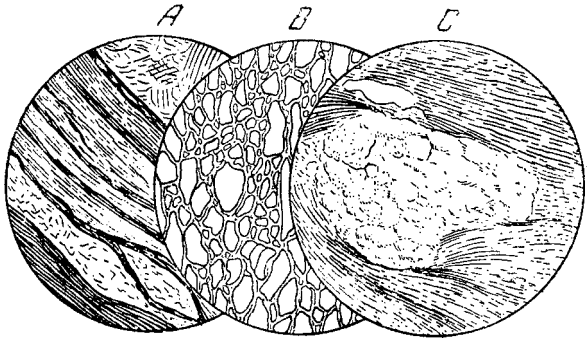


Рис. 35. Катакластические текстуры в результате дислокационного метаморфизма, испытанного: *A* — известняком, *B* — песчаником, *C* — порфиром. Во всех случаях видно параллельное расположение зерен, возникшее вследствие давления.

Строению пород, образовавшихся при большем или меньшем их раздроблении, присвоено наименование *катакластической структуры;* сами же преобразованные породы, обнаруживающие более или менее заметные следы раздробления (рис. 33, 34 и 35), называют давленными породами или *милонитами.*

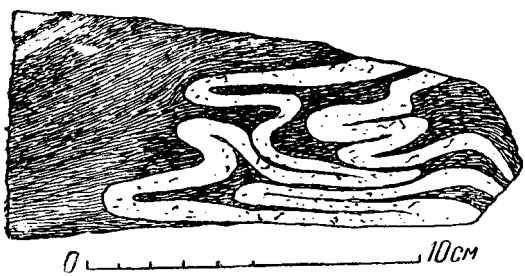


Рис. 36. Складчатость жилок (аплита).

Пластичное превращение пород в большинстве случаев приводит к мелкой складчатости их; мельчайшие складочки являются составными частицами более значительных складок, которые, в свою очередь, иногда являются частью складчатости высшего порядка (рис. 36, 37 и 38).

Под действием сильнейшего бокового давления, кроме складчатости, нередко образуется перпендикулярная к направлению давления так называемая вторичная или ложная *сланцеватость, кливаж.* Образовавшиеся при сжатии мельчайшие частицы породы стремятся отклониться в плоскость, перпендикулярную направлению давления; столбчатые и чешуйчатые минералы устанавливаются в той же плоскости, и таким образом поперек первоначально уже существовавшей слоистости образуются новые плоскости сланцеватости, рассекающие породу иногда на очень большом расстоянии (рис. 39).

Плоскости слоистости и ложной сланцеватости часто обнаруживают одинаковое или почти одинаковое простирание. В то же время плоскости слоистости при складках меняют участками свое падение, между тем как плоскости сланцеватости в большинстве случаев тя-

нутся через горный массив с одним и тем же падением. Не всегда легко отличить плоскость сланцеватости от плоскости наслоения.

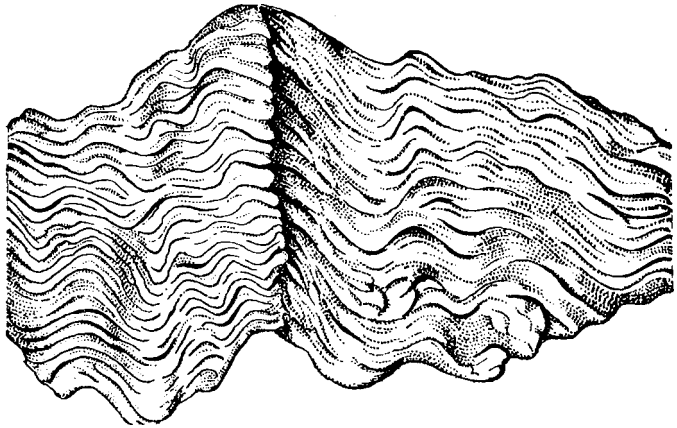


Рис. 37. Плойчатый гнейс.

Напластование массива из слоев различных пород, различие в окраске их, различие в величине зерна отложений, положение окаменело-



Рис. 38. Складчатость в слюдяных сланцах (зап. берег Кольского фиорда). Фот. А. Полканова.

стей (в особенности растительных остатков) и конкреций сильно облегчают определение плоскостей напластования.

Сильно выраженная ложная сланцеватость, в свою очередь, иногда совершенно сглаживает и делает незаметной первоначальную слоистость.

Если плоскости кливажа, вызываемые вторичной сланцеватостью, стоят более или менее отвесно к плоскостям напластования, то образуются распадающиеся в тонкие палочки так называемые грифельные сланцы.

Вторичная сланцеватость представляет для техники целый ряд неудобств и недостатков. Она, во-первых, обусловливает, и преимущественно в породах с сохранившейся первоначальной слоистостью, усиленную последующую разрушаемость; это вызывает необходимость усиленного крепления штолен, туннелей, фундаментов и т. д. К тому же плоскости сланцеватости в большинстве сильно гигроскопичны и доставляют в выемки изрядное количество просачивающейся воды. С другой стороны, вторичная сланцеватость чрезвычайно облегчает обработку породы до того, что сильно сланцеватые горные породы легко отделяются молотом.

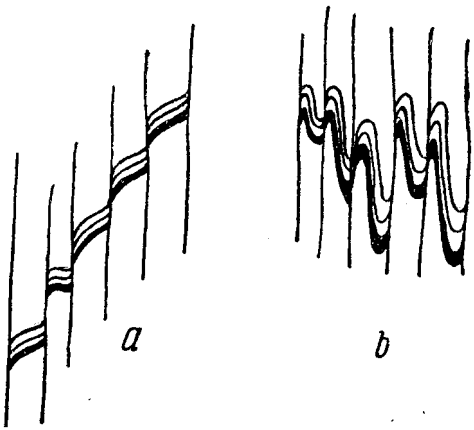


Рис. 39. Кливаж выжимания в гнейсе.

Взрывные работы здесь невыгодны, ибо газы взрыва легко улетучиваются через бесчисленные тонкие трещины и щели сланцеватой породы и не производят поэтому надлежащего разрушительного действия; в то же время и бур не может хорошо проходить сквозь недостаточно связанные слои и легко защемляется между ними. С другой стороны, необходимо отметить, что все же вторичная сланцеватость приводит также и к образованию технически ценных кровельных сланцев.

Если боковым сжатием мельчайшие составные частицы породы вытягиваются и прокатываются перпендикулярно к направлению действующего давления, то образуются породы волокнистого строения, стеблисто-сланцеватого вида.

Наиболее распространенной текстурой (сложением) метаморфических пород является сланцеватая, почему они и называются часто просто «кристаллическими сланцами». При этом составные части породы расположены в одном направлении, а в случае более совершенного образования выделены в более или менее беспрерывные, часто повторяющиеся тонкие слои. Так, в сланцеватом гнейсе перемежаются очень тонкие слои полевого шпата и кварца с прослойками слюды, в известково-слюдяном сланце — слои известкового шпата с прослойками слюды. Главный излом (направление наиболее легкого деления породы) идет более или менее параллельно плоскости сланцеватости и на его поверхности видны лишь составные части соответственных слоев. В поперечном и продольном изломах, напротив, ясно обнаруживается перемежающаяся слоистость пролетающих в одном направлении пластинок (рис. 40); на такой плоскости излома, пролегающей перпендикулярно к главной плоскости спайности, легко узнается общий состав породы, в то время как осмотр одной лишь

плоскости главного излома вызвал бы совершенно неправильное представление.

При *узловатом сложении* одни составные части породы выделяются в более тонкие или толстые чечевицеобразные тела, в то время как другие их обволакивают и переплетают. Следствием такого сложения является то, что главная плоскость делимости (главный излом) не ровная, а волнистая; на ее поверхности углубления сменяются кругловатыми возвышениями (узлами, наростами). В то время как главный излом и здесь показывает лишь составную часть одного волнистого слоя, поперечный и продольный изломы ясно обнаруживают переслаивание более или менее утолщенных или вытянутых чечевиц и их оболочек. Если волокнистые образования охватывают более значительные чечевицы, вроде глазных век, то такое сложение называется также *глазным* или *очковым*. В техническом отношении узловатая структура в общем заслуживает предпочтения перед сланцеватой, если только приходится применять сланец в качестве строительного камня, ибо узловатость нарушает в общем сцепление породы не в столь резкой форме и не на столь большом протяжении как сланцеватость; в то же время сланцеватое сложение позволяет легче и скорее получить удобные плоские поверхности. При обработке головы пласта и швов из узловатых пород выламываются куски менее легко, чем из сланцеватых, где один неудачный удар молотом может испортить целую глыбу.

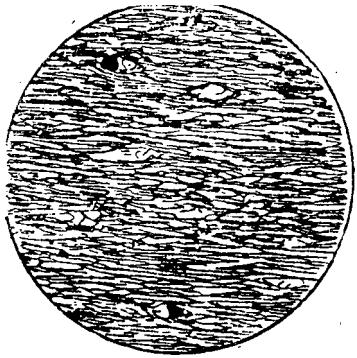


Рис. 40. Микроструктура кровельного сланца перпендикулярно к сланцеватости.

По Левинсон-Лессингу, метаморфические породы можно подразделить следующим образом:

I. Силикатные и кремнистые породы	*II. Несиликатные породы*
Гнейсы.	Мраморы.
Слюдяные сланцы и филлиты.	Железистые сланцы.
Магнезиальные сланцы.	Наждаковые породы.
Амфиболиты.	
Кварциты.	

Мы видели уже, что метаморфизация горных пород зависит от условий давления и температуры, а так как эти условия зависят, в свою очередь, от глубины, то разные преобразования пород и разные минеральные комбинации соответствуют разным глубинным зонам. На основании такого представления (Грубенманн) составлена таблица, помещенная на стр. 107.

Гнейсы

Гнейсовые породы состоят из полевого шпата, кварца и какой-либо цветной составной части (слюды, роговой обманки или авгита); следовательно, они по своему минералогическому составу родственны гранитам, отличаясь от последних своим сланцеватым сложением

Метаморфические горные породы	Минералы (характерные)	Давление	Температура	Продукты реакции	Зоны
Филлит Тальковый сланец Хлоритовый сланец Кварциты, мраморы	Мусковит Тальк Хлорит Эпидот, кальцит, альбит	Одностороннее	Низкая	Водные силикаты, карбонаты, с малым объемом	Верхняя
Слюдяные сланцы Гнейсы Амфиболиты	Мусковит, биотит, эпидот Амфибол Гранат Дистен Плагиоклаз Микроклин	Одностороннее	Умеренная	Меньше водных силикатов, мало карбонатов Тела с малым молекулярным объемом	Средняя
Пироксеновые гнейсы Эклогиты	Биотит, полевые шпаты, гранат Пироксен Оливин	Всестороннее (гидростатическое)	Высокая	Водные силикаты почти исчезают	Нижняя

(рис. 41). В зависимости от цветной составной части гнейсы можно разделить на слюдяные, роговообманковые и авгитовые гнейсы.

В слюдяных гнейсах полевой шпат, кварц и слюда могут быть обнаружены в качестве существенных составных частей часто даже невооруженным глазом. В зависимости от того, которая из двух разновидностей слюды или обе вместе появляются в породе, последняя называется мусковитовым (светлослюдяным) гнейсом, биотитовым (темнослюдяным) гнейсом или двуслюдяным гнейсом.

В качестве случайных частей в состав гнейса часто входят гранат, эпидот, графит и др., в связи с этим такие гнейсы называют соответственно гранатовыми, эпидотовыми, графитовыми и др.



Рис. 41. Сланцеватость в гнейсе (под микроскопом).

Те виды, вещественный состав коих соответствует составу тех изверженных пород, из которых они произошли, обычно называют настоящими гнейсами — *ортогнейсами*, в отличие от образовавшихся из осадочных пород, называемых *парагнейсами*. Последние обнаруживают резкие незакономерные колебания вещественного состава в пределах небольшого объема, резко меняющееся строение, не редки в них также и углистые примеси и т. п. Ортогнейсы часто обладают на значительном протяжении однообразными свойствами химического и минералогического состава, сложения и т. п. Крупнозернистые граниты превращаются в крупнозернистые ортогнейсы.

Роговообманковые гнейсы состоят главным образом из полевого шпата и роговой обманки; кварц часто присоединяется к этим составным частям в большем или меньшем количестве, но может также совершенно отсутствовать. Роговая обманка окрашена в темнозеленый или черный цвет.

В *авгитовых гнейсах* главными составными частями являются полевой шпат и авгит; различают разновидности с богатым и бедным содержанием кварца, а также и совершенно без такового.

Конечным результатом процессов выветривания гнейсов обычно является песчаная бедная железом глина; уд. в. гнейсов 2,4—2,9. Сопротивление раздроблению незначительное — до 2000 *кг/см*^{2}. Техническая применимость гнейсов более ограничена, чем гранитов. Легкое отделение их по плоскостям сланцеватости, излома, слоистости и трещиноватости позволяет применять их для заготовки плит для тротуаров, каналов, набережных, иногда и для крыш. В качестве мостильного камня гнейс может быть использован в виде исключения и то лишь тогда, когда он обладает более зернистым строением. Вообще использование его для других целей, чем выделка плит, зависит от степени приближения его по своим свойствам к граниту; чем ближе он к граниту по минералогическому составу и сложению, тем шире он может быть использован в качестве строительного камня, щебня и т. п. Сплошные слюдяные прослойки облегчают разрушение породы морозом, а также и химическое выветривание. Неровные (узловатые или плойчатые) плоскости сланцеватости затрудняют иногда обработку, но слишком гладкие поверхности плоскостей сланцеватости также представляют ряд неудобств. Тонкосланцеватые гнейсы мало стойки и обладают сильной последующей разрушимостью; разработка штолен в таких породах требует поэтому соответствующих креплений; действие взрывов в сильно сланцеватых гнейсах значительно слабее чем в грубых, гранитоподобных гнейсах. Значительное содержание серного колчедана вызывает быстрое расщепление и выветривание породы. С увеличением содержания кварца и уменьшением содержания слюды стойкость гнейсов на выветривание, прочность и применимость их вырастают; твердые гнейсы доставляют иногда ценный щебень.

Крупное зерно ослабляет сопротивление гнейсов выветриванию и делает их часто непригодными для подводных построек и других ответственных сооружений (мостовых быков, подпорных стенок); даже при местном использовании для постройки стен из дикого камня или фундаментов выпадение более значительных зерен полевого шпата и разъедание поверхности камня проявляются иногда в весьма не-

выгодной степени; ступени из такого крупнозернистого гнейса обладают неровной поверхностью и быстро снашиваются.

Гнейсовые породы тем скорее поддаются выветриванию, чем богаче их содержание полевым шпатом и магнезиальной слюдой и чем меньше в них кварца. Выветривание начинается растрескиванием породы под действием мороза на плиты.

Слюдяные сланцы

Общим признаком различных видов слюдяных сланцев является наблюдаемая простым глазом зернистость (отличие от филлитов) и сложение их из кварца и слюды; от гнейса их отличает таким образом отсутствие или большая бедность полевошпатовыми минералами.

При увеличении содержания полевого шпата слюдяные сланцы превращаются в гнейсы, при уменьшении зерна — в *филлиты*, а при постепенном исчезновении слюды — в кварцитовые сланцы, почему и не представляется возможным разграничить их резко и определенно от родственных пород. Цвет слюдяных сланцев определяется цветом преобладающей разновидности слюды и меняется поэтому от светлосеребристого до темного, буро-черного цвета; после дождя поверхности сланцеватости богатых мусковитом слюдяно-сланцеватых плит отдают в солнечных лучах светлометаллическим блеском, почему и не мудрено, что население часто предполагало в таких породах наличие серебра («кошачье серебро»). Удельный вес породы 2,6—2,8.

Слюдяные сланцы для технических целей в общем еще менее пригодны, чем гнейсы; в качестве строительного камня применимы лишь толстослоистые разновидности, содержащие много кварца и незначительное количество слюды. Некоторые ломки доставляют плиты и пластины для перекрытий и кровель. Богатые слюдой сланцы применяются в качестве футеровочных камней в доменных печах. Наиболее твердые разновидности могут быть использованы для приготовления щебня. Большинство слюдяных сланцев обнаруживают в штольнях сильную последующую разрушимость и незначительную стойкость.

Выветривание проникает в породу вдоль по плоскостям сланцеватости и превращает ее в почву, содержащую многочисленные обломки породы.

Глинисто-слюдяные сланцы (филлиты)

Филлиты представляют кристаллически развитые глинистые сланцы, которые во многих местах в связи с увеличением зерна и дальнейшей кристаллизацией переходят в слюдяные сланцы. Они в большинстве тонкослоисты, с ровной или плойчатой поверхностью, сильно блестят и сверкают часто по плоскости главного излома (блестящий сланец) и состоят преимущественно из кварцевых зерен и слюдяных листков; эти составные части невооруженным глазом почти не различимы; многочисленные промежуточные разновидности связывают их с глинистыми сланцами; уд. в. их 2,7 — 3,1. Твердость их незначительна, и лишь наиболее богатые содержанием кварца разновидности применимы в качестве строительного камня. Стойкие на

выветривание разновидности применяются часто подобно глинистым сланцам в качестве кровельных материалов.

Условием такого применения является, кроме параллельной сланцеватости, отсутствие серного колчедана. Иногда филлит обнажается толстыми и более прочными плитами, из которых могут быть изготовлены ступени, карнизы, пороги, межевые камни и т. п. Последующая разрушимость при одновременном уменьшении стойкости проявляется в филлитах в еще большей степени, чем в слюдяных сланцах. Выветривание развивается в филлитах сравнительно быстро, проявляясь медленнее лишь в богатых кварцем разновидностях.

Кварцитовые сланцы и кварциты

Частичным или полным исчезновением слюды из слюдяных сланцев или кварцевых филлитов объясняется происхождение кварцитовых сланцев. Они обладают тонкой или плотной зернистостью и окрашены в белый, красноватый, серый или синеватый, иногда даже в черный цвет.

При нечисто кремнистом, а глинистом бедном железом и т. п. цементирующем веществе образуются слюдяно-кварцитовые, графито-кварцитовые, эпидото-кварцитовые и др. сланцы.

Кварцитовые сланцы применяются в качестве огнеупорного материала, а наиболее чистые разновидности, содержащие свыше 99½% кремнекислоты, также и для производства стекла. Несмотря на проявляемую ими стойкость на выветривание, они не годятся ни для применения в качестве строительного камня, ни для использования в виде дорожного щебня; для первой цели они слишком хрупки и часто также слишком тонкосланцеваты, для второй — слишком тверды (быстрое изнашивание колесных шин, обуви пешеходов, подков лошадей). В качестве балласта для железнодорожного пути они незаменимы, ибо острые ребра их не сглаживаются, с другой же стороны, они вследствие бедности питательными веществами не допускают прорастания травы. Более чистые сорта кварцитов применяются также в качестве плавня (флюса) при выплавке богатых медью серных колчеданов и для кислотоупорных сосудов и аппаратов; простыми кварцитовыми сланцами вымащивают иногда поды мартеновских печей.

Плотность кварцитов колеблется от 2,65 в более чистых до 2,89 в содержащих полевой шпат сланцах. Сопротивление раздроблению определено для кварцитового сланца у Бласберга (Штейермарк) в 574 *кг/см*^{2}.

Тальковые сланцы

Тальковые сланцы представляют накопления талька, то мелкочешуйчатого, то крупнолистоватого, расположенные обычно параллельно, редко беспорядочно, окрашенные в светлые (серые, красноватые, зеленоватые, белые) цвета, с плоской или волнистой сланцеватостью; эти сланцы мятки (т. 1—2), жирны на ощупь; уд. в. 2,27—2,89. Они применяются подобно тальку, на который они также похожи в отношении кислотостойкости и неплавкости. Они перераба-

тываются в тальк и применяются также для футеровочных камней в доменных печах.

Тальковые сланцы, образовавшиеся из осадочных пород и обогащающиеся содержащими Mg и Ca солями, являются переходными разновидностями к *горшечным камням*, обрабатываемым простым ножом и на гончарном станке *лиственитам* и др. Лиственитом обозначают смеси талька и магнезиальных карбонатов с большим или меньшим содержанием кварца, который может также и совсем отсутствовать. Родственен ему жировик (*стеатит*); он применяется в качестве сырья для выделки газовых горелок и в качестве изолировочного материала в электротехнике.

К тальковым сланцам должен быть также причислен частью *агальматолит* (пагодит), идущий у китайцев и японцев на разные безделушки. У нас он добывается в Туркестане.

Хлоритовые сланцы

Тонко- и толстосланцеватые разновидности хлоритовых сланцев состоят преимущественно из чешуйчатого, реже листоватого хлорита. Окраска их напоминает зеленый лук; твердость незначительна; уд. в. 2,7 — 2,8.

Хлоритовые сланцы редко пригодны для строительных работ; в большинстве залежей они нестойки на выветривание, обладают небольшим сопротивлением раздроблению, сильной последующей ломкостью и малой прочностью.

Это плотные, окрашенные обычно в серо-зеленый или темнозеленый, реже светлозеленый цвет, с красновато-бурым или желтоватым выветриванием, сланцеватые или почти массивные породы, отличающиеся матовым восковым блеском, мелкораковистым или мелкозанозистым изломом. Они всегда содержат воду, присутствие которой легко обнаруживается нагреванием в реторте.

Они состоят преимущественно из змеевиков и остатков тех минералов, из которых они образовались.

Змеевики представляют частью хороший строительный камень, легко поддающийся обработке.

Сопротивление раздроблению их от 700 до 800 *кг/см*^{2}. Из красивого, окрашенного в светложелтовато-зеленый или черно-зеленый цвет змеевика выделывают урны, надгробные памятники, облицовки, карнизы, пепельницы, прессы, лампы, подсвечники и мелкие поделки.

Мрамор

Мраморы состоят из кристаллов известкового шпата (известковые мраморы), доломита (доломитовые мраморы) или смеси зерен обоих минералов.

Мраморы могли образоваться двояким путем: одни, благодаря контактовому метаморфозу — действием горячих газов и паров застывающей магмы на известняки; другие динамометаморфизмом — давлением при горообразовании.

Плотность мрамора колеблется между 2,7 (известковые мраморы с Пароса, Каррары) и 2,9 (доломитовые мраморы) [1] (рис. 42 и 43).

Соединение зерен хороших, стойких против мороза и твердых мраморов по возможности должно быть без трещин: в каррарском мраморе встречаются лишь ничтожные полости, составляющие 0,01—0,22% всей массы породы. Зерна должны прилетать друг к другу непосредственно без прослойки какого-либо цемента и взаимно сцепляться как шипы (рис. 43).

Железный колчедан, магнитный колчедан и железный шпат обнаруживаются в выветривающейся породе появлением некрасивых буроватых до черноты пятен; чем более мелко распылены и чем в большем количестве эти минералы примешаны к мрамору, тем более они вредны. В местах выступления под действием углистых веществ и битумов серо-синей, более или менее темной окраски порода с течением времени становится светлей, ибо примешанные углеродистые соединения постепенно окисляются, улетучиваясь в виде двуокиси углерода.

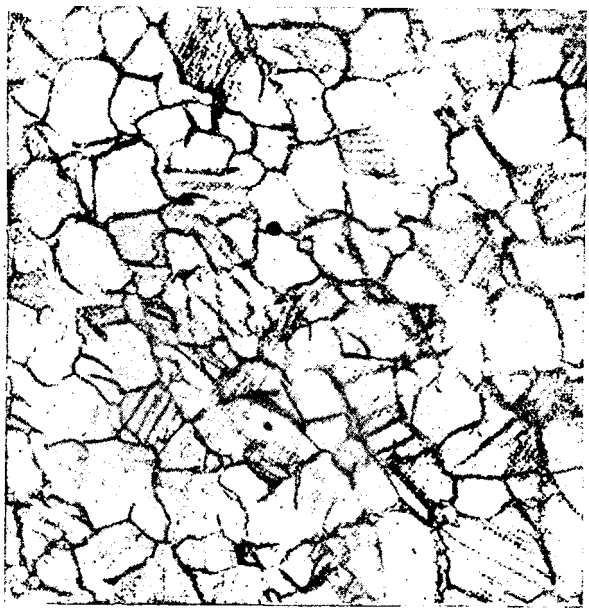


Рис. 42. Микроструктура каррарского мрамора.

Роговообманковые сланцевые породы

Роговообманковые сланцы тверды, очень вязки и трудно поддаются обработке, дают превосходный щебень.

К ним принадлежит также *нефрит*, обладающий, благодаря волокнистому и спутанному строению, способностью полироваться. Его необычайная вязкость, наряду с значительной твердостью, заставляли первобытного человека выделывать из него свое каменное оружие и предметы обихода. И поныне нефрит чрезвычайно ценится в Туркестане, Восточной Азии и Австралии в качестве сырья для выделки украшений, чашек, ваз, коробочек, шкатулок, сабельных эфесов и др. В Европе он встречается в виде валунов в отложениях многих рек и в ледниковых отложениях северной Германии, главные же его нахождения — в Сибири и Средней Азии.

---

[1] Из наших мраморов известен тавдийский, с р. Тавдии, впадающей с севера в Онежское озеро; разработки его против с. Белой Горы начаты в 1765 г. Они сильно доломитизированы (30%), содержание кварца затрудняет их обработку, а присутствие серного колчедана, при выветривании дающего бурые пятна и потеки, обусловливает непрочность на открытом воздухе и непригодность для внешних облицовок.

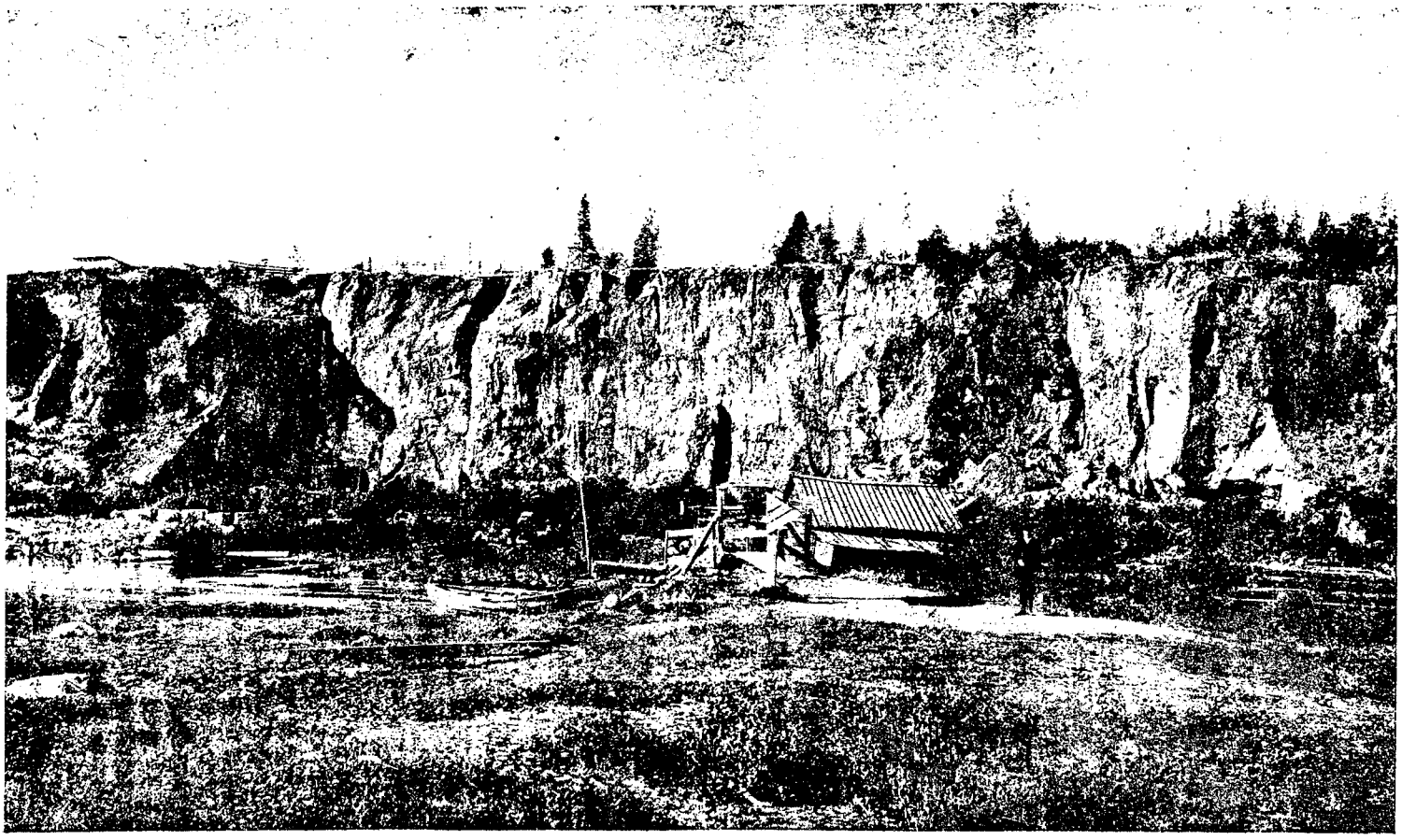


Рис. 43. Ломка белого мрамора в Тивдии (Карелия). Фот. В. Тимофеева.

Амфиболиты

При добавлении к роговой обманке известково-натрового полевого шпата получаются амфиболиты. Принадлежащие к ним породы имеют серо-зеленую или темнозеленую окраску, в большинстве своем мелкозернисты и плотны (зернистые амфиболиты), иногда сланцеваты (сланцеватые амфиболиты), иногда, наконец, слоисты (полосатые или ленточные амфиболиты). Разновидности не слишком тонкосланцеватые тверды, вязки, обладают большим сопротивлением раздроблению (в 1036 *кг/см*²) и стойки на выветривание, почему они местами применяются в качестве щебенки и строительного камня. Из-за превосходного сцепления отдельных зерен они для щебенки значительно более пригодны чем базальт или порфир.

§ 25. Влияние горного давления на инженерные сооружения

Давление горных масс внутри земной коры или *горное давление* и его значение для инженерных сооружений не могут быть рассмотрены без предварительного ознакомления с условиями сопротивления горных пород действию тех или иных внешних сил.

Условия сопротивления горных пород

Прочность горной породы является до известной степени противоположностью ее делимости; она проявляется в сопротивлении, оказываемом породой усилиям разделения ее массы, и обозначается числом *кг* на 1 *см*² породы *кг/см*². Поскольку силы, стремящиеся к такому разделению, являются силами раздробляющими, разрывающими, изгибающими, скалывающими и скручивающими, постольку и различают *временные сопротивления раздроблению, разрыву, изгибу, скалыванию* и *скручиванию*.

Сопротивление раздроблению породы возрастает при остальных равных условиях по мере вхождения в породу тех или других сопротивляющихся раздроблению минералов (бестрещиноватый кварц до 15 000 *кг/см*², полевой шпат лишь 1200 — 1700 *кг/см*²); сопротивление также возрастает с тонкостью зерна, с отсутствием совершенно спайных минералов (слюды) и с плотностью соединения зерен или плотностью всего строения породы. При сланцеватом или трещиноватом сложении сопротивление весьма разнообразно в зависимости от направления раздробляющих сил вдоль или поперек по отношению к сланцеватости или трещиноватости. Сопротивление раздроблению имеет преимущественное значение при использовании горных пород для мощения дорог, для устройства подпор, столбов, колонн, балласта для железнодорожного пути, щебня, для сводчатых построек (туннели, мосты) и т. п.

Сопротивление раздроблению определяют, исследуя кубики с длиною сторон в 5—6 *см*, применяя для этого точные машины и приборы.

Ганиш дает следующие данные, исчисленные в *кг/см*².

Название горной породы	Наименьшее значение	Наибольшее значение	Среднее значение
Порфир	1344	2326	1835
Гранит	1232	2401	1581
Диорит	1300	2900	2400
Базальт	920	2570	1745
Трахиты и фонолиты	560	2600	1700
Гнейс	480	2260	1200
Известняки:			
Кристаллические	795	1161	949
Плотные	390	1915	1153
Трещиноватые	65	241	159
Известковые конгломераты	283	1004	618
Песчаники	291	1839	990

Сопротивление пород раздроблению определяется, кроме перечисленных выше обстоятельств, также и свежестью составляющих породу минералов. Явления метаморфизма в общем уменьшают его и тем значительнее, чем более эти явления приближаются к своему завершению. Сланцеватость, трещиноватость, текучее и слоистое сложения уменьшают сопротивление раздроблению, особенно в их направлении. Мало или даже совершенно не сопротивляются раздроблению породы, подвергавшиеся в связи с горообразовательными процессами значительным растягивавшим, сжимавшим, скалывавшим и скручивавшим усилиям.

Полученные испытаниями данные сопротивления раздроблению имеют лишь условное, но для обычных инженерных работ вполне достаточное относительное значение. Если же предполагается использовать эти данные для научных целей и для выводов более широкого значения, то необходимо учитывать обстановку опытов, при производстве которых добыты соответствующие данные.

Сопротивление разрыву, называемое также абсолютным сопротивлением, обозначает то сопротивление, которое тело из горной породы оказывает каким-либо усилиям, стремящимся его разорвать: оно возрастает независимо от длины испытуемого тела, а зависит от величины площади его сечения и является непосредственным мерилом силы сцепления отдельных частей породы. *Сопротивления на разрыв по сравнению с сопротивлением раздроблению незначительны.* Так например, сопротивления на разрыв относятся к сопротивлению раздробления:

Название горной породы	Наибольшее значение	Наименьшее значение
Порфира	1 : 26,3	1 : 33,2
Гранита	1 : 25,2	1 : 49,3
Песчаника	1 : 18,2	1 : 45,0
Известняка	1 : 9,3	1 : 23,2

Вследствие незначительного сопротивления горных пород разрыву следует избегать, где лишь это возможно, подвергать их непосредственным усилиям на разрыв.

Сопротивление пород разрыву может являться мерилом для степени обрабатываемости породы. Величина сопротивления в первую очередь зависит от крепости отдельных минеральных составных частей и далее от прочности их связи. Особенно разновидности слюды образуют вдоль их многочисленных параллельных плоскостей спайности плоскости разделения, значительно понижающие сопротивление разрыву; рыхлые, крупные составные части, особенно стекловидные массы, оливины и большие трещиноватые вкрапленности (например санидин) влияют очень неблагоприятно. Волокнистое и переплетенное строение, напротив, образуют наиболее прочные на разрыв строительные материалы, таковы, например, массивные амфиболиты, некоторые диориты и большинство диабазов.

Сопротивление пород изгибу значительно (по Ганишу около 2,6 раз) больше, чем сопротивление на разрыв. Оно равно в килограммах на квадратный сантиметр сечения:

Название горной породы	В среднем	Минимально	Максимально
Порфир	191	161	220
Гранит	171	101	242
Кристаллический известняк	150	69	198
Плотный известняк	116	52	210
Трещиноватый известняк	35	30	53
Доломит	74	127	180
Песчаник	35	14	215
Змеевик (серпентин)	470	158	782
Известковый конгломерат	80	47	129

Изгибу подвергаются, например, ступени пролетов лестниц, крышки стоков, перекладины, косяки оконных и дверных проемов и прочее.

Сопротивление скалыванию или срезыванию колеблется от 1/5 до 1/16, минимально до 1/21 от сопротивления раздроблению; для известковых песчаников оно составляет 1/5, для известковых конгломератов 1/10, для кристаллических и плотных известняков, а также и гранитов — 1/12, для песчаников, связанных глинисто-кремнистыми цементами, — 1/15 и для порфиров 1/16 соответствующих значений сопротивления раздроблению. С усилиями на скалывание приходится считаться при сооружении подпорных стенок и др.

Сопротивление скалыванию кристаллических сланцев в направлении сланцеватости или трещиноватости чрезвычайно незначительно.

Горное давление

Учение о давлении горных масс имеет, несмотря на незначительную его разработку, для строителя всех подземных сооружений громадное значение в связи с крупными расходами как на производство работы, так и на поддержание и эксплоатацию сооружений.

Давление горных пород, или *горное давление*, с которым встречается инженер, может быть объяснено действием силы тяжести. Если бы горы состояли из совершенной жидкости, то давление, исходящее из данной, определенной точки, распространилось бы равномерно по всем направлениям, проявилось бы всесторонне в зависимости лишь от одной глубины залегания. Его величина D равнялась

Таблица способности горных пород противостоять различным механическим воздействиям

Название горной породы	Удельный вес породы	Временное сопротивление в *кг/см²*		
		сжатию	растяжению	изгибу
Граниты	2,5 — 3,05	900 — 2600	40 — 55	100 — 240
Сиениты	2,7 — 2,9	800 — 2100	35 — 50	40 — 200
Диориты	2,75 — 3,0	1000 — 2900	45 — 60	— —
Габбро	2,8 — 3,1	2000 — 2800	50 — 60	180 — 260
Кварцевые порфиры	2,4 — 2,6	1000 — 2300	40 — 65	130 — 220
Андезиты	2,55 — 2,85	1200 — 2400	—	— —
Порфириты	2,5 — 2,8	1200 — 2400	—	— —
Базальты	2,7 — 3,3	1100 — 1500	—	— —
Гнейсы	2,4 — 2,7	600 — 2600	40 — 50	60 — 120
Известняки плотные	2,45 — 2,85	600 — 1800	18 — 30	50 — 200
Мраморы	—	500 — 1800	—	70 — 200
Глинистый сланец	—	300 — 400	—	— —
Конгломераты	—	280 — 1000	—	45 — 130
Песчаники	2,2 — 2,5	300 — 1900	20 — 50	14 — 215

Цифры эти получены испытаниями небольших кусков пород, в больших же естественных массивах соответственные показатели прочностей меньше, составляя лишь 25 — 30% приведенных коэфициентов.

бы $D = f \cdot h \cdot g$, где f — подвертаемая давлению поверхность тела, h — средняя высота давящего слоя и g — плотность жидкости. Но такие условия распространения давления горных масс могут встретиться лишь при прохождении через массу, состоящую из «плывучих» горных пород *(плывун)*.

Влажные горные породы с незначительным внутренним трением являются переходом к рыхлым, но более сухим породам, обозначаемым в большинстве своем «сыпучими»; к ним принадлежат песок, щебень, тальки и др. Здесь большая или меньшая часть давления налегающей массы распространяется в горизонтальном направлении, вызывая боковое растяжение. В еще большей мере уменьшение боковых напряжений проявляется в твердых горных породах; при небольших толщинах они совсем незначительны и возрастают лишь при сильном увеличении глубины.

Во всех породах, не распространяющих горное давление по всем направлениям, над потолком штольни и под подошвой туннеля образуется не обладающий внутренним давлением участок с площадью сечения, ограниченной параболой, давящий на свод штольни или туннеля. Над этой параболой образуется свод, передающий давление налегающих масс на бока штольни. В зависимости от того, насколько упруга (эластична) или хрупка порода вокруг штольни, давление это распространится на большем или меньшем протяжении по сторонам штольни и увеличивает повсюду уже существовавшее в ненарушенной породе среднее давление. Давление на бока штольни зависит таким образом в одной и той же породе непосредственно от размеров залегающей над ней толщи, давление же на потолок

штольни, начиная с определенной высоты, основанной на размерах не имеющего внутренних напряжений участка, уже больше не меняется. Освобожденное от давления налегающей толщи «ненапряженное» тело над потолком штольни в течение некоторого времени может поддерживаться свободно при соответствующем сцеплении пород благодаря боковому давлению; но мало-помалу под потолком, под влиянием бокового давления, начинают отделяться кусок за куском части породы, пласты сланцеватых и слоистых пород частью врезаются друг в друга, частью выламываются в сторону полости. Подобные явления наблюдаются и на подошве штольни; и здесь боковое давление действует выжимающим и выламывающим образом, будучи лишь немногим ослаблено действующим в противоположном направлении давлением веса «ненапряженного» тела. Это явление не следует смешивать с «выпучиванием» породы под действием разбухания породы в сыром туннельном воздухе.

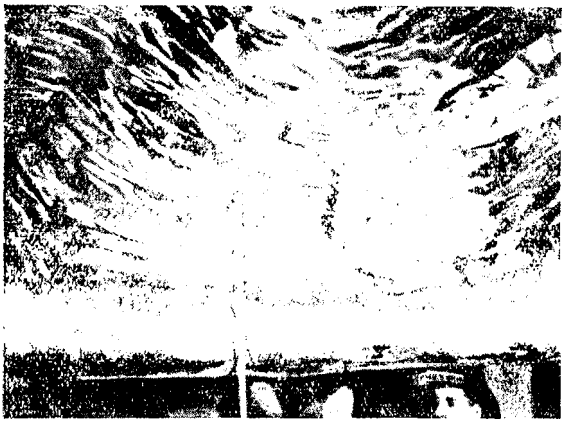


Рис. 44. Растрескивание и проседание (гнейсов) пород потолка подземной выработки в результате горного давления (Симплонский туннель).

Если сопротивление на скалывание больше сопротивления на разрыв, то образуются многочисленные вертикальные трещины, и с неожиданным треском или выстрелом от боковых стен отламываются и отскакивают тонкие плитки породы (*стреляние, томпание*). В хрупких и массивных породах это обламывание принимает опасные размеры. Стреляние пород вызывало в твердых гнейсах и известняках Симплонского туннеля, в гранито-гнейсах Тацернского туннеля, в крепких



Рис. 45. Отскакивание („стреляние") от стен подземной выработки плит известняковых сланцев (Симплонский туннель, в 9,32 *км* от южного портала).

песчаниках туннеля Cincinnati Southern Railroad и др. многократные несчастные случаи с рабочими. С громким треском внезапно отскакивают от стен большие или меньшие, с боков заостренные, к середине утолщенные плиты, расширяющиеся при этом так, что они уже больше не входят в прежнее свое место (рис. 45). Явление это наблюдается не всегда вслед за проходкой штольни, а иногда через недели и месяцы, внезапно уравновешивая имевшие место в породах сильные напряжения. Растрескивание наблюдается как в подошве, так и в потолках (рис. 44), но наиболее часто в боках штольни, где оно обычно и начинается; плоскость откалывания не зависит от возможной слоистости или сланцеватости породы и следует вдоль стен штольни (рис. 45). Действительного средства против стреляния пород до сих пор изыскать не удалось; предсказание таких обвалов составляет также часть геологической экспертизы при сооружении значительных штолен или туннелей.

Если сопротивление скалыванию по отношению к сопротивлению на разрыв незначительно, то в боках штольни образовываются плоскости скалывания.

В общем в отношении устойчивости масс можно установить следующие правила.

В глубинах (t), меньших или равных высоте (h) ненапряженного участка, преобладает потолочное давление, оцениваемое весом всего налегающего массива с некоторым преувеличением и поэтому с достаточным запасом прочности. Если давление налегающей толщи значительно меньше сопротивления породы разрыву, то штольня может стоять и без обшивки; многочисленные небольшие туннели являются для этого отличными примерами. Если же сопротивление разрыву меньше давления налегающей толщи, что встречается, например, в сыпучих породах и вообще в породах с незначительным сцеплением, тогда нагружающие усилия, действующие на туннель, определяются весом налегающей толщи и боковым давлением, действующим на свод и подпоры, примерно по формуле:

$$D = \gamma \frac{h^2}{2} \operatorname{tg}\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$$

в которой φ обозначает угол естественного откоса породы, γ — ее плотность, h — высоту стен.

Если глубина сооружения превышает высоту «ненапряженного» участка, то могут наблюдаться четыре случая. При отношении вертикального давления (p) к боковому растяжению (S) бо́льшем, чем значение дроби $\frac{t}{h}$, потолочное давление будет всегда сильнее, чем боковое; силы их (потолочного и бокового давления) будут равны при $\frac{p}{S} = \frac{t}{h}$. Боковое давление, наконец, становится сильнее, если $\frac{p}{S}$ меньше $\frac{t}{h}$. Четвертый случай наблюдается тогда, когда при значительной налегающей толще давление возрастает до такой степени, что порода немедленно становится текучей и до известной степени пла-

стичной. Последний случай при глубинах, ныне достигаемых туннельными работами, значения не имеет, но играет известную роль при пластичном метаморфизме пород.

Все стремление нарушенного в своем внутреннем равновесии постройкой туннеля горного массива заключается таким образом в том, чтобы закрыть искусственную пустоту со всех сторон за счет прилегающих к ней смежных пород. Но проявления горного давления не всегда протекают согласно вышесказанному. Часто строение горы вызывает значительные отклонения, особенно в тех случаях, когда породы залегают подобно сводчатым сооружениям — антиклинально; в таком случае туннель, проходящий по простиранию пластов и приблизительно в ядре складки, будет испытывать давление значительно меньше среднего, в то время как степень давления на туннель, проложенный в крыльях складки, может значительно возрасти; туннель, пересекающий антиклиналь вкрест, обнаруживает сильное стреляние и разрушение в крыльях ее, несмотря даже на незначительную налегающую толщу; под седлом же, наоборот, несмотря даже на большую мощность налегающей массы, он будет испытывать малое давление.

Вышесказанным лишь подтверждается необходимость самых подробных геологических исследований до начала работ по постройке всяких более значительных подземных сооружений. В двойных туннелях давление на внутренние боковые стены в общем будет меньше давления на внешние их боковые стены.

В то время как процессы, действующие изнутри Земли, в общем стремятся создавать неровности и усиливают рельеф, внешние процессы, действующие на земной поверхности и над ней, неустанно работают над сравниванием и сглаживанием этого рельефа.

Вызываемые денудационными процессами явления можно разделить для удобства рассмотрения их на: геологическую деятельность атмосферы, подземной воды, проточной воды, замерзшей воды, деятельность морей и организмов.

§ 26. Геологическая деятельность атмосферы

Первопричиной геологической деятельности атмосферы является Солнце.

Солнечное тепло приводит в движение воздух, поднимает водяной пар в верхние слои атмосферы, где он охлаждается и сгущается в виде дождевых капель; Солнце непосредственно нагревает горные породы, отчего они расширяются, а затем, быстро охлаждаясь в течение прохладной ночи, распадаются более или менее быстро на обломки. Ветры поднимают тончайшие частицы породы из одних мест и отлагают их вновь в других спокойных местах.

Вследствие этого верхний слой земной коры, на котором и внутри которого производится большая часть строительно-технических работ, отнюдь не представляет собой чего-либо вечного, не изменяющегося; напротив, он находится в состоянии непрерывного изменения и является ареной действия активных или скрытых сил, которые при нарушении его целости часто проявляют себя самым неожиданным образом. Поэтому, для правильной оценки возможных последствий искусственных вскрытий земной коры, необходимо быть до известной степени знакомым с теми изменениями, которые и без нашего вмешательства уже происходят вблизи земной поверхности. Они заключаются главным образом в постепенном разрушении горных пород, в постоянных превращениях продуктов разрушения и перемещениях их.

Большинство элементов земной коры, обозначаемых термином «горные породы», приобрели свой петрографический характер в условиях температуры и давления, значительно отличающихся от существующих на поверхности земли. Петрографический характер породы представляет собой некоторым образом состояние равновесия между химическим составом горной породы и физическими условиями ее существования. Пока физические условия не изменяются, горная порода в известном смысле «мертва», так как она тоже не изменяется. Но как только такая порода, обнажаясь, приходит в соприкоснове-

ние с атмосферой и дождевой водой и подвергается периодическим изменениям температуры, она снова «оживает» и путем ряда механических и физических изменений своего состояния стремится к новому состоянию равновесия. Этот процесс носит название «выветривания» и состоит главным образом в механическом измельчении, химическом превращении и растворении.

Выветривание

В широком смысле понятие выветривания обнимает все разнообразные изменения пород, с увеличением и уменьшением объема, а также их вещественные превращения, претерпеваемые под действием различных физических и химических процессов и вследствие деятельности живых существ, главнейшим образом растительного мира. В ряду этих трех причин, всегда одновременно действующих на гор-



Рис. 46. Гранитная россыпь — море скал (Вост. Саяны).

ные породы, одна в большинстве случаев имеет преимущественное перед двумя другими значение; если поэтому говорят о химическом, физическом или органическом выветривании, то это вызывается либо желанием выделить один из видов выветривания в предмет отдельного исследования, либо указать в определенном случае преобладание того или иного процесса, отнюдь не отрицая присутствие других. Поддерживается выветривание в своей деятельности дождевыми водами и бурями, смывающими выветрелые части пород, обнажая все новые поверхности для дальнейшего воздействия сил выветривания.

Физическое выветривание — распадение пород. Физическое выветривание разрыхляет массы твердых пород и превращает их в груды обломков, не меняя существенно их вещественного состава (рис. 46).

Оно основано на разнице напряжений (под влиянием изменений температуры) между внутренними и поверхностными слоями пород; в сложных породах процессу существенно содействует еще неравномерное сжатие или расширение отдельных составных частей и их раз-

нообразная окраска. Увеличение объема каменной глыбы из гранита, мрамора или песчаника составляет при колебании температуры в 60—70° около 1—1½ на тысячу. В то же время такие колебания в пустынях и нагорьях не представляют большой редкости. Днем солнечные лучи накаляют отдельные глыбы скал до 40—80°, ночью же последние под действием интенсивного излучения тепла охлаждаются до нескольких градусов выше нуля, а в высокогорьях даже далеко ниже нуля. Густая, особенно темная окраска, породы, крупнозернистость, особенно же большая разница в величине зерна, большая амплитуда и частое повторение теплоцых колебаний содействуют ускорению и увеличивают размер разрыхления, могущего пройти все ступени от образования мелких трещин до рассыпания всей породы на отдельные зерна.

Наиболее важно в наших широтах разрушение пород морозом. Существующие трещины и плоскости отдельности, а также образующиеся вследствие выветривания расщелины содействуют просачиванию воды в толщу породы. Если температура понижается после этого ниже нуля, то проникшая в полости и трещины породы вода замерзает, увеличивая при этом свой объем в среднем на $^1/_{11}$ часть, и раскалывает постепенно каменные массы. Наиболее существенно действие мороза проявляется там, где замерзание и растаивание часто сменяют друг друга, так например на севере и на высоких горах выше и ниже границы вечных снегов. Многочисленные вершины и пространные обломочные поля — каменные россыпи Урала, Кавказа, Тянь-Шаня и особенно Памира и др., свидетельствуют о разрушительной деятельности мороза. Особенно легко расклинивающему действию мороза поддаются сланцеватые породы, главным образом филлиты и слюдяные сланцы, ибо их многочисленные плоскости сланцеватости облегчают проникновение воды, ослабляя одновременно сцепление частиц породы.

Действие мороза, дающее готовый к дальнейшему распылению горный мусор, должно интересовать не только строителя водных сооружений, но, вследствие вызываемых им изменений в камнях, вообще всякого инженера, предполагающего возводить каменные постройки. Дело в том, что силам расширения воды при замерзании могут сопротивляться лишь наиболее прочные породы из числа трещиноватых, менее прочные разрушаются ими в более или менее короткий срок, в зависимости от плотности сцепления, числа и величины полостей и пустот. Стойкими оказываются нетрещиноватые каменные породы, не имеющие расщелин, а также породы с большими полостями и в то же время твердыми стенками, если полости эти не наполняются доверху водой. Разовое замерзание сказывается разрушающе лишь в совсем рыхлых, не обладающих почти никакой прочностью породах; обычно же разрушение обнаруживается лишь после неоднократного замерзания и растаивания. Результаты действия мороза состоят преимущественно в разрушении в первую очередь всех выступов и приводят к образованию кругловатых, яйцевидных и шарообразных форм; мягкие, зернистые песчаники, вулканические туфы и т. п. особенно предрасположены к этому виду выветривания. В крупнозернистых породах происходит обламывание углов и краев, а в дальнейшей стадии выветривания и полный распад породы. Сло-

истые и сланцеватые породы облупляются и отслаиваются, что происходит тем скорее, чем тоньше сланцеватость породы. В более редких случаях деятельность мороза проявляется в образовании неправильных трещин, по которым глыба в конце концов и распадается на отдельные обломки.

Химическое выветривание — разложение пород. Медленнее и незаметнее происходят явления химического выветривания, часто совершенно перерождающего вещественный состав породы и сильно облегчающего ее дальнейшее разрушение. Одним из главных деятелей при этом является теплота, сильно влияющая на род и скорость процесса вещественного перерождения.

Раньше предполагали, что выветривание силикатовых пород происходит под действием разбавленных в воде кислот, в частности углекислоты. Теперь выяснено, что разложение кремнистых пород является гидролитическим процессом, основанным на частичном разложении воды на водородные (H) и гидроокисные (OH) ионы. Так например, полевые шпаты разлагаются гидролитическим путем под простым действием воды, с одной стороны, на водосодержащие коллоидальные глиноземные силикаты, с другой же стороны — на водосодержащие щелочные силикаты, свободные щелочи и на водные соединения кремнекислоты. Влияние углекислоты обычно ограничивается углекислыми породами.

Воздействие гумусовых перегнойных веществ на подстилающую горную породу проявляется преимущественно в сильном и глубоко проникающем разложении карбонатов, а также в растворении и уносе железа и глинозема; последние явления происходят лишь в более сырых областях, между тем как в более сухих широтах и климатах сами перегнойные вещества быстро разрушаются. Поэтому удается обнаруживать в составе темных вод торфяных болот не только значительные количества железа и глинозема, но также и кремнекислоты. В связи с этим заслуживает внимания то обстоятельство, что растительные и животные остатки нередко, как это, например, видно в кремнях меловых образований, являлись центрами осаждения плотной и коллоидальной кремнекислоты. Под действием перегнойной воды на полевошпатовые породы образуется аморфная разновидность каолина — клайит. Это превращение может служить объяснением для часто встречающегося образования каолиновых залежей под торфяными болотами, залегающими над полевошпатовыми породами. Продукты выветривания кремнекислых солей преимущественно встречаются в виде коллоидальных (аморфных) тел.

Особым видом выветривания, ограниченным более теплыми странами с большим количеством осадков, является образование красной земли *(краснозем)*, наиболее часто наблюдаемое на высоких равнинах триестинского и крайнского карстов. Обязательными условиями для образования краснозема являются известковые подстилающие породы, более высокие температуры, сильное высыхание в течение лета и не слишком холодные зимы. При таких обстоятельствах растительные и животные остатки быстро разлагаются и нигде не накапливаются, содержащая углекислоту вода растворяет известняк и осаждает на месте все примеси породы, отчасти заполняя ими расширенные выветриванием трещины и пустоты. Еще более теплые и влажные

области представляют родину *латерита*, землистой водопроницаемой, не пластической почвы кирпичного, карминового или также желто-бурого цвета, состоящего преимущественно из гидратов глинозема.

Совсем иначе, чем на поверхности, происходит выветривание пород на больших глубинах под поверхностью (глубинное разложение пород). Отвод растворенных веществ происходит здесь медленно, кислорода нет или же он имеется лишь в незначительных количествах, так что соли железа не окисляются; поэтому конечные результаты глубинных процессов выветривания, в противоположность коллоидальным образованиям выветривания на поверхности, являются под влиянием высокой температуры в большинстве кристаллическими.

Органическое выветривание. Участие в выветривании живых организмов основано опять-таки на физических и химических процессах. Корни растений проникают в тончайшие трещины породы, расширяют их и растворяют породу выделением различных кислот.

Первыми организмами, поселяющимися на голой скале, являются трещинные грибы; деятельности азотных бактерий приписывается выветривание многих вершин Альп. Позже на немного уже подготовленную почву поселяются лишаи; к ним присоединяются мхи, пропускающие свои тончайшие корни глубоко в толщу породы. За ними в дальнейшем следуют неприхотливые папоротники, и только если разложение и разрыхление породы достигло более высокой степени, начинают произрастать более сложные растения.

Разрушающая деятельность низших растений не щадит и искусственных сооружений; при этом с северной стороны и вообще в тенистых и сырых местах она более значительна, чем на солнечной, сухой стороне. Заросшие низшими растениями строительные камни плохо высыхают с поверхности, а потому легче и скорее поддаются действию мороза. В зависимости от жизненных потребностей лишаев наиболее охотно заселяются ими породы, содержащие известь, а также легко впитывающие влагу и обладающие способностью подолгу ее задерживать в себе, например глинистые и мергелистые известняки и песчаники; при наличии очень гладких поверхностей захват их лишаями происходит значительно дольше, чем при неровных поверхностях. Это обстоятельство рекомендуется учитывать при выборе каменных пород для памятников, построек под открытым небом и т. п.

Скорость выветривания. Скорость, с которой выветривание проникает с поверхности по различным щелям и трещинам внутрь породы, зависит от целого ряда климатических обстоятельств. Полированные поверхности и горизонтальное положение пластов замедляют выветривание.

Разрушение сланцеватых и слоистых пород происходит скорее, чем разрушение массивных, плотных пород; вообще плоскости и отдельности всякого рода, расщелины, трещины, которыми столь богаты некоторые породы, часто в значительной степени облегчают выветривание. Горизонтальное расположение пластов затрудняет и замедляет процесс выветривания, вертикальное — наоборот.

Важную роль играет химический состав породы: известняки и доломиты, например, очень быстро поддаются действию выветривания, то же наблюдается и в отношении ряда горных пород с богатым содержанием железа. Чем разнообразнее составные части, из которых состоит порода, чем больше различаются коэфициенты их расширения, чем больше величина зерна, тем меньше она сопротивляется выветриванию. Растительный покров вначале содействует разрушению, но после достижения им известной плотности он уже препятствует дальнейшему проникновению выветривания в породу. Если с этой точки зрения рассмотреть отдельные, наиболее часто встречающиеся в наших краях породы, то можно определить для них следующие отношения к силам выветривания. Граниты тем скорее выветриваются, чем крупнозернистее их строение, чем чаще в них встречаются темные листочки слюды. Очень часто они распадаются в щебенные и хрящевые массы. Если древа смывается дождевой водой, то остаются более крупные обломки, образующие грубые россыпи, «моря скал», которые наиболее часто встречаются именно в гранитных областях; обломки их не лежат на месте распада, а скатываются или сползают вдоль по склону.

Настоящие порфиры в общем выветриваются трудно; плотные, твердые распадаются в остроребрые косоугольные обломки. Разложение их происходит тем скорее, чем меньше кремнекислоты они содержат, чем больше примешано окиси железа, чем неравномернее их строение, чем более крупны вкрапленности и чем богаче в них содержание полевых шпатов.

Сиениты распадаются подобно некоторым гранитам, образуя мелкий щебень; разложение их в общем происходит скорее.

Из числа трахитов наиболее легко выветриваются шлаковатые разновидности, медленнее — разновидности порфирообразные и наиболее медленно — зернистые или плотные. Фонолит при распаде быстро образует кучу угловатых обломков.

Диориты с белыми и темными пятнами разлагаются легче, чем плотные серо-зеленые разновидности, могущие быть причисленными к наиболее трудно поддающимся выветриванию горным породам.

Диабаз сравнительно быстро распадается.

Лучше сопротивляется выветриванию плотный равномерно темно-серый и черный базальт; зернистые пятнистые разновидности, называемые долеритами, выветриваются скорее, чем плотные просто черные или темные.

Слюдянисто-сланцеватые породы часто подвергаются выветриванию на большую глубину; еще менее устойчивы хлоритовые сланцы и известковые филлиты.

Вулканические туфы быстро разрыхляются и поддаются разлагающему действию сил выветривания.

Распад и разложение песчаников и конгломератов, кроме положения пластов, чрезвычайно зависят от свойств и количества цементирующего вещества.

Известняки выветриваются в общем скорее доломитов. В последних же, если только они подвергались при горообразовании различным давлениям, преобладает распад на неправильные глыбы и острый щебень еще задолго до их разложения.

Образование обломочных пород

На равнинах и полого падающих склонах продукты выветривания остаются лежать в местах их образования и образуют здесь *элювиальные* рыхлые отложения. В иных случаях составляющие осыпи склонов частицы прошли большее или меньшее расстояние книзу и продолжают это движение в направлении сильнейшего уклона. Причины такого перемещения хрящевых масс разнообразны: пропитанность водой, замерзание и растаивание и общее воздействие силы тяжести дают часто толчок к нисходящему движению. Об этом подробнее будет сказано ниже, в главе о смещениях масс на земной поверхности. Если отложения осыпей содержат преимущественно более крупные глыбы, лишь скудно покрывающиеся растительным покровом, если к скользяще-поступательному движению присоединяется скатывание и падение, то мы имеем дело с образованиями, называемыми *делювиальными*.

Всюду, где уклон местности столь велик, что первоначальное скольжение должно перейти в падение, упавшие под действием силы тяжести массы продуктов разрушения образуют своеобразные отложения, формы которых находятся в теснейшей связи с разрушившейся горной породой. Такое откалывание отдельных обломков от выветривающейся с поверхности коренной массы называют каменным *обвалом*.

К силе тяжести при обвалах часто присоединяется в качестве важного фактора еще действие воды, снега или ветра, помогая или давая толчок движению.

Обвалившиеся массы накапливаются там, где их движение прекращается вследствие трения или ударов, значит преимущественно на плоском дне долин. Здесь они образуют более или менее крутые склоны или *конуса горного щебня*.

Условия отлогости продуктов выветривания особенно тщательно исследованы А. Пивоваром.[1] По его, а также и нашим собственным наблюдениям по этому вопросу, выясняется следующее.

Наибольший угол, под которым отлагается обваливающаяся масса щебня и обломков, зависит в первую голову от очертаний обломков, в свою очередь определяемых трещинами отдельности, строением и сложением породы; они определяют степень трения отдельных обломков в отношении друг друга и подстилающей толщи. Чем крупнозернистее, изломистее, угловатее и массивнее порода, тем круче наклонена образующая щебневого конуса; пластинчатые, сланцеватые, округленные, мелкозернистые или даже плотные, гладко изламывающиеся горные породы образуют в противоположность им пологие склоны.

Углы осыпей в среднем образуют:

Гранит	37,0°
Известковый песчаник	34,5°
Плотный известняк	35,5 — 32°
Гнейс	34,0°
Слюдяной сланец	30,0°

[1] A. Pivovar. Über Maximalböschungen trockener Schuttkegel und Schutthalden. Zürich, 1903.

Влияние высоты падения на угол отложения щебня, как выяснилось, незначительно. При смеси разных пород угол отложения составляет среднюю величину между данными, характеризующими каждую часть в отдельности (рис. 47, 48, 49 и 50).

Влияние растительности на крутизну осыпей, принимаемое А. Пивоваром, проявляется не всегда. Нельзя смешивать в данном случае причины со следствием. Отмирающие, сглаживаемые стекающей водой, постепенным уплотнением и осадкой конусы и каменные поляны более легко покрываются растительным покровом; поэтому старые, поросшие лесами конусы могут быть более пологими, чем живые, продолжающие постоянно свое преобразование и нарастание. С другой стороны, из-за этого не должно недооцениваться влияние закрепляющих почву растений. Сама природа применяет здесь

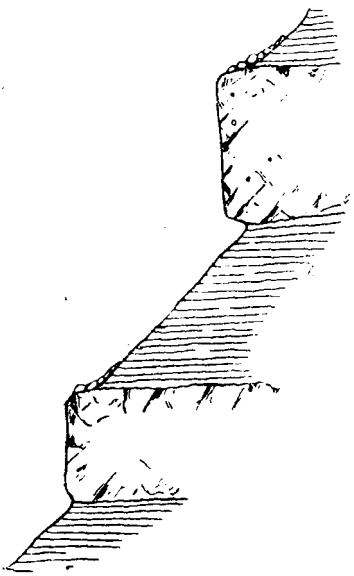


Рис. 47. Чередование устойчивых и выветривающихся пластов в склоне.

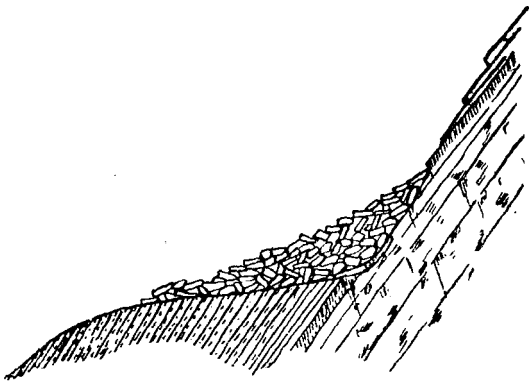


Рис. 48. Осыпь мергеля, покрывающего плотный известняк в крутом залегании.

в течение миллионов лет средства скрепления, по сравнению с которыми технические приемы ничего нового не представляют. Корни растений в своем связующем действии подобны сваям, вбиваемым человеком в сползающие массы. Низкие, стелющиеся по земле травы, часто располагающиеся террасовидными уступами кусты альпийских роз, карликовых сосен, альпийских ольх и альпийского можжевельника («арча»), «ловцы» и «запруживатели» щебня, представляют не что иное, как мельчайшие плотинные сооружения, деятельно задерживающие скатывающиеся сверху камни, песок и принесенный дождевой водой горный мусор.

Однако большинство щебневых отложений все же обладает более или менее значительной подвижностью, которая делает их часто неудобными для человека и его сооружений.

В скрытом виде она иногда подолгу сохраняется под плотным растительным покровом, обнаженный же щебень стекает как жидкость или же спадает наподобие водопада в глубину. Если рыхлые массы продвигаются к какому-либо протоку или ручью, или же если ручей

приближается к ним, то начинается упорная борьба за каждую пядь земли. Вода подтачивает тело щебневой толщи и вызывает оползание все новых и новых масс. Часто весь ручей заваливается обломками и вынужден пробиваться между ними, если ширина долины не позволяет найти ему бокового обхода; если прирост щебневых масс незначителен, то ручью удается одержать верх и обеспечить себе на значительный срок спокойствие, пока вновь не накопится достаточного количества щебня. В большинстве случаев борьба не решается окончательно в пользу той или другой стороны, и такое состояние вызывает постоянную готовность потоков к образованию *мур* (см. ниже). Деятельность человека, нарушающего своими сооружениями, дорогами и пр. сцепление верхнего покрова осыпей, часто оживляет их и вызывает угасшее было движение.

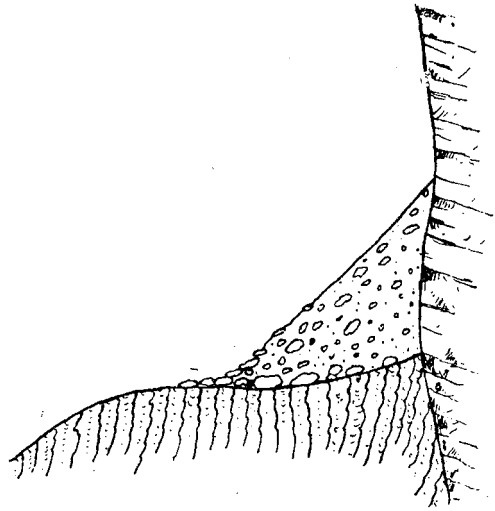


Рис. 49. Осыпь, скрывающая сброс.

Поэтому при постройке жилых домов, промышленных строений и при сооружении силовых установок и дорог требуется сугубая осторожность. Грозящие каменными обвалами стены и склоны, вдоль которых приходится прокладывать пути сообщения, вынуждают прибегать к дорогостоящим сооружениям для обеспечения безопасности движения, как то: защитным стенам, свайным сооружениям, галлереям и защитным навесам из дерева, старых железнодорожных рельс или же прокладке достаточно далеко отнесенных в глубь горы штолен, туннелей и выемок.

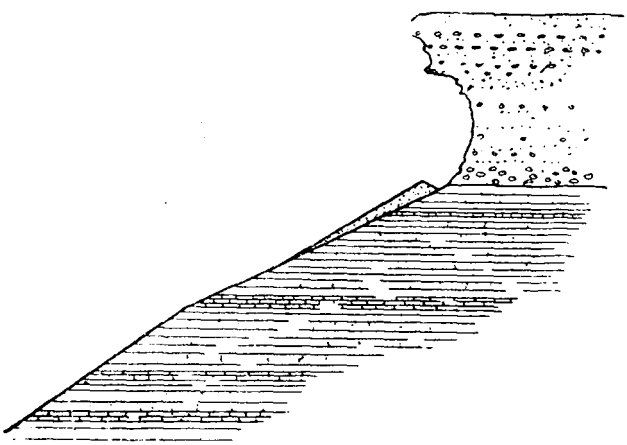


Рис. 50. Навес выветривания плотного пласта конгломерата, лежащего на мягкой толще.

Для определения опасности скалистых стен или обрывов в отношении каменных обвалов, кроме показаний местных жителей, имеют также большое значение лежащие вокруг свежие каменные осколки, бороздчатые углубления на поверхности дерна, произведенные обломками при ударе о землю, иногда же и непрерывные борозды значи-

тельной длины на поверхности луговых склонов. Если подошва крутой горы усеяна прислоненными к скалам конусовидными каменными массами, то такое явление позволяет вывести заключение, что вся стена по всей ширине представляется приблизительно одинаково угрожающей в отношении каменных обвалов. Если же массы щебня в низших их частях распылились в виде каменных полян с конусами на вершинах, то последние соответствуют местам наибольшей угрожаемости обвалами. На каждом отдельном коническом наносе наиболее опасным в отношении обвала местом является его вершина. Знание угрожающих обвалами мест, так называемых обвальных желобов, источников обвалов и т. п., имеет также большое значение для путешествующих в горах, и недооценивание этого значения заставило поплатиться жизнью немалое число людей; наиболее угрожающим обвалами временем являются часы от восхода солнца до захода его, бурная погода и дожди, в то время как более свежие облачные дни без ветра, мороза, таяния и осадков проходят более спокойно.

При проникновении в более древние рыхлые каменные отложения растворов, выделяющих цементирующие отложения, часто образуются твердые *брекчии склонов*.

Выветривание в качестве почвообразующего процесса

Из размельченных и разложенных выветриванием горных пород, под влиянием циркулирующих в земной коре вод и при содействии населяющих землю людей, животных и растений, образуется *почва*. Она не представляет собою что-либо законченное, а подвержена постоянным изменениям и превращениям, пока на нее воздействуют атмосфера, вода и организмы. Изменчивость и многообразие проявляющихся при почвообразовании процессов создали чрезвычайно большое количество разновидностей почв.

Наиболее старая и известная классификация почв основана непосредственно на ходе их образования. Соответственно с таким принципом различают почвы выветривания (элювиальные) и отложения (коллювиальные почвы). Первые образовались на месте путем выветривания и распада соответствующих пород и залегают поэтому на слоях материнской породы, переходя в нее в большинстве случаев при посредстве ряда промежуточных, от первоначальной до совершенно перерожденной породы, разновидностей.

Классификация, охватывающая почвы всего земного шара, должна основываться на другом принципе, а именно, на принципе климатическом. В этом отношении всю поверхность земного шара можно разделить на области, в коих испарение превосходит осадки (сухие области), и на такие, в коих меньше воды испаряется, чем ее прибывает в виде осадков (сырые области); в связи с этим и почвы делятся на сухие и сырые.

Сухие почвы содержат значительное количество растворимых полезных растениям солей, которые под влиянием поднимающихся благодаря интенсивному испарению вод не только сохраняются для почвы, но и обогащаются еще вблизи или на самой поверхности земли в большей или меньшей мере. Богатство солей обеспечивает выделение почвенных коллоидов и предохраняет их от истощения;

сухие почвы обнаруживают поэтому всегда пухлое, рассыпчатое сложение, облегчающее корням растений проникновение в почву, содействующее проветриванию почвы, питанию подземных частей растений кислородом и допускающее легкое водообращение. Вследствие их рыхлости также не встречается затруднений при их обработке.

При преобладании осадков над испарением движение воды в сырых почвах происходит преимущественно в нисходящем направлении; поэтому они подвергаются более или менее сильному выщелачиванию, уменьшающему запасы растворимых питательных для растительности веществ. Перемещение веществ происходит сверху вниз, в противоположность обратному их перемещению — из глубины к поверхности — в сухих почвах. Химическое разложение приводит в большинстве к образованию коллоидов, водосодержащих глиноземных силикатов (глины, каолина, и т. п.), а в более жарких широтах и к накоплению водных окислов глинозема и железа. Вследствие бедности почв солями коллоиды в большинстве своем не разрыхляются, почему сырые почвы преимущественно вязки, трудно поддаются обработке и мало проницаемы для корней растений, почвенных вод и почвенного воздуха.

К сырым почвам принадлежат, между прочим, промерзающие почвы высокогорий и холодного севера. Почвы горных лугов в большинстве состоят из смеси гумусовых частиц и выветрелых осколков породы, а также некоторых количеств нанесенной ветром пыли. На известковых породах в Альпах часто отлагаются накопления черной рыхлой, почти что порошкообразной земли, состоящей из разложившихся растительных остатков. Северные сероземы содержат в грунтовых водах значительное количество коллоидных перегнойных веществ. На плоских и пологих поверхностях часто вследствие накопления сырого перегноя и последующего прорастания торфяных мхов происходит сильное отсырение, а в дальнейшем и заболачивание почвы. В умеренных широтах с невысокими температурами и умеренными испарениями образуются бурые почвы — преобладающая в Средней Европе разновидность почв.[1] Название их произошло от желтовато-бурой до красновато-бурой окраски, вызванной меняющимся содержанием железистых водных окисей. Содержание перегноя колеблется вокруг некоторых средних количеств, так как разложение органических остатков происходит сравнительно очень быстро; но оно вполне достаточно, чтобы придать окраске почвы нечистые, грязноватые побочные оттенки. Вымывание легко растворимых солей и карбонатов щелочных земель происходит медленнее, чем в сырых почвах, фосфаты же, окись железа и глинозем вообще остаются в земле. Этим объясняется, с одной стороны, окраска, а с другой — всегда проявляющаяся, основанная на присутствии глины, связность бурых почв. Рассыпчатость их достигается и сохраняется лишь при помощи правильной обработки и удобрения соответствующими веществами.

Определение состава почвы на месте производится в отвесных разрезах (профилях) дорожных выемок, береговых откосов, протоков и другим искусственным или естественным путем. При рассмотрении таких разрезов выясняется, что почва, как общее правило, не имеет равномерного состава, а обнаруживает почти всегда ряд отдельных

[1] К которым с севера примыкают серые почвы.

слоев с разнообразной окраской и различным содержанием перегноя. Опытный глаз легко различает последовательность слоев уже на незначительных пробах, извлекаемых при помощи земляных буров из различных глубин.

Но осмотр почвенных разрезов представляет все же лишь несовершенное вспомогательное средство для определения и оценки почвы. Оно становится действительно ценным лишь при дополнении его правильным исследованием физических, химических и биологических свойств, как например при помощи отмучивания, производства химического анализа, минералогических исследований и т. п. Подробные данные об этом можно почерпнуть из учебников почвоведения (К. Глинка. Почвоведение).

§ 27. Геологическая деятельность ветра

Развевание

Каждый из нас испытал развевающую и переносящую деятельность ветра, находясь, например, перед началом сильной грозы в поднятой ветром пыли на дороге, или на спортивной площадке. На таких площадях, совершенно лишенных растительного покрова, ветер может развить всю свою силу; на лугах и полях стебли растений тормозят его скорость; наиболее сдерживающее же действие проявляет лес тысячами своих ветвей и сучьев, своими стволами и листьями. От деятельности воды деятельность ветра отличается главным образом тем, что первая основана на силе тяжести, в то время как ветры могут дуть не только вниз, но и вверх; в этом легко убедиться, если переходить при ветре, хотя бы средней силы, через голые площади высокогорий; воздушное течение, направленное в сторону вершины, свевает с пыльных сухих склонов мельчайшие частицы и несет их с собой в высоту, в то время как освободившиеся благодаря выдуванию мельчайших частиц или разрыхленные иным путем более крупные песчинки и даже камни стремятся мелкими потоками вниз.

Из этого примера видно, что сила удара и величина работы ветра при равных скоростях зависит от величины зерна перемещаемого вещества; при равной величине зерна они возрастают с квадратом скорости. Исследования В. Соколова над сестрорецкими *дюнами* над отношениями между скоростью ветра и величиною зерна привели к следующим результатам:

Величина песчинок в *мм*	Наклон поверхности песка	Скорость в *м*	Движение
0,25—0,1	0°	6	Слабо начинающееся
0,25—0,1	0°	7,5	Чрезвычайно сильное
0,5 – 1,0	0°	10	Начинающееся
1.0 —2,0	0°	11	Отсутствует

Очень сильные штормы с секундной скоростью от 200 до 500 *м* могут приводить в движение камешки диаметром в 25—35 *мм*, даже весом

свыше 1 *кг*. Пыльные бури представляют по существу смесь воздуха и мелких твердых частиц.

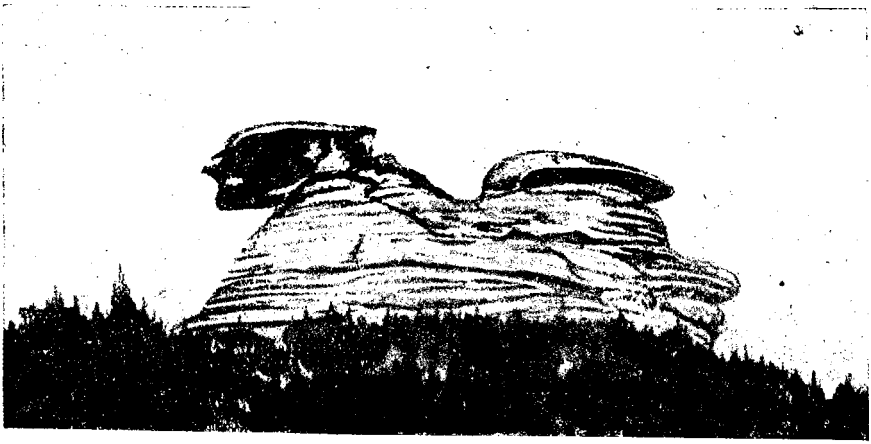


Рис. 51. Выветривание гранито-гнейса (Яблоновый хребет).

Уже эти немногочисленные данные указывают, что геологическая деятельность ветра может достигнуть значительных размеров, если скудная растительность не защищает поверхность почвы от воздей-



Рис. 52. Выветривание туфо-брекчий (Карадаг — Крым). Фот. Е. Дьяконовой-Савельевой.

ствия воздушных течений. *Развевание* или *дефляция* основано на двух главных явлениях. Во-первых, ветер удаляет все разрыхленные разнообразными процессами выветривания массы, обнажая тем самым

все новые слои породы для распада; с другой стороны, переносимые им песчинки выравнивают, обтачивают и полируют поверхность пород.

Те частицы, которые ветер развеял и несет с собой, он откладывает там, где силы его ослабевают, или где благодаря препятствиям образовались затишья. Поэтому развеванию ветром всегда и всюду противопоставляется и отлагающая его деятельность. Часто области развевания и отложения столь близки друг другу, что строгого разделения их сделать нельзя. Развевание, разрушая скалы, придает им прихотливые формы, различные у разных горных пород (рис. 51, 52 и 53).



Рис. 53. Выветривание известняков (р. Лена).

Отложения ветра — эоловые отложения

Подхваченные ветром частицы переносятся по воздуху часто на большие расстояния, опускаясь, наконец, в спокойных местах между ветвями растений: это явление имеет для почвоведения существенное значение. Развевание доставляет растительности питательные вещества, оно снабжает мхи и лишаи на голых скалах продуктами питания; деятельность ветра носит таким образом по существу удобряющий характер.

В то время как более значительные пылинки с уменьшением скорости движения быстро опускаются и осаждаются на землю, тончайшие массы пыли продолжают подолгу парить в атмосфере; они проникают даже через закрытые окна, через щели в дверях и оконных рамах во внутренние помещения зданий и отлагают в них пыль. Обычно мы не замечаем этих мельчайших пылинок, но если в темное помещение падают яркие лучи солнца, тогда они становятся видимыми. Часть пыли происходит из мирового пространства; она доставляется разрушенными и распыленными метеоритами, проникающими в большом количестве в атмосферу нашей планеты. Наибольшую же часть пыли представляет земная пыль, образовавшаяся при вы-

ветривании горных пород, при разложении и размельчении животных и растительных остатков, при раздроблении каменных глыб во время перемещения их силами ветра, ледников, волн и проточных вод, а также и из продуктов извержения вулканов. Мельчайшие пылинки пепла, выброшенные во время извержений исландских вулканов на огромные высоты, достигавшие 20—80 *км*, неоднократно вызывали в Германии появление так называемого «высотного дыма», а пыль ужасного извержения вулкана Кракатау в августе 1883 г. вызывала видимые в течение ряда лет великолепные сумеречные явления в большей части северного полушария. Тончайшая пыль

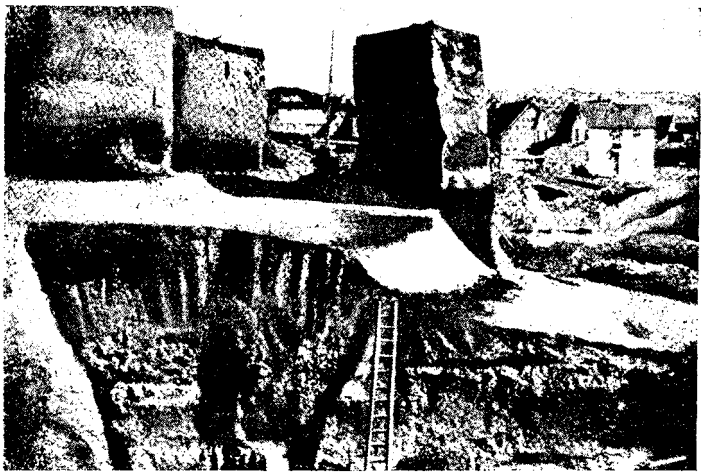


Рис. 54. Лёсс (около Штейнхейма в Германии); характерны большая мощность, однородность и устойчивость вертикальных стен лёсса.

Сахары, окрашенная железными рудами в красноватый цвет, осаждается нередко в Альпах и в Германии в виде кровяных дождей и красного снега и дала повод для возникновения ряда самых странных предположений. Таким образом иногда отлагаются значительные количества пыли на материках, часть же ее падает в водоемы и опускается на их дно, образуя отложения ила и тонких глин.

Отложение пыли из воздуха представляет в значительной своей части также *лёсс*. Он характеризуется то горохово-желтой, то белой окраской, мелкозернистостью, вскипанием под действием соляной кислоты (вследствие доходящего до 30% содержания извести), большой рыхлостью и в связи с нею проницаемостью для воды, воздуха и корней растений; лёсс мучнист на ощупь и характерен отсутствием пластичности, вертикальной отдельностью и значительной стойкостью. Соответственно со своим образованием он состоит из мелких, угловатых или слегка округленных зерен кварца, слюды, полевого шпата, обволакиваемых тонкими известковыми пленками. Такой тонкой известковой коркой покрыты также многочисленные полые трубочки, прорезающие лёсс в вертикальном направлении и способствующие легкому отделению его по вертикальным трещинам и

устойчивости вертикальных стен (рис. 54). Пористое строение лёсса, поскольку оно не является первоначальным, основано на отмирании корней и трав степей, в которых лёсс отлагался, ибо растительная жизнь является обязательной предпосылкой для закрепления развеянной ветром, постепенно опускающейся на землю и накопляющейся тончайшей пыли; растительный слой растет по мере накопления лёсса в вышину, выпуская все новые и новые корни, листья и стебли. Таким образом, повидимому, и образуются вышеупомянутые кишкообразные вертикальные каналы в лёссе. В других случаях вода и воздух, выделяющиеся при уплотнении первоначального чрезвычайно рыхлого отложения, могут образовать полые проходы, проникая через лёсс по линии наименьшего сопротивления. Эти приблизительно вертикальные полости вызывают вертикальную отдельность лёсса, при постепенном уплотнении первоначально почти рыхлой массы; при осаждении рыхлой массы лежащие друг на друге частицы уплотняются под действием силы тяжести больше, чем рядом лежащие, почему и образуются напряжения более сильные в вертикальном, чем в горизонтальном направлении, которые в дальнейшем и образуют приблизительно вертикальные плоскости меньшего сцепления.

Лёссовые отложения образуют очень плодородные почвы. В некоторых областях Китая и Ср. Азии, например, где и поныне продолжается образование лёсса и где он достигает иногда мощности во много десятков метров, почва почти не нуждается в удобрениях.

Из числа технических свойств лёсса следует в первую очередь отметить его легкую обрабатываемость, соответствующую приблизительно второй степени обычной шкалы; лёсс отделяется кайлом с широким лезвеем, или же при помощи мотыги или заступа. Всякие выемочные работы (штольни, выемки, канавы и т. п.) подвигаются в нем поэтому чрезвычайно быстро. Это качество соблазняло китайцев уже тысячелетия тому назад строить в нем пещеры и облегчало также виноградарям (Ваграм, окрестности Вены) сооружение погребов. Состав лёсса из мельчайших пылинок затрудняет сообщение в лёссовых областях; при сухой погоде путник идет по глубокой пыли, в дождливую же погоду погрязает в бездонную грязь. Стойкость лёсса в сухом состоянии велика, оставаясь удовлетворительной и в мокром, однако не всегда; повидимому, лёсс чисто эолового происхождения при смачивании расползается, а водного происхождения, отмученный, перемытый — более устойчив. Вопрос этот, как и самое происхождение лёсса, еще спорный, но весьма важен для всякого и особенно гидротехнического строительства в Ср. Азии и на Украине. Устойчивость лёсса теряется под влиянием длительного хождения по нему, что наблюдается на дорогах, в окопах, на тропинках; лёсс превращается при этом в пластичную, склонную к оползанию и осадке лёссовую глину.

Способность лёсса пропускать воздух делает жилища в лёссе, а также и лёссовые погреба здоровыми. Лёссовые стены быстро впитывают нездоровые и неприятные испарения и отводят их. Лёссовые жилища летом прохладны, зимой остаются теплыми и не отсыревают в течение всего года. Форма лёссовой пещеры во многих местах могла подать мысль изобретателям полуциркульных и цилиндрических сво-

дов. Водопроницаемость лёсса придает его областям отпечаток бедности водой и нередко заставляет земледельца прибегать к искусственному орошению своих полей. Постоянно текущие источники и родники появляются лишь в тех местах лёсса, где на дне оврагов обнажаются либо плохо проницаемые слои стяжений известковых мергелей, либо же коренные породы. Над такими более или менее запруживающими прослойками и над непроницаемой подстилающей лёсс породой происходит также движение грунтовых вод. Лишь на их уровне можно рассчитывать на воду при рытье колодцев, глубина которых зависит от мощности лёсса, который необходимо пройти совершенно, если стремиться иметь постоянно некоторое количество воды. Свойство лёсса отделяться по почти вертикальным стенам способствует быстрому росту оврагов и усиливает подрывающую деятельность воды в изгибах ручьев и рек. Лёссовые долины, через которые лишь по временам протекают воды, оканчиваются поэтому котловинами с возвышающимися над ними крутыми стенами; в котловины эти часто впадают прорытые подземными потоками каналы, кровля которых обрушивается сначала воронкообразными обвалами, в дальнейшем же полностью. При этом местами остатки старой лёссовой кровли остаются в течение известного времени стоять, перекидываясь в виде моста через лёссовый овраг. Таким образом начало оврага или долины постепенно перемещается выше вверх по течению (см. также § 40 о четвертичных отложениях).

Дюны. В народном хозяйстве значительную роль играет также и другая форма эоловых отложений, а именно *дюны.* Этим названием в общем обозначают холмы, образованные нанесенным ветрами песком (летучим песком). Дюны принимают часто грандиозный масштаб в пустынных областях *(барханы)* и на пологих морских берегах.

Прибой волны на пологий морской берег всегда несет с собой немного песка, который отлагается в конце своего движения вглубь берега в виде низкого возвышения таким образом, что песчаные отложения каждой отдельной волны резко выделяются. Постоянно обмываемая и затрагиваемая волнами полоса поэтому постепенно возвышается и превращается в береговой вал, высотою в 2—3 *дм.* Нанесенный морской волной песок, представляющий в качестве свежего отложения голое и лишенное растительности образование, при известных условиях становится легкой добычей ветра: для этого песок не должен содержать ни глины, ни пыли, присутствие мельчайших глинистых частиц придало бы ему в мокром состоянии вязкие свойства, а при высыхании он превратился бы в более или менее связанную и неподвижную массу. Далее чрезвычайно облегчает работу ветра некоторая средняя величина зерна, около 0,1 и 0,3—0,4 *мм.* Более крупнозернистый песок приводится в движение лишь сильными бурями, более же мелкий долго сохраняет влагу и сопротивляется в таком сыром состоянии действию ветра.

В ряду мелких песчаных образований наиболее бросаются в глаза мелкие песчаные косы и песчаная рябь. Первые представляют собою низкие выпуклые песчаные полосы, образующиеся с подветренной стороны камня, выброшенного морем полена или какого-либо кустика. За более высокими препятствиями образуются менее вытянутые в длину, но более мощные кучи, холмики песка. Песчаной *рябью*

называются параллельные, переходящие волнообразно друг в друга полосы, расположенные поперек направления образовавшего их течения (рис. 55 и 56).

Более крупными песчаными отложениями являются дугообразные материковые (в отличие от обычных прибрежных) дюны, *барханы*, подковообразные холмы которых обращены спиной к ветру, между тем их языкообразные концы направлены по ветру. Они движутся со скоростью от нескольких сантиметров до нескольких метров в день, причем движение происходит путем сдувания песка с наветренного склона и переброски на подветренный: такая перемещающаяся дюна обнаруживает поэтому всегда слоистость, параллельную подветренной стороне. Так как подветренная сторона защищена от преобладающих в данной местности ветров, она имеет значительно более крутые склоны (в среднем в 25—35°), в то время как наветренная сторона, подвергаемая воздействию ветров, более полога (угол отлогости в среднем от 3 до 10°).

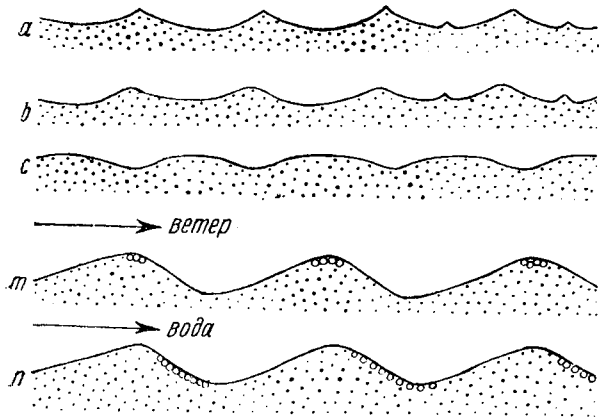


Рис. 55. Образование ряби водой и ветром.

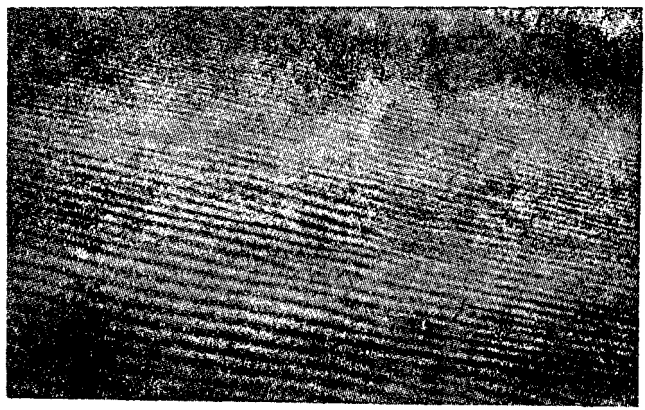


Рис. 56. Рябь на песке.

Большие дугообразные дюны, закончившие уже давно свое перемещение, встречаются на берегах Северного моря. Огромные дугообразные барханы, известны в пустынях Азии; они описаны русскими исследователями И. Мушкетовым, В. Обручевым и шведом Свеном Гедин. Дугообразные дюны можно считать основной формой всех дюнных образований, образовавшихся поперек направления ветра; путем сопоставления их рядом и вслед друг за другом образуются вытянутые в длину дюнные полосы в виде цепи, состоящей из целого ряда звеньев — одиночных дюн. Наряду с описанными поперечными к направлению ветра дюнами, в некоторых областях Индии и внутренней Азии встречаются также и продольные дюны,

оси которых совпадают с направлением господствующих ветров; в них различие между наветренной и подветренной сторонами отпадает, и их бока падают поэтому по отношению к гребню дюн с обеих сторон под приблизительно равным углом.

Вред, приносимый подвижным дюнным песком пахотной земле и селениям человека, а также и всякого рода путям сообщения, издавна заставил изыскивать средства, дающие возможность остановить это движение и превратить движущиеся дюны в мертвые. Из накопленного опыта и чисто теоретических соображений с течением времени образовалась целая отрасль инженерных знаний, ставящая себе задачей борьбу с движением дюн и называемая в связи с этой своей задачей дюнным строительством.

Строительные средства и материалы дюнного строительства в соответствии с необыкновенными его задачами довольно своеобразны. Чтобы предупредить развевание песка, угрожаемые площади перекрываются ветвями сосны и других хвойных деревьев, морскими водорослями, вереском и т. п. Для подобных целей служат и стоячие покрытия или насаждения; они представляют низкие заборы или изгороди, сооружённые из соснового или иного хвороста, и устанавливаются рядами с промежутками в 2—4 *м*; эти изгороди распределяются с таким расчетом, что одна группа рядов расположена по направлению наиболее опасных ветров, другая перпендикулярно к нему, а третья и четвертая пересекают первые две по диагонали. Но мертвое лежачее или стоячее покрытие имеет целью предохранять песок от действий ветра лишь временно, в то время как образующееся на спокойном песке живое покрытие из мхов, лишаев и трав и искусственное насаждение на поверхности песка растений должно взять на себя задачу окончательного закрепления песков, дабы образовать дюнную защиту к тому времени, когда мертвые строительные материалы уже начинают сдавать. Поэтому при применении мертвых строительных материалов необходимо обратить серьезнейшее внимание и на одновременное использование живых насаждений. Из ряда закрепляющих пески растений особенно полезен песчаный овес (Ammophila arenaria), густо растущие стебельки и листья которого оказывают ветру сильное сопротивление, препятствуя таким образом развеванию песка и служа одновременно его уловителем; в последнем случае овес стремится не быть засыпанным, разветвляя и удлиняя свои стебли. Береговая пшеница (Triticum junceum) прорастает в песке в виде длинных ползучих корней, от почек которых вверх ответвляются длинные отвесные стебли. Таким способом береговая пшеница одновременно и закрепляет, и задерживает песок. Подобную им деятельность проявляет и дикая рожь, называемая также колосняком или волоснецом (Elymus arenarius). Наряду с ними применяется также и длинностебельчатая смолистая песчаная осина (Carex arenaria). Эти растения пересаживаются из специальных питомников или из мест их естественного нахождения в течение от сентября и до мая. Само насаждение происходит весной или осенью при помощи обыкновенного сажального кола; в каждую сажальную ямку сажаются 5—10 растений, которые плотно забиваются после насаждения. Отдельные кустики располагаются рядами в шахматном порядке. В некоторых местностях травы насаждаются в клиновид-

ных, открытых специальным заступом, сплошных бороздах, покрывающих сеткой с петлями размером в 2 *м* всю подлежащую закреплению площадь.

Предохранительный песочно-травяной покров оправдывается лишь в том случае, если он от хождения людей или скота не подвергается повреждениям, влекущим за собой в течение времени большие или меньшие сдувания песков. Постоянное закрепление песков может быть достигнуто лишь искусственным облесением, для которого создание травяного покрова является первым условием. Для облесения дюн наиболее пригодна горная сосна (Pinus montana), кусты которой расползаются, прижимаясь к почве, и распространяют над ней свои сучья и ветви. Для сырых, мокрых впадин рекомендуется насаждение черной ольхи (Alnus glutinosa), соединяющей вязкость и сопротивляемость ветру и песку с сравнительной скоростью роста и хорошим содействующим образованию перегноя, листопадом. С черной сосной (Pinus laricio var. austiaca) также проделаны удачные опыты, хотя она и отстает в смысле приспособляемости от горной сосны. Менее пригодна обыкновенная сосна (Pinus silvestriis), более чувствительная в отношении ветра и не покрывающая в достаточной мере, в качестве светолюбивой породы, почвы. Из числа лиственных деревьев в более сырых местах насаждается и береза (Betula verrucosa) в большинстве в смеси с черной ольхой. Разновидности сосны Picea excelsa (красная сосна) и Picea alba (белая сосна) произрастают только в более защищенных местах и на лучших почвах. На материковых летучих песках обычно насаждают невзыскательную, накапливающую азот, глубококоренящуюся и великолепно связывающую почву белую акацию (Robinia pseudaccacia).

Наиболее совершенно была разработана методика закрепления песков Палецким и Андросовым на Средне-Азиатской ж. д. (песчаный музей в Ашхабаде); там применяется последовательное засаждение рядом растений, специально подобранных, из которых главное значение имеют Amodendron, Calligonum, Astragalus и особенно Haloxylon. Amodendron — саксаул.

Искусственное накопление более значительных количеств песка достигается сооружением кустарниковых или ловильных изгородей, редко превышающих 0,7 *м* над землей. Из различных испытанных конструкций наиболее целесообразной оказался решетчатый, неподдающийся изгибу забор.

Менее выгодно действие крепкой, плотной изгороди без существенных промежутков или решетчатой, но эластичной изгороди.

Живые изгороди применяются, главным образом, для создания передовых дюн, т. е. низких следующих береговой границе валов, улавливающих приносимый морем песок при самом его отложении. Там, где отсутствуют естественные передовые дюны, они должны быть созданы искусственным путем. Очертание такой искусственной передовой дюны должно быть, по возможности, мягким; выдающиеся углы и входящие изгибы подвергаются особо сильным нападениям ветра и поэтому, по возможности, надлежит обходиться без них. Они также не должны подходить слишком близко к береговой линии, ибо постоянное обмывание подошвы их морской волной отражается вредно на их прочности; в общем рекомендуется располагать подно-

жие передовой дюны метрах в 12 от воды. Высота передовой дюны берется из такого расчета, чтобы наиболее сильный подъем воды не переходил своими волнами через гребень дюны. Устройство передовой дюны состоит в сооружении на месте желательного будущего гребня ее двух ловильных изгородей на расстоянии 2 *м* одна от другой; изгороди эти быстро заносятся песком; на образовавшемся гребне насаждают две живые изгороди, которые вновь заносятся песком. Осенью того же года приступают к закреплению нанесенного песка при помощи травяных насаждений, более широких в сторону моря, чем в сторону суши. Действие улавливающих песок трав с самого начала усиливается со стороны моря и в особенности со стороны наветренного склона более густой растительностью. На второй год травонасаждение расширяется с подветренной стороны метра на два, а со стороны моря вчетверо, после чего в конце второго года устройство передовой дюны может считаться законченным.

Дальнейшие мероприятия ограничиваются преимущественно сохранением сильной растительности передовой дюны; повреждения, произведенные размыванием или выдуванием, должны устраняться немедленно, погибшие растения заменяться свежими. Главным образом должно заботиться, чтобы раз происшедшее повреждение не разрослось до крупных размеров.

После сооружения передовой дюны прекращается дальнейший нанос песка к песчаным дюнам и холмам, лежащим в глубине берега, и можно приступать под защитой передовой дюны к закреплению перемещающихся дюн. При этом в первую голову нужно стремиться округлить острые ребра и перегибы и заполнить глубокие выдувные котловины и овраги, после чего уже приступают к травонасаждению и облесению, пользуясь вышеуказанными приемами.

Снежные наносы. Подобно песку ветер часто приводит в движение и снег, отлагая его в спокойных местах; такие снежные заносы (метели) часто затрудняют работу техника, руководящего постройкой и эксплоатацией путей сообщения, особенно в наших условиях.

Снег может быть развеваем ветром либо во время падения, или сейчас же после него, либо же вне зависимости от снегопада через некоторое время после своего отложения. Условием для перемещения снежных масс является их кристаллическое, легкое и сухое, в крайнем случае порошкообразное строение; в таком случае снежинки, паря и порхая свободно, следуют всякому более значительному воздушному течению. В дорожных выемках происходит вследствие внезапного расширения сечения уменьшение скорости движения нижних слоев воздуха, заставляющее часть переносимых ветром снежинок опускаться и осаждаться. Таким образом вся выемка, начиная с наветренной стороны, может постепенно быть занесенной снегом до верху. На насыпях по той же причине происходит накопление снега на гребне насыпи. Предохранительные против снежных заносов меры имеют целью либо перенести снег через охраняемую полосу, либо заставить его опуститься и осесть, не доходя до нее. В первом случае склоны выемки по возможности делаются пологими, а верхнее строение железной дороги или проезжая часть колесной располагаются по возможности выше самой глубокой точки выемки. В последнем случае помогают живые изгороди и лесные охранитель-

ные полосы, насаждаемые с обеих сторон дорожного сооружения, расширение выемок, насыпка с наветренной стороны возможно крутых земляных валов и постоянные или по мере надобности переставляемые заборы или снеговые щиты.

§ 28. Геологическая деятельность льда

Вода проявляет в твердом состоянии, как в виде снега, так и в виде льда, определенную геологическую деятельность, результаты которой весьма значительны и сложны. Снег и лед легче воды. Свежевыпавший порошкообразный снег обладает плотностью в 0,03, снег хлопьями — около 0,08 — 0,15.

Деятельность снега

Если снежный покров после длительного лежания растаивает, то он оставляет не только влажность, но и темный остаток грязи и земли. Внимательному наблюдателю не приходится удивляться такому явлению; поверхность снега, если на нее смотреть издалека, кажется ослепляюще белой, но если приблизиться к снежной массе, то ясно видно, сколь большие количества грязи и пыли захвачены хлопьями снега из воздуха; к ним присоединяются также органические волокна, осенние листья ближайших кустов и лесов, копоть и пр. Не без основания поэтому крестьяне говорят, что «снег удобряет». Но и в другом отношении снег — во всяком случае в горах — действует на перемещение и накопление обломков горных пород. Круто залегающий снег облегчает скатывание щебня, уменьшая трение его и сглаживая неровности поверхностей склонов. Поэтому у подножия крутых склонов часто встречаются обломочные или щебенные гряды, образовывающиеся только благодаря сильно наклонным снежным полям. Многие горные луга Альп из года в год обнаруживают постоянное уменьшение пастбищной площади вследствие засыпания или скатывающимися с снежных полей обломками.

На высоких горах всегда имеется некоторая линия или вернее широкая полоса, выше которой снегу больше выпадает, чем тает. Этот пояс называется *снеговой линией*. Обычно отличают истинную (климатическую) снеговую линию от случайной или условной (орографической). Первая обозначает низший край пологих, открытых светлых пространств, заключающих в себе отдельные темные пятна земли в виде островов, в остальном же покрытых снегом. Условной же снеговой линией обозначается линия, соединяющая низшие края имеющихся постоянных снеговых пятен и полей; очертание их обусловливается положением, рельефом и породой подпочвы; охраняющим от растаивания образом действуют в особенности тенистые низины, а также ниши скалистых гор.

К числу наиболее важных для горного жителя явлений геологической деятельности снега принадлежат снеговые обвалы или оползни или *лавины*. Первопричиной их является сила тяжести, стремящаяся увлечь выпавший на наклонные поверхности снег в глубину, в то время как трение его о подстилающую массу стремится удержать снеговые массы на месте.

При всяком обвале целесообразно отличать сборную область питания, с которой снег начинает движение, от местности, на которой массы вновь попадают в спокойное положение и отлагаются (лавинный конус). Между ними находится в большинстве случаев длинная, более или менее круто падающая полоса, лавинный путь (или область стока), вдоль которого и происходит катящееся, низвергающееся движение лавины.

Чрезвычайный вред, наносимый лавинами, заставил человека искать путей и средств к их обезвреженью. Туземцы умеют отличать области стоков падающих один или несколько раз в год лавин от таких, по которым низвержение лавин происходит через более значительные промежутки времени; наряду с этим наблюдаются также и снеговые обвалы в местах, считавшихся безопасными; последние называются случайными. Мероприятия против лавин могут опираться на точное знание и изучение постоянных и случайных областей стока; наилучшей основой для этого могут считаться так называемые лавинные карты, составленные австрийскими и итальянскими войсками во время мировой войны; примененные при этом условные знаки могут послужить образцом для составления карт, долженствующих точно отражать условия падения лавин в определенном районе.

Человек по возможности должен стремиться избегать встречи с лавиной, перехитрить и отвести ее. Возводимые с такой точки зрения сооружения имеют целью либо защиту от уже находящейся в движении лавины — лавинные защитные сооружения, либо же полное недопущение самого образования их — лавинные заграждения или плотины.

К защитным сооружениям принадлежат защитные кровли (галлереи), позволяющие снегу без вреда перекатываться через охраняемые пути сообщения. Они сооружаются из дерева, железа, или камня; важно, чтобы они по возможности совпадали с областью стока лавины. Бо́льшую безопасность обеспечивают значительно более дорогие туннели.

В пределах лесной зоны высокоствольный здоровый лес наиболее действительно препятствует падению лавин; там, где его нет, он должен быть создан искусственными насаждениями. Пока же он вырастет, необходимо обеспечить безопасность от снеговых обвалов чисто строительными мероприятиями; последние в то же время являются и единственным средством в области, лежащей выше границы лесов. Там, где снег начинает скользить вдоль крутых и гладких поверхностей, лавинные заграждения должны иметь в виду в первую очередь превращение склона в террасы, вследствие чего мощный, сильно давящий на подошву пласт снега расчленяется на целый ряд мелких, узких полос и полей, легче сохраняющих свое равновесие; для этой цели служат расположенные в шахматном порядке и следующие горизонталям низкие плетеные изгороди или каменные стены из сухой кладки. Забивкой торчащих из земли не более чем на 1 м кольев, кусков рельс, столбиков стараются увеличить трение снега и придать ему на склонах необходимую связь с почвой; угловатые колья действуют лучше, чем круглые, особенно если они забиваются широкой стороной поперек склона. Проволочные сети, высотою

около 1 *м*, установленные в несколько рядов, вполне оправдали в некоторых местностях свое назначение. В местах, где выдающиеся скалы содействуют образованию снежных наносов, могущих, в свою очередь, вызвать образование лавин, существенную помощь может оказать отделение и откалывание этих скал путем взрывных работ; на более широких гребнях образование снеговых навесов может быть предупреждено сооружением изгородей или стенок, или в крайнем случае замощенных земляных валов.

В остальном человек в горах должен строить свое хозяйство с таким расчетом, чтобы никакие его мероприятия, даже в ущерб временной выгоде, не могли бы повлечь за собой будущий, вызванный падением лавин, ущерб. Стремления сохранить в горах лес являются в то же время предохранительными мерами против лавин. Особенно должно предостерегать перед производством крупных порубок, обнажающих местность на протяжении обширных площадей; на крутых склонах допустимы лишь совсем незначительные сплошные вырубки или же выборная вырубка с естественным омоложением леса; там, где грозит опасность падения лавин, надлежит при рубке оставлять пни высотою в 1—½ *м*.

Деятельность льда

Лед проявляет значительную геологическую деятельность при ледоходе в реках северных широт и в ледниках на склонах и в долинах высокогорий и полярных областей. Толщина ледяного покрова рек и озер в северных областях СССР достигает 1 и даже 2 *м*. Кроме поверхности водоемов и рек, лед образуется и на дне их. Такой лед называется *донным льдом* и причиняет часто большие осложнения судоходству, гидроустановкам, шлюзам, водопроводам и пр., а потому требует особого внимания со стороны техников (о почвенном льде см. § 4).

Ледяные массы, плывущие по рекам, часто задерживаются на отмелях и других мелких местах и запирают торможением и нагромождением напирающих сверху льдин весь проток во всю его ширину. Образуется ледяной затор. При этом льдины, останавливающиеся все выше и выше по течению, не только покрывают всю поверхность реки, но глыбы льда продвигаются также под верхний ледяной покров, утолщая его, суживая одновременно сечение русла рек и тормозя тем самым сток воды. Если одновременно с этим в бассейне реки происходит сильное таяние или даже начинаются дожди, то вода за ледяными заторами поднимается постепенно выше и выше и вызывает опасные предвесенние наводнения, затопляющие более низменные береговые участки и наносящие на них ил; иногда же от такого затора может измениться руслю реки.

Но наиболее значительные геологические изменения происходят под действием льда *глетчеров* или *ледников*.

Как известно, при подъеме температура воздуха понижается на каждые 100 *м* в среднем на 0,5° Ц (см. § 5). Начиная от некоторой, определяемой климатическими и местными условиями, границы («снеговой линии», см. выше), уменьшившаяся теплота воздуха не будет в состоянии уничтожать полностью зимний снег. На таких высотах по-

этому вечный снег будет покрывать те поверхности, на которых вследствие их отлогости он вообще может отлагаться. В особенности снег накопляется в нишах и углублениях высоких гор, куда он наносится лавинами, а также обвевающими вершины ветрами и метелями. С течением времени все формы высоких гор должны бы таким образом быть похороненными под собственным снегом, если бы снежные массы не скатывались вниз. По существу название «снега» к этим массам больше не применимо, потому что они подверглись во время долголетнего залегания значительным изменениям.

Лежащий долгое время снег все более и более оседает под давлением собственного веса и веса все вновь прибывающих масс снега; он становится плотнее и тяжелее; при этом этот горный снег сначала мучнист, сух и обладает ослепительно белым цветом. Плотность его колеблется около 0,6. Постоянное давление и повторяющееся замерзание и оттаивание уплотняют зернистый снег или *фирн* все более и более; просачивающаяся в глубину вода вытесняет воздушные пузырьки полостей и все более заполняет поры снега. В более глубоких слоях замерзание преобладает и превращает проникшую туда воду в лед; из фирнового снега образуется фирновый лед, своего рода ледяной песчаник, состоящий из сцементированных льдом фирновых зерен. Если к давлению налегающих пластов, переменному замерзанию и таянию присоединяется еще и сильное внутреннее движение, то воздух все более вытесняется из тонких пор фирнового льда и объединяется в малочисленных, резко выделяющихся пузырьках; цементирующее свойство исчезает, и вся масса состоит из плотно прилегающих, неравных по величине, твердых ледяных зерен, наибольшие из которых постоянно увеличиваются за счет меньших. Так образуется покрытый сетью волосных трещин ледниковый (глетчерный) лед, плотность которого, в зависимости от содержания воздуха, колеблется от 0,87 до 0,99, и диаметр зерен которого достигает 12 *см*.

В небольших нишах и впадинах высокогорий образуются таким образом круто падающие, сравнительно короткие *висячие ледники*: если же более значительные накопления ледникового льда проникают в долину, то они образуют *долинные ледники*, характеризуемые большей длиной (в Альпах до 20 *км*, в Тянь-Шане и Памире до 80 *км*) и менее значительным уклоном (рис. 57).

Каждое отдельное зерно ледникового льда спускается с места первоначального отложения вниз в долину, растаивая в конечном итоге на самом конце ледника. Поэтому каждый ледник можно разделить на две части: на часть, в которой снеговая и ледяная масса ледника все время возрастает, несмотря на таяние — (область питания), и на часть, в которой таяние количественно превышает годичный прирост снега — (область стока). Выпадающий на вершинах снежный покров достигает мощности 14—17 *м*, а по сокращении и уплотнении образует около 1,8—2,2 *м* фирнового льда.

Таяние происходит под влиянием солнечной теплоты, более значительной на больших высотах над уровнем моря, чем в равнине. Еще более ускоряют таяние фирнового льда восходящие теплые ветры (как например *фен*) и теплота атмосферы вообще и особенно теплые летние дожди. То обстоятельство, что вытекающий из ледникового грота ледниковый ручей никогда, даже зимой, не иссякает, доказывает лишь,

что таяние не прекращается и зимой: поскольку ледниковые ручьи собирают всю воду, получающуюся от таяния льда, и поскольку зимой не происходит поверхностного таяния, вода, вытекающая из-под ледникового слоя, может появляться лишь вследствие внутреннего таяния, происходящего под действием снизу более теплой земли.

Талая вода образует на поверхности ледника борозды и желоба, наполняющиеся днем стекающей влагой, ночью же пустые и сухие, и образует «ледниковые столы» (рис. 58). Местами вода с шумом и



Рис. 57. Алматинский ледник в хребте Заилийский Алатау. Сев. Тянь-Шань.

брызгами исчезает в трещинах; если струя ее попадает на скалистое ложе ледника, она образует кругловатые горшкообразные углубления, так называемые ледниковые мельницы, *исполинские котлы*. Явление это встречается вообще повсюду, где вода течет с большой стремительностью или перекатывается через скалистые пороги. На дне образовавшихся таким образом углублений нередко встречаются круглые сильно обтертые камни, вращательному движению которых и необходимо главным образом приписать расточку указанных котлов.

Учение о движении ледников мало разработано. Установленным может лишь считаться, что движущей силой является сила тяжести, т. е. все та же сила, которая приводит в движение лавины и не позволяет останавливаться проточной воде рек и ручьев. Скорость поступательного движения ледников в различных местах сечения очень разнообразна; в этом отношении наблюдаются условия, во многом почти аналогичные внутренним условиям перемещения масс проточных вод.

Будучи телом жестким, лед не выдерживает нагрузки на разрыв. Где только, вследствие различных скоростей, возникают разрываю-

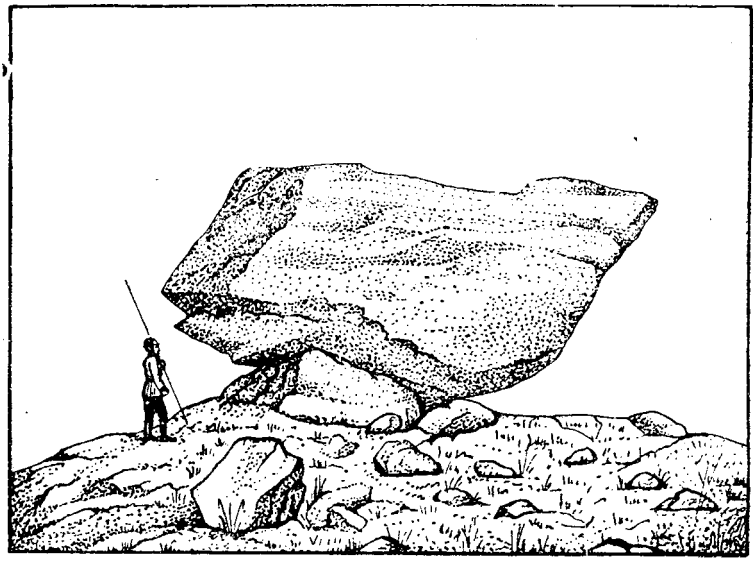


Рис. 58. Ледниковый стол.

щие усилия, они скоро выявляются открытием трещин, проходящих перпендикулярно к направлению разрывающего усилия. Вскрытие трещин сопровождается, как общее правило, выстрелообразным хлопанием, ударом или резким треском (рис. 59).



Рис. 59. Поперечные и краевые трещины долинного ледника.

Далеко не вся поверхность высоких гор, лежащая выше снеговой линии, покрыта вечным снегом и льдом. Все скалы, крутизна склонов которых не позволяет снегу залеживаться, выдаются голыми скалистыми вершинами или выступами и повержены силам выветривания. Все обломки, образующиеся под действием выветривания из возвышающихся над снеговыми полями и ледниками скал, спадают на движущуюся в долину ледниковую массу и переносятся ею дальше; с того времени, когда они попали на поверхность ледника, они получают название ледниковых или *моренных* валунов. Выветривание происходит и под льдом, и ледник переносит с собой также и обломки, отделившиеся от подстилающих его пород.

Кроме перенесения подобранных валунов, ледник переносит также и обломки, оторванные им самим. С первого взгляда можно было бы

предположить, что такое мягкое и хрупкое вещество, как лед, не в состоянии разрушать твердых горных пород. Но разрушение это станет вполне понятным, если иметь в виду, что в ледниковом льду закреплено большое количество угловатых, твердых обломков, валунов, щебня, песчаных зерен и т. п. В действительности выпахивающая деятельность ледникового льда обнаруживается в многочисленных местах, в которых отступившая масса льда обнажила скалистое ложе. Ледник отшлифовывает выступающие края и углы своего ложа и округляет резко выступающие неровности. Поэтому скалистые поверхности нередко обнаруживают борозды и царапины, вытянутые по направлению движения ледников, и как бы выглаженные поверхности скал. Такие ледниковые штрихи особенно часто встречаются на небольших полого возвышающихся куполовидных вершинах, так называемых *бараньих лбах*, передняя сторона которых изборождена и отшлифована, в то время как тыльная сторона круто падает и обнаруживает неровные плоскости выветривания и обламывания. Выравнивая и шлифуя подстилающий массив, ледник выламывает различной величины глыбы из его разрыхленной выветриванием и давлением тяжелого ледникового покрова массы.

Обломки, щебень, попавшие вследствие каменных обвалов, лавин и т. п. на поверхность ледника, накапливаются на краях ледяного покрова и переносятся в долину в качестве *боковых морен;* там, где из двух ледников образуется один сложный, две внутренних боковых морены соединяются и образуют одну *срединную морену.* При повторном соединении нескольких ледниковых рукавов образуются несколько срединных морен, количество которых всегда на единицу меньше количества образовавших сложный ледник потоков. Все переносимые на поверхности ледника валуны и обломки объединяются сборным наименованием *поверхностных* или *верхних морен;* они распознаются по неровной поверхности и более или менее сохранившейся остроребернности их составных частей.

Противоположностью для них являются, с одной стороны, *нижние* и *внутренние морены,* а с другой — ложные верхние морены.

Обломки и щебень нижних морен различного происхождения. Отчасти они появились с поверхности ледника, откуда по трещинам, ледниковым мельницам или же путем медленного опускания через самый лед попали на дно ледника; остальная же их часть, по количеству преобладающая, происходит из пород ледникового ложа. При перенесении вдоль по дну ледника каменные глыбы сильно трутся друг о друга и о подстилающие ледник породы, постепенно округляются, сглаживаются и местами растираются в тончайший ил; поднятый талой водой, этот ил выносится ледниковым ручьем в виде ледниковой мути (муки) в равнины.

Диаметр зерен размолотой ледниками каменной муки и процентное содержание их приведены в таблице на стр. 149.

Ил Мурского ледника в Аляске содержит также до 16½% коллоидальных частиц. На поверхности отшлифованных ледником валунов встречается большое количество царапин и мелких бороздок — так называемые *ледниковые штрихи;* штрихи являются желанным и верным признаком при определении принадлежности камней к нижним моренам и ледниковым отложениям вообще (рис. 60).

	Проба		
	№ 1	№ 2	№ 3
	в процентах		
Зерна диаметром 2—0,2 *мм* (песок) .	0,16	2,80	5,46
„ „ 0,2—0,02 *мм* (песок)	22,34	43,99	65,96
„ „ 0,02—0,002 *мм* (пыль)	74,01	31,53	24,72
„ „ менее 0,002 *мм* (ил) .	3,49	16,68	3,68

Подобно тому как обломки горных пород могут опуститься с поверхности ледника на его дно, случается иногда, при удачном стечении обстоятельств, что составные части нижней морены могут подняться с ледниковой подошвы в высшие слои ледниковой массы. Они образуют так называемые *внутренние морены*, вмерзшие параллельными слоистости ледника полосами и состоящие почти исключительно из округленных валунов и мелких составных частей. Слои внутренних морен, выходящие при оттаивании ледникового языка на его поверхность, образуют ложные поверхностные морены, отличаясь от настоящих верхних морен своим составом из округленных отшлифованных валунов.

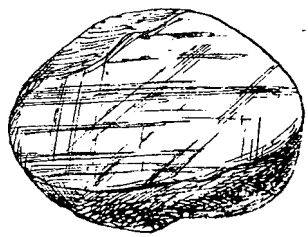


Рис. 60. Ледниковый валун со шрамами.

Поскольку морены движутся вместе с массой ледника, их обычно в совокупности называют моренами перемещаемыми, в отличие от образовавшихся при отступании ледника отложенных морен, или морен нагромождения. Всякий, кто знаком с ледниками по собственному опыту, знает, что язык их никогда не стоит спокойно на месте, а находится в вечном движении, то наступая вниз в сторону долины, то отступая в направлении области питания. Наряду с такими, повторяющимися в одинаковом направлении, — по расчетам Брюкнера через каждые 35 лет, — незначительными колебаниями, известны также и большие ледниковые наступания и отступания; наиболее грандиозные имели место уже в течение «новой истории» Земли, во время так называемой *ледниковой эпохи*, относящейся к четвертичному периоду (см. § 40). Там, где конец ледника в течение некоторого времени оставался более или менее постоянным, обломки и горный щебень накапливались в особенно значительном количестве. Таким образом на конце ледников образовались так называемые *конечные морены*, часто составляющие огромные валы как из угловатых, так и округленных валунов вместе с незначительным количеством мелких частиц (рис. 61).

Часть морены, лежащую непосредственно перед оконечностью ледника, противопоставляют в качестве передовой морены береговым или боковым моренам, отлагаемым по продольным краям ледяного потока. В соответствии с этим береговые морены расположены приблизительно параллельно бывшему боковому краю ледника и долинной оси, между тем как передовая морена перекидывается с одного бока

долины на другой более или менее изогнутой открытой кверху дугой. Остающаяся при таянии льда на месте нижняя морена покрывает покинутую льдом почву в виде более или менее мощной *основной* или *поддонной морены;* она характерна богатым содержанием штрихованных и шлифованных валунов, покрытых, как общее правило, глинистой, мелкозернисто-связующей промежуточной массой.

Воздействие ледников на их ложе подверглось со стороны отдельных исследователей различному толкованию. Большое число хороших знатоков ледников придают стачивающей, выпахивающей и



Рис. 61. Поверхность одной из морен области древнего северного оледенения.

стругающей деятельности льда большое значение. По их мнению, U-образные сечения долин ледниковых областей являются результатом работы льда, углубившего к тому же главные долины в бо́льшей мере, чем боковые долины; такое переуглубление главных долин заставляет проточные воды боковых долин спускаться водопадами на дно главных и т. п. Стачивающей деятельности ледникового языка приписывают также и образование впадины, в которой залегает язык. Вследствие бороздящей деятельности менее значительных висячих ледников образовались, по их мнению, также нишеобразные углубления, встречающиеся в боках высокогорных гребней и вершин и называемые *карами*; на их дне, огражденном обыкновенно крутыми скалами, часто встречаются маленькие горные озера (каровые озера); часто такие каровые впадины лежат одна над другой, отделенные крутыми скалистыми ступенями, которые образуют каровые террасы или лестницы.

Ряд других исследователей, наоборот, признает за ледниками меньшее значение в отношении углубления впадин. По мнению этой группы, «*троговое*» или *корытообразное строение долин* в ледниковых областях является отрицательной формой рельефа, не вырезанной целиком в скалистой толще, а представляющей особый вид долин, происшедший вследствие того, что у подножия крутых скалистых стен

постепенно образовывались сравнивающиеся с подошвой долины, осыпи щебня и наносы (рис. 62).[1]

Во время работ (разработка штолен и т. п.) в ледниковом льду с успехом применяются наряду с обыкновенным кайлом для твердого льда также кирки и мотыги для мягкого фирнового льда. В последнем случае успех работы вообще незначителен, потому что при каждом ударе льда отделяется не больше, чем охватывает лезвие мо-

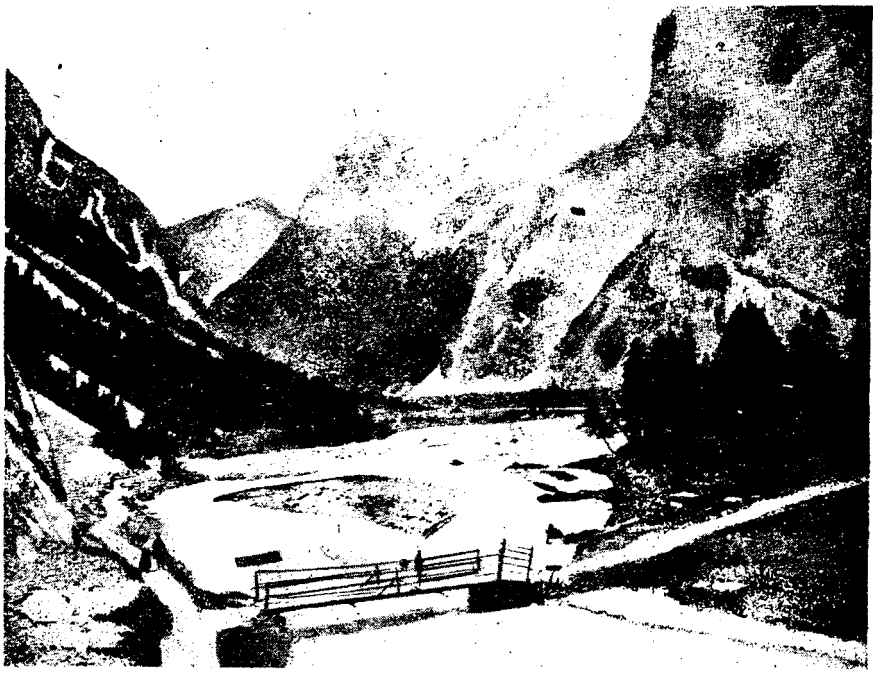


Рис. 62. Корытообразная, выработанная ледником альпийская долина (р. Кандер), заносимая блуждающей по ее широкому дну рекой. Белым крестиком показано место катастрофы Лечбергского туннеля (см. рис. 140).

тыги, между тем как от твердого льда при ударе откалываются более значительные куски. Ледниковые ручьи доставляют для каменных работ на больших высотах в большинстве удобоприменимый песок; если его не имеется в достаточном количестве в виде песчаных отмелей, то он может быть быстро накоплен специально для этой цели сооружаемыми ловильными плотинами. Щебень для бетонных работ всегда может быть добыт из русла ручьев в достаточном количестве.

Роль морен в строительном отношении самая разнообразная. Молодые, недавно отложенные конечные морены имеют вследствие своих

[1] Этот вопрос, кроме теоретического, имеет большой практический интерес, так как при проведении всяких дорог и каналов вдоль долин важно знать их коренной поперечный профиль и толщу наносов. Таким образом спорная «проблема трога» должна быть знакома инженерам.

рыхлых свойств, неравномерный состав (большие скалистые глыбы, щебень, песок и тончайший ил) и, вследствие обусловленной этим незначительной стойкости, представляют весьма ненадежный строительный грунт; по тем же причинам подземные работы могут быть осуществляемы в свеже отложенных моренах лишь с значительными затруднениями. Такие отложения ледниковых валунов и щебня еще и потому обманчивы, что заключают нередко в своих недрах более или менее значительные остатки льда, тающие вследствие незначительного притока воздуха лишь очень медленно и вызывающие опускание почвы; незаметное при поверхностном наблюдении опускание причиняет, по истечении нескольких месяцев, нередко существенный вред дорожным сооружениям и всякого рода постройкам (§ 10).

Надежным строительным грунтом моренная область может считаться лишь в том случае, если на ее поверхности образовался сплошной растительный покров без всяких признаков трещин, могущих указать на происходящее оседание почвы. В таких отложенных моренах инженера нередко будет интересовать вопрос об их водопроницаемости; это касается не только конечных морен, замыкающих кары, озера коих предположено использовать для гидросиловых установок, но иногда и моренных дуг в долинных равнинах, составляющих часть ограды бассейнов накопления. В этом отношении может быть установлено правило, что морены малых каровых озер, сложенные гравием и рыхлыми нагромождениями, водопроницаемы; поэтому поднятие уровня каровых озер возможно лишь в том случае, если берега состоят преимущественно из коренной водонепроницаемой скалы, отдельные отверстия в которой без особого труда могут быть заделаны искусственно. В отличие от них морены из валунной глины лишь маловодопроницаемы, в особенности если они содержат достаточное количество мелких составных частей; в таких случаях можно судить об их водопроницаемости лишь на основании исследования состава морен в пробных шурфах и выемках.

Кроме того, инженеру приходится иногда принимать предохранительные меры против разрушительных прорывов озер, образованных наступающими ледниками. Известен вред, неоднократно приносившийся Рофенским ледниковым озером в Вентской долине (Тироль), начиная с 1601 г. Наступающий ледник время от времени запирал выход из простирающейся к нему под прямым углом Рофенской долины, и запруженная вода, образуя глубокое озеро, затем прорывалась с повышением давления внезапно и катастрофически. Подобные же условия в северной Индии в некоторые годы прекращают сообщение по определенным дорогам.

Такие же прорывы озера, образовавшегося временно у Юбельтальского ледника, неоднократно подвергали впадающую у Штерцинга Марейтерскую долину наводнениям и другим разрушениям; для предупреждения таких несчастий здесь была возведена плотина высотою в 10 *м*.

Всеми уже признана как необходимость и постепенно ныне вводится *регистрация современных ледников*, съемка их, измерение скорости движения, установка контрольных знаков для уяснения режима и другие простые работы, имеющие значение, конечно, лишь при

одновременно ведущихся метеорологических наблюдениях. [1] Помимо пожелания расширения всего этого, следует подчеркнуть необходимость централизации всех работ, планомерности их и особых тщательных *наблюдений над количеством выпадающих в горах снегов* и характером таяния их. Несмотря на многочисленные разногласия по этому вопросу, значение снежных зим для суждения о состоянии льдов весьма велико, если не решающе. *Оледенение, вероятно, и было результатом снежных периодов,* а не понижения температуры. [2] Одновременно важны наблюдения над *отмершими ледниками,* утратившими связь с фирном.

Изучая режим рек, предназначенных для орошения Ср. Азии и Кавказа, в особенности же тех, в которых предположено сооружение плотин и водохранилищ, необходимо детально освоиться с их профилями продольным и поперечным, а также с количеством, составом и расположением рыхлых материалов, заполняющих их русла. Путем бурений необходимо будет установить, что такое *трог* в поперечнике, — *U* или трапеция; причем, исходя из того или иного результата, легко будет уже предсказывать толщину наносов в разных местах, и вероятно глубину нахождения коренных пород. *Ступенчато лежащие на ригелях котловины,* часто заполненные озерами, и подобные же уступы боковых «подвешенных» долин невольно намечаются *водохранилищами,* но тут обязательно придется вскрывать (бурением) истинную природу уступов — сложены ли они коренными породами или моренами. Кроме этого, придется разрешить задачу — не есть ли такой уступ просто обвал, нередко обрушивающий именно крутые троговые склоны, особенно в сейсмических областях. В обоих случаях — морены или обвала — характер подпора будет менее надежный; кроме того, плотность и состав плотин моренной и обвальной также различны, наконец, доказательство сейсмического происхождения обвала может указать и вообще на сейсмическую необеспеченность места для возведения искусственного сооружения, особенно если эти данные совпадут с данными тектоническими и стратиграфическими. Подобные случаи наблюдались в Ср. Азии нередко; недавно, например, еще произошло такое явление крупного порядка — Усойский обвал *на Памире,* давший озеро в 26 *км* длиной при 1½ *км* ширины и до 250 *м* глубины. Вопрос о прочности завала, насущный для населения, вызвал сильное разногласие, и пришлось снарядить экспедицию для установления того, что было причиной и следствием — землетрясение или обвал. Одновременно с изучением уступов, будет узнан и *характер каньонов,* эпигенетических ущелий, их прорывающих, которые окажутся весьма удобным местом гидроэлектрических установок. Изучение же верхнего уступа, на котором еще лежит ледник, и проникновение под конец последнего даст много ценного для познания хода ледниковой эрозии, оказывающей также немалую услугу своим свойством расщеплять породы, вскрывать их слабые места.

---

[1] В СССР общее руководство такими наблюдениями даст Ледниковая комиссия Гос. географического общества (Ленинград).

[2] Отложения, оставленные большим оледенением сев. Европы и Сев. Америки, называются вообще дилювиальными и относятся к четвертичным, о которых подробнее см. § 40.

Установление продольной ступенчатости долин, ригелей дает освещение характеру деятельности рек как в смысле познания участков размыва и отложения, так и в отношении *наблюдений над боковыми конусами* выносов. Эти конусы, являясь функциями ледникового профиля, в настоящее время отчасти управляют режимом рек. Типы их являются хорошим показателем стадии эрозии реки, режим же их регулирует снабжение реки аллювием.

Значительная часть поверхности СССР покрыта ледниковыми отложениями, иногда совершенно скрывающими коренные породы (рис. 63). Мощность ледниковых отложений в средней части РСФСР,

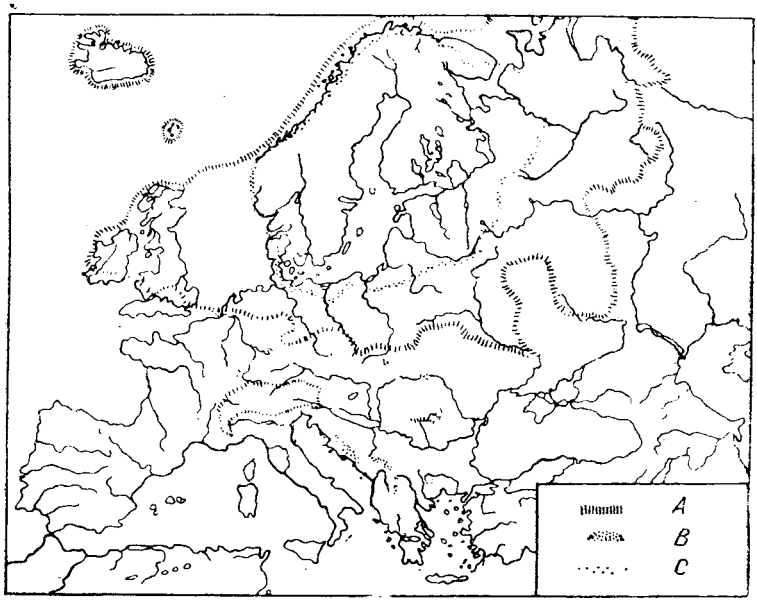


Рис. 63. Область четвертичного оледенения Европы. Линия *A* — наибольшее его распространение; линия *C* — последняя стадия.

например в бассейнах верховий рек Волги и Западной Двины, достигает до 30 и более метров; на Северо-германской низменности мощность их нередко достигает 50 и более метров. Следовательно, ледниковые отложения являются на обширнейших пространствах материалом, определяющим как характер *почв, так и верхние водоносные* горизонты; на пространствах, измеряемых сотнями квадратных километров, эти отложения служат часто единственным источником строительных материалов.

Поэтому необходимо остановиться на значении ледниковых отложений при инженерных работах.

1. Водоносными горизонтами в области развития ледниковых отложений повсюду являются флювио-гляциальные песчанистые слои (нижневалунные пески средней части РСФСР, Q_1a геологической карты СССР), если они залегают на более или менее водонепроницаемых породах.

Наиболее развитый член серии наших ледниковых отложений, моренная глина в ее неизменном состоянии (Q_1b), представляет

породу водонепроницаемую, определяющую, следовательно, верхний водоносный горизонт грунтовых вод, если она покрыта песчанистыми разностями серии (Q_1c). Сочетание этих трех членов серии, а местами и возможное присутствие моренной глины объясняет различные случаи в инженерной практике.

2. При расценке земляных работ даже общее знакомство с геологией ледниковых отложений может предохранить от грубых ошибок и неожиданностей. Случаи плывучих грунтов в выемках в средней части РСФСР могут зависеть в области ледниковых отложений исключительно от выхода нижневалунных песков. Количество воды, подаваемой этим горизонтом, существенно зависит от природы подлежащих образований; например, в верховьях рек Волги и Западной Двины такими породами местами являются известняки (каменноугольные и девонские), и воды, циркулирующие по ним (в этом случае уже артезианские), могут получить исток по водопроницаемым пескам. Насколько нам известно, при постройке железнодорожной линии Бологое—Полоцк выемки коснулись плывунов при таких условиях только в бассейне реки Кочи (к юго-западу от города Осташкова). Для оценки значения плывуна необходимо принять во внимание распространение водоносного горизонта и его питание. Более серьезные затруднения инженер может встретить при прохождении насыпями болот. Необходимо иметь в виду, что ложем болот могут быть как моренные глины, так и пески ледникового происхождения. Устойчивость насыпи зависит от мощности болотных отложений, постепенно выдавливаемых тяжестью насыпи, и также от условий питания болота водою. Конечно, нельзя предвидеть мощности этих отложений, руководствуясь только размерами болота; не всегда и бурение только в нескольких местах может дать ясное представление о мощности и распространенности болотных отложений; следовательно, каждая лишняя буровая скважина может иметь большое значение при исследовании грунта под насыпями. Питание болота, помимо высокого уровня грунтовой воды, часто происходит за счет вод нижневалунных песков. Последний случай может быть наиболее опасным для насыпи, так как ее нагрузка по мере ее возрастания может только усиливать хотя бы ничтожное перемещение плывунов этого горизонта и вызывать расстройство уже готовой насыпи. Повидимому, такие условия имеют место в большинстве случаев непрерывного оседания насыпей, не поддающегося исправлению никакой подсыпкой материала. Вероятно этот случай представляет насыпь около ст. Сокольники на Ленинград-Витебской железной дороге. Теоретически можно предвидеть, что, по мере увеличения нагрузки, в слабом месте оседание может только увеличиваться, а не прекратиться; борьба с природой может оказаться технике не под силу, раз нарушены условия естественного равновесия плывучего горизонта. [1]

---

[1] Многочисленные данные о водоносности и распределении ледниковых отложений на пространстве Европейской части СССР имеются в трудах С. Н. Никитина: Бассейн Днепра — 1896 г. и Бассейн Волги — 1889 г., в трудах Экспедиции для исследования истоков главных рек Европейской России. Техникам очень полезно знакомство и с другими трудами того же автора: Бассейн Оки — 1894 г. и Бассейн Сызрани — 1898 г., в которых собраны обильные гидрологические материалы.

В области ледниковых отложений, при пересечении насыпями болот и озер, необходимо остерегаться, чтобы не принять крупных валунов за прочный грунт; если под валунной глиной залегают нижние пески, имеющие близко выход на поверхность или на дно болот, озер и рек, движение насыпи может быть очень значительным.

3. На Северо-германской низменности, где имеются многие тысячи километров шоссейных дорог, снабжение их материалом для шоссировки пути представляет весьма серьезный вопрос. Главным источником такого материала служат, конечно, морены эпохи великого оледенения Земли. Во многих местах эти морены (типа нагроможденных камней или полей валунов) систематически разрабатываются на валуны. Часто возникают вопросы о запасах валунного материала в определенной местности. На основании точного геологического изучения серии ледниковых отложений и пробных буровых скважин определяются площади и объем содержащих валуны образований. Затем пробными выемками или определением количества валунов на горизонтальной поверхности и по вертикальному разрезу вычисляют количество кубических метров морены, заключающих один кубический метр валунов, т. е. определяют так называемый коэфициент полезного материала. Для строителей дорог такие вычисления представляют насущную потребность. Само собой разумеется, если и не такие точные вычисления, то хотя бы примерная расценка возможного каменного материала не на глаз, а на основании некоторых геологических соображений, крайне желательна и при постройке железных дорог у нас в области развития ледниковых отложений, где каменный материал приобретает особенную ценность. Известны случаи неприятного разочарования строителей, положившихся только на показания пробных шурфов. При проектировании больших выемок в ледниковых отложениях, даже при неравномерном содержании валунов в моренной глине, можно заранее подсчитать приблизительное количество возможного каменного материала, а следовательно также и материала на насыпь; могут оказаться полезными и сведения о действительно полученном каменном материале из отдельных выемок. Ясное представление о том, что такое конечная морена, может при случае дать необходимое указание, куда направить поиски за необходимым материалом. Все это, повидимому, очень просто и при кажущемся обилии валунного материала, повидимому, лишне, а в действительности все такие соображения могут сохранить не один десяток тысяч народных средств.

4. Наконец, при таких крупных сооружениях, как мосты, ясное представление о валунной глине и песчаных ледниковых образованиях может дать инженеру много детальных практических указаний как при предварительном бурении, так и при выемке котлованов.

§ 29. Смывание (геологическая деятельность дождевой и просачивающейся воды)

Деятельность дождевой воды слагается из деятельности механической и химической.

Если поверхность имеет некоторый уклон, то собирающаяся на ней и стекающая с нее дождевая вода смывает мельчайшие частицы по-

верхности земной коры и отлагает их дальше в различных углублениях. Эта смывающая деятельность дождевой воды в обильных дождями областях играет не маловажную роль. Смывание возрастает, как это доказано опытами Вольного, с увеличением уклона и уменьшается в зависимости от плотности растительного покрова; за время с апреля по октябрь было смыто с каждого квадратного метра:

	Поверхность, покрытая травой			Обнаженная поверхность		
Уклон местности	10°	20°	30°	10°	20°	30°
Граммов почвы	14	42	51	834	1368	3104

Результаты опытов достаточно убедительны; они доказывают, насколько полезен древний обычай горных жителей, хлебопашцев в Европе, свозить весною смытую с крутых склонов пашни мелкую пахотную землю на более высокие места.

Смыванием дождем мелких частиц объясняется также помутнение и грязная окраска высоких (вешних) вод рек и ручьев. Склоны дорожных выемок и т. п. в рыхлых грунтах обнаруживают суживающиеся кверху столбики, вершина которых прикрыта камешками, кусочками коры и т. п.; незащищенная же почва, залегавшая между этими, прикрытыми такими охраняющими покровами, участками, смыта и унесена дождевой водой. На более обширных голых поверхностях встречаются более заметные борозды, канавки и желоба, пролегающие приблизительно по направлению наибольшего уклона местности; степень углубления борозд, образующих ниже более значительные водомоины, может служить мерилом для силы смывания. Картина таким образом изборожденных крутых и голых склонов из рыхлых масс изображает в малом виде речные сети.

Подобные же борозды и желоба вымываются стекающей дождевой водой и в крутых, мало расчлененных скалистых склонах, преимущественно в более мягких, легко растворимых породах, как то: в гипсе, известняке, доломите и др., но присущи они также песчаникам и гранитам; их можно наблюдать и на поверхности открыто лежащих глыб известняка. Более глубокими следствиями смывания являются *карровые* рытвины, часто встречающиеся в безглинистых или бедных глиной известняковых областях. Растворением известняка образуются довольно глубокие, похожие на небольшие ущелья, борозды, между которыми остаются стоять острые ребра. На дне их, как общее правило, осаждаются остатки разложения известняка, окрашенные в зависимости от примесей в желтоватый или красноватый цвет; в последнем случае они называются *красноземом* (terra rossa). Направление рытвин совпадает с направлением наибольшей крутизны; часто рытвины разветвляются или соединяются. При образовании рытвин механическое действие стекающей через скалистые поверхности талой снеговой и дождевой воды играет лишь второстепенную роль, уступая главную растворяющей деятельности.

Растворяющее действие просачивающихся осадков заметно также и на скалистых подпочвах. Наиболее легко растворяется каменная соль; при нормальной температуре вода растворяет до 35% каменной соли, поэтому залежи последней сохраняются лишь там, где они за-

щищены от вымывания непроницаемым слоем глины. Сравнительно легко растворяются в воде также гипс и ангидрит, причем одна часть гипса растворяется в 380—480 частях воды, а одна часть ангидрита — в 500—550 частях воды. Поэтому в гипсовых районах часто встречаются *пещеры* и другие подземные полости, образующие путем обвала вышележащей толщи на земной поверхности воронкообразные углубления, так называемые *гипсовые воронки;* явления, сопровождающие их образование, называются также *провалами* (рис. 64).

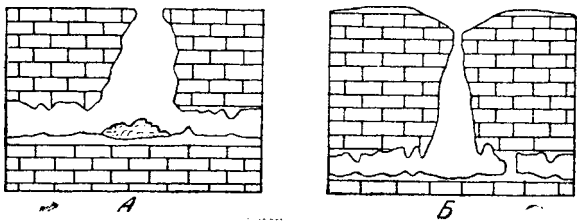


Рис. 64. Образование воронок и провалов: *А* — обвалом кровли пещеры; *Б* — растворением при карстовом процессе.

Труднее растворяются известняк и доломит; при нормальной температуре и нормальном давлении 10 000 частей содержащей углекислоту воды растворяют в среднем 10 частей известняка и около 3 частей доломита. Углекислота дождевой и снежной талой воды происходит частью из атмосферного воздуха, частью же из почвенного воздуха; последний содержит в общем около 0,3% углекислоты, т. е. раз в 10 больше, чем атмосферный воздух, что объясняется большим ее удельным весом, превышающим плотность воздуха, а также и целым рядом других причин.

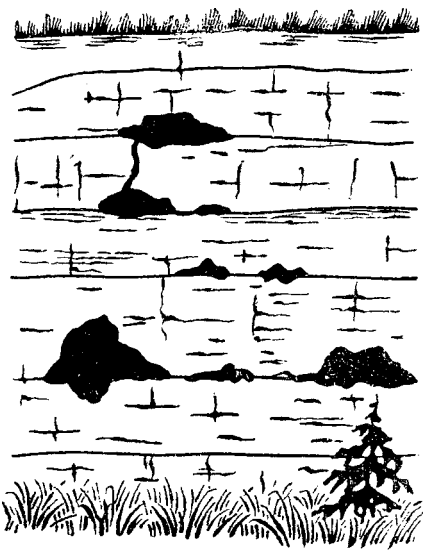


Рис. 65. Карстовые пустоты разобщенные.

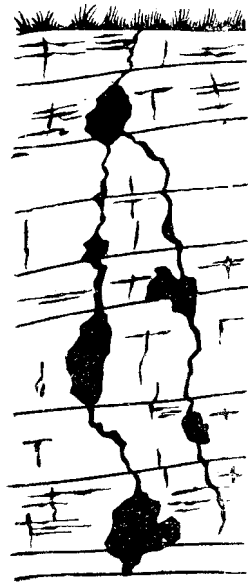


Рис. 66. Карстовые пустоты соединяющиеся.

Вследствие выщелачивания известняков и доломитов образуются так называемые геологические «органы», естественные шахты и колодцы. Первые представляют небольшие изогнутые, неправильно иду-

щие в глубину, полости, на дне, а иногда почти и до верху наполненные горным щебнем. Более значительные по размерам, местами разветвляющиеся, сужающиеся или расширяющиеся, более или менее отвесные углубления называются естественными шахтами (рис. 65, 66 и 67). Гипсовым воронкам вполне соответствуют известковые воронки, мульды или ванны, обозначаемые также южнославянским термином *доллина*, встречаемые в большом количестве на поверхности крымской Яйлы и других известняковых массивов (рис. 68, 69, 70, 71 и 72). Диаметр их колеблется от нескольких и до ста и более метров; они образуются как от поверхностного вымывания, так очень часто и от обвала кровли подземных

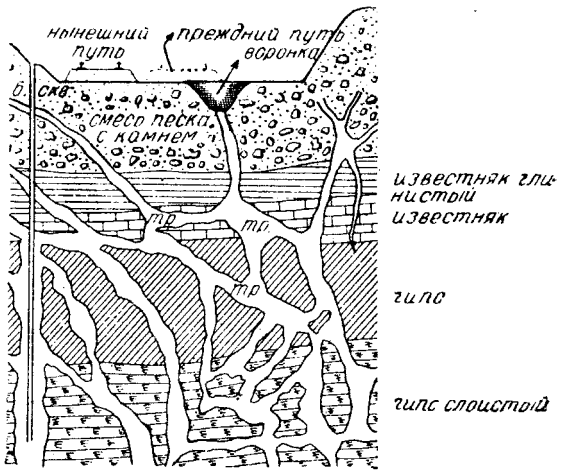


Рис. 67. Карст под железнодорожным путем.

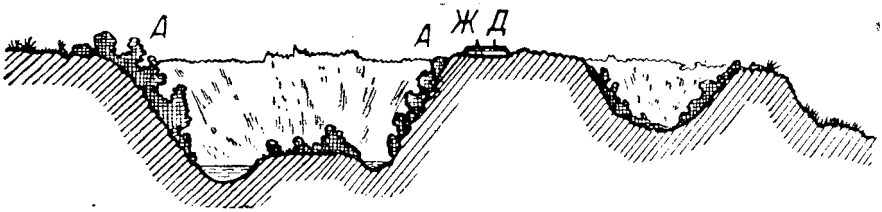


Рис. 68. Заросшие полевые воронки.

выщелоченных водой полостей, нередко вызванных трещинами. На дне известковых ванн и воронок часто встречаются обезвоживающие

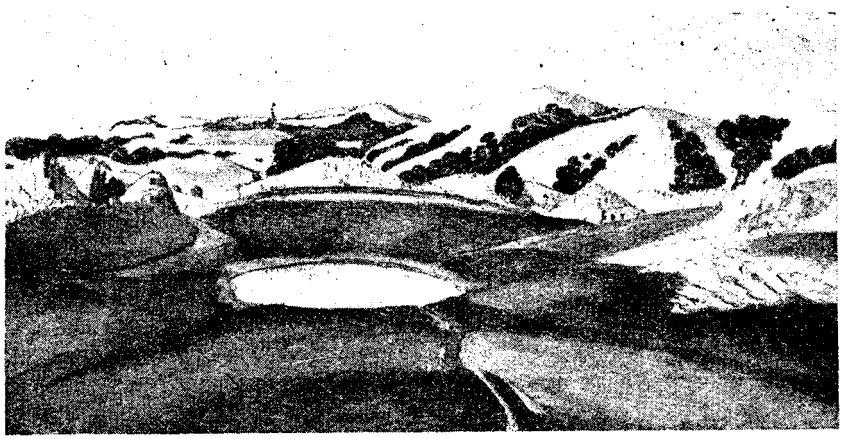


Рис. 69. Карстовое озерко на Яйле (Крым).

путем отвода воды вглубь земли по трещинам и каналам углубления— *поноры;* если углубления содержат небольшие водные бассейны, то такие поноры препятствуют подъему воды выше определенного уровня. Часто прямо напрашивается использовать близ- и вышележащие известковые ванны, уже содержащие незначительные естественные водные бассейны, в качестве питательных водоемов для гидросиловых установок; но таким сооружениям должно обязательно предпослать подробнейшее геологическое обследование местности, главным образом в отношении ее водопроницаемости; в общем такие известковые воронки, даже если их дно покрыто глинистыми остатками разложения известковых пород, в верхних своих частях чрезвычайно ненадежны и почти всегда водопроницаемы.

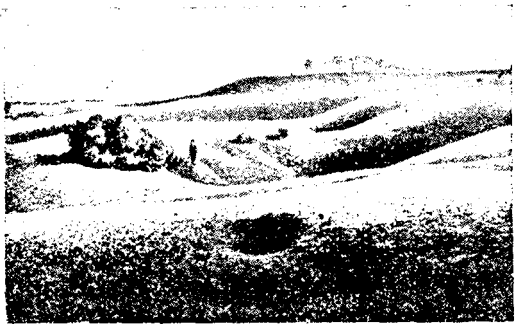


Рис. 70. Гипсовые воронки.

Сами *пещеры,* вызывающие нередко обвалом кровли образование естественных колодцев, происходят от вымывания. Если они расположены не слишком глубоко, то нередко случается, что обвал их кровли, распространяясь, доходит до земной поверхности, образуя здесь вышеописанные углубленные формы; поэтому линия воронок часто указывает на направление, в котором пролегает серия пещер. Пещеры часто меняют свое поперечное сечение.



Рис. 71. Гипсовые воронки с озерами.

При разработке штольни или туннеля инженер должен избегать пород, прорезанных многочисленными полостями, ибо проходка больших пещер и т. п. всегда влечет за собой осложнение постройки и увеличение расходов, а кроме того можно встретить неожиданно большое скопление вод.

В связи с тем, что всякого рода явления вымывания (ванны, воронки, долины, пещеры и т. п.) особенно часто встречаются в Карсте (провинция б. Австрии, ныне Юго-Славии), формы эти называются общим наименованием *карстовых образований* и представляют много затруднений железнодорожным строительству и эксплоатации (рис. 73, 74 и 75).

Вымывающей деятельности дождевой воды может быть противопоставлена отлагающая или выделяющая ее деятельность, проявляе-

мая ею в недрах земли при просачивании; при испарении или выделении углекислоты вода отлагает или осаждает растворенные ею вещества (рис. 76). Известны образующиеся в пещерах осадки известкового шпата. Если с кровли падают отдельные капли воды, то образуются натечные столбообразной формы сосульки, в середине пустотелые, по которым стекала насыщенная известью вода; если они растут от пола вверх, то называются *сталагмитами*, если же они свисают с потолка — *сталактитами*.



Рис. 72. Шоссе среди провалов.

Выделения, отлагающиеся в более мелких полостях, в большинстве своем состоят из соединений, выщелоченных из смежных горных пород и осаждающихся на стенах полостей. Если таким путем в породе выкристаллизовываются группы кристаллов, то их называют *друзами*. Эти образования называются миндалинами или *жеодами*, если они

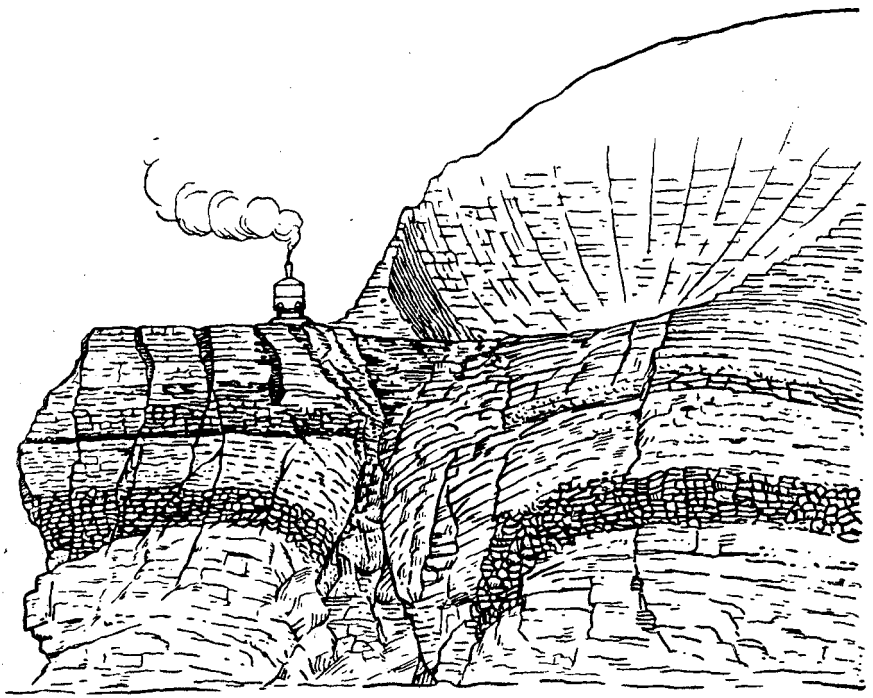


Рис. 73. Одна из карстовых воронок Самаро-Златоустовской жел. дор.

заполняют круглые полости, и *жилами*, если они заполняют трещиновидные полости. Все такие выделения для техника всегда представляют нарушение желательной однородности материала и являются поэтому мешающим фактором как при постройках, так и в случае другого применения содержащей их породы.

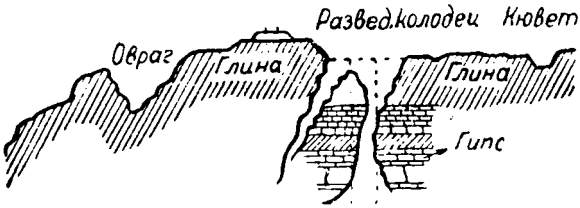


Рис. 74. Железная дорога среди воронок (см. рис. 73).

§ 30. Подземные воды и источники

Понятие «подземных вод» обнимает совокупность всей образующейся или находящейся под земной поверхностью влаги.

Вода может находиться в почве в трех состояниях: твердом, жидком и газообразном, и, кроме того, в химически связанном виде.

Воду в твердом состоянии в виде льда мы можем наблюдать в верхних слоях земной коры.

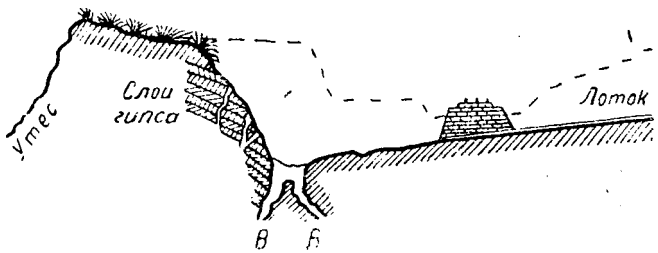


Рис. 75. Образование воронки в выемке вследствие скопления вод, неправильно спущенных лотком.

Жидкая вода встречается в почве в двояком виде: как капиллярная влага — в виде бесконечно тонкого покровного слоя на стенках мельчайших трещин горных пород до некоторой определенной глубины и затем как капельно-жидкая влага — в виде грунтовых вод, подземных источников, рек и озер. Различие между той и другой состоит в том, что капельно-жидкая влага совершенно наполняет пустоты горных пород, образуя иногда огромные подземные водовместилища, а капиллярная — покрывает лишь их стенки в виде легкого неощутимого налета.



Рис. 76. Отложения извести на внутренней поверхности водопроводных труб, сокращающие постепенно их поперечное сечение, нарушая водоснабжение.

Имеются две теории происхождения подземных вод, которые могут быть кратко обозначены как 1) инфильтрационная теория и 2) конденсационная теория.

Инфильтрационная теория принимает, что вся совокупность подземных вод происходит от атмосферных осадков, проникающих в почву, питающих и пополняющих подземные воды.

Атмосферные осадки — в виде дождя, росы, снега, града или инея — выпадают на материках крайне неравномерно. С достаточной степенью точности можно принять, что на земном шаре в среднем за год выпадает осадков 850 *мм*. Но такое среднее годовое количество атмосферных осадков наблюдается редко. Вообще же оно резко колеблется по отдельным странам, и в этом отношении наблюдаются все переходы, начиная с пустынь, где дождя надо ждать годами, например на Суэцком перешейке выпадает осадков 30 *мм*, и кончая такими уголками земли, как Чаррапунджа в Ассаме, где за год выпадает до 12 000 *мм* осадков; величина последней цифры объясняется действием юго-западного муссона, достигающего Гималаев. Даже в пределах Европы замечаются очень крупные различия; в юго-восточной части СССР, к северу от Кавказа и в области Каспийского моря, осадков имеется всего лишь 110—120 *мм*, между тем как в некоторых местностях Западной Европы, где сказывается влияние Гольфштрема, например в горах Шотландии или в Севеннах, количество осадков доходит до 3400 *мм* за год. Для северной Германии количество осадков 400—500 *мм*, для Силезии — 800—900 *мм*.

Вода, падающая на землю в виде дождя, снега, инея и росы, подвергается трояко участи: а) часть воды испаряется и возвращается обратно в атмосферу; б) другая часть стекает по земной поверхности в реки, озера и моря; в) часть воды поглощается почвой.

Когда-то думали, что на каждую из этих категорий приходится по одной трети всего количества выпадающих осадков, но это мнение неверно.

Кейльгак на основании ряда исследований полагает, что величина испарения подвержена значительным колебаниям и равняется 80% и даже более, и только 20% остается в жидком состоянии.

Предложенная Фольгером конденсационная теория принимает, что ни одна капля подземной воды не обязана своим происхождением просачиванию атмосферных осадков, и утверждает, что пополнение запасов подземной воды происходит исключительно путем конденсации водяных паров подземной атмосферы. Эта теория исходит из того общеизвестного факта, что атмосферный воздух при некоторой данной температуре может заключать лишь строго определенное количество водяных паров, увеличивающееся с повышением температуры, и что воздух не насыщенный при понижении температуры переходит в состояние насыщения и выделяет излишек водяных паров в жидком виде. Вторым основанием этой теории служит то обстоятельство, что воздух, проникая в почву, заполняет все трещины и пустоты горных пород. Но так как повышение температуры начинается лишь с известной глубины, и так как вследствие температурных и барометрических колебаний и различий по составу между наружной и подземной атмосферами происходит живой непрерывный обмен, то ясно, что теплый подземный воздух, богатый водяными парами, поднимается к поверхности и, попадая в более холодные горизонты, неминуемо должен выделить там некоторую часть водяных паров в жидком виде.

Для подземной конденсации паров воздуха, происходящей непрерывно и независимо от температурных колебаний, особенно пригодны породы мелкопористые и проницаемые.

Таким образом конденсационная теория довольно условно ищет происхождения и питания всех подземных вод исключительно в запасах, скрытых в недрах Земли.

Придерживаться какой-либо одной из этих теорий и совершенно отрицать возможность явления по доводам другой теории было бы недопустимой односторонностью.

Вопрос может итти лишь о том, чтобы определить относительное участие обоих процессов и выяснить, какой способ образования подземных вод преобладает в каждой отдельной области.

В новейшее время проф. Мейденбауер, признавая выдающееся значение конденсационной теории, сделал попытку устранить слабые стороны теории Фольгера, существование которых нельзя отрицать, следующим предположением: по его мнению, влажность воздуха обусловливается не водяными парами в собственном смысле, но так называемой паросферической влагой, частицы которой имеют парообразную форму и состоят из капельно-жидкой воды. По исследованию Асмана и др., тучи состоят именно из такой паросферической влаги с диаметром частиц от 0,02 до 0,006 *мм*. Вследствие взаимного отталкивания они висят в воздухе в свободном состоянии. Попадая с воздухом в почву, они при известном сближении этих частиц сливаются и образуют жидкую воду.

Скопление водяных шариков, по Асману, и образование влаги и жидкой воды обусловлено формой промежутков между частицами пористых тел. Связанное с переходом газа в капельно-жидкое состояние, выделение тепла уже совершилось заранее, при самом возникновении паросферической влаги, которое обусловлено охлаждением воздуха, содержащего водяные пары. Охлаждение может быть вызвано либо излучением тепла, либо встречей с более холодными воздушными слоями, которые и поглощают выделяющееся при образовании паросферической влаги тепло. Этим устраняется возражение, сделанное против теории Фольгера, об образовании подземных вод из водяных паров атмосферы.

В этом отношении весьма важной является способность породы сгущать (конденсировать) пары воды на поверхности и в порах, повышая этим запас своей естественной влажности. Это свойство гигроскопичности горной породы имеет то значение, что запас воды в породе повышается не только за счет капельно-жидкой, но и парообразной воды.

Если гигроскопичность породы выразить весом паров воды, поглощенных 100 весовыми единицами породы, то можно получить цифровые данные, приведенные на стр. 165.

Грунтовые воды

Подземные воды, заключенные между дневной поверхностью и первым водоупорным горизонтом, называются грунтовыми водами. Верхняя плоскость, ограничивающая грунтовые воды, называется уровнем или зеркалом грунтовых вод (рис. 77). Содержащие грунтовые воды слои называются *водоносным слоем* грунтовых вод, всякий же слой, замедляющий или прекращающий движение грунтовых вод — *водонепроницаемым* или водоупорным. То или иное отношение породы

Гигроскопичность горных пород

100 весовых частей породы поглотили по весу паров воды (в процентах)

Горная порода	Через сколько часов			
	12 ч.	24 ч.	36 ч.	72 ч.
Мел	0,2	0,2	0,25	0,25
Доломит	1,6	2,0	2,5	2,8
Глина	3,0	4,1	4,8	5,5
Глина, богатая гумусом	3,5	4,8	6,2	8,0
Песчаная почва, богатая гумусом	3,0	4,2	5,5	7.0

к проведению воды всецело зависит от степени ее водопроницаемости, т. е. от способности ее пропускать впитанную воду вновь в смежные с нею породы. Породы, способные впитывать в себя влагу в ограниченной степени и вследствие этого увлажняющиеся, но не способные вновь ее испускать, называются водонепроницаемыми, в противополож-

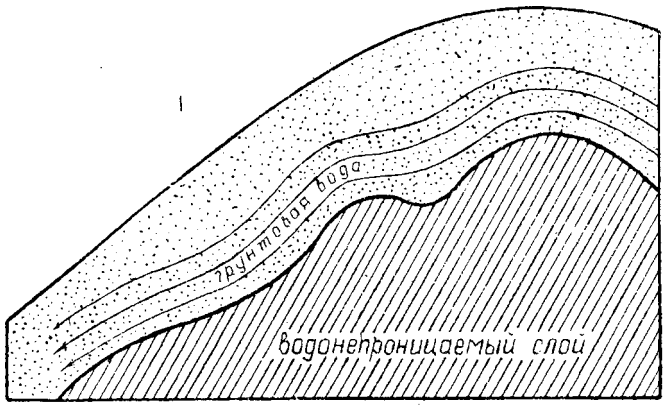


Рис. 77. Расположение горизонтов грунтовых вод.

ность породам, легко проводящим впитанную воду дальше, т. е. водопроницаемым породам.

Первоначально проницаемые слои могут путем засорения пор илом стать непроницаемыми; так например, опускающиеся на дно рек частицы ила постепенно делают дно рек непроницаемым, *заиливают* его, подобно тому как с течением времени засоряются фильтры. Образование непроницаемого дна реки может быть ускорено искусственными сооружениями, усиливающими отложение мути, но оно распространяется лишь на отдельные участки русла.

Водопроницаемость в общем зависит от величины зерен обломочных пород или размеров полостей в породах вообще. Между зернами диаметром до 0,2 *мм* грунтовые воды перемещаются еще довольно легко, но если зерна становятся более мелкими, то скорость движения

воды, а с ним и водопроницаемость быстро уменьшаются, в то время как капиллярное действие породы увеличивается.

С водопроницаемостью связана способность поры к процеживанию или фильтрованию; последнее состоит в способности водопроницаемой породы очищать мутную, невкусную и содержащую нечистоты воду, удалять из нее все вредные примеси и делать ее вполне пригодной для питья. Отдельные виды горных пород процеживают воды тем быстрее, но в то же время и тем хуже, чем больше по количеству и по объему полостей они содержат. В мелкопористой породе воде достаточно пройти небольшое расстояние в 8—10 *м*, чтобы стать чистой и свободной от вредных примесей (бактерий). В грубых песках или гравии для полного процеживания необходимо уже гораздо бо́льшее расстояние — около 100 — 500 *м*. Пословица тирольцев и жителей Ср. Азии: «Вода, протекшая через семь камней, — вновь совершенно чиста», должна, конечно, пониматься лишь картинно, ибо открытые полости, по которым протекает вода, могут воду отмутить, но не в состоянии очистить ее от вредных зародышей. Это обстоятельство должно учитываться при оценке воды скалистых источников. Наиболее хорошо процеживают глинистые породы, задерживающие при помощи адсорбционного действия своих коллоидных веществ и делающие безвредными все заразные зародыши; но в то же время фильтрование в глинах происходит столь медленно, что они практически считаются водонепроницаемыми.

Водопроницаемость пород для техника играет и в других отношениях существенную роль. Задержание воды при сооружении фундаментов, штолен или туннелей при остальных равных условиях тем труднее, чем более водопроницаемы породы; в водонепроницаемых участках, напротив, проходка сильно облегчается. Так например, сланцеватые каменноугольные глины Англии столь водонепроницаемы, что не допускают проникновение морской воды в штольни, проложенные на такой незначительной глубине под морским дном, что в них отлично слышно движение прибойных валунов. Нередко приходится уплотнять водопроницаемые породы, особенно если они проводят воду туда, куда ее проникновение по техническим соображениям нежелательно. Так например, часто заваливают глиной и утрамбовывают воронкообразные углубления, образовавшиеся вследствие обвала кровли штолен, с тем чтобы предупредить просачивание в штольни внешних вод через обвалившуюся почву. Русла ручьев, проходящие над штольнями, проложенными в водопроницаемой породе, должны на время работы либо отводиться в сторону, либо же дно их должно быть сделано водонепроницаемым путем забивки глиной, бетонирования и т. п. С другой стороны, часто может быть использовано также фильтрующее свойство горных пород путем сооружения специальных фильтрующих бассейнов, в которых воды подвергаются требуемой очистке.

Линия, соединяющая наивысшие точки уровня грунтовых вод в определенное время, называется водоразделом грунтовых вод; с нее грунтовые воды стекают в обе стороны под прямым углом. Иногда подземная вода встречается в виде нескольких, лежащих друг под другом, ярусов. Там, где грунтовая вода выступает на поверхность земли, образуется *источник* или *родник*. Если ряд источников обра-

зует некоторую линию, по которой обнажен водоносный слой, то говорят о родниковой линии.

Иногда подземная вода находится под известным давлением; в таком случае ее, в противовес грунтовой воде с свободной поверхностью, называют *несвободной, напорной водой.*

Подземные воды образуются главным образом вследствие просачивания вглубь выпадающих на поверхности осадков.

Просачивание до известной степени *обратно пропорционально стоку;* все обстоятельства, содействующие быстрому стоку воды, уменьшают просачивание, и наоборот. Незначительный уклон поверхности, рыхлость, трещиноватость горных пород, густая растительность, легкая водопроницаемость и т. п. облегчают просачивание.

На поросших травой горизонтальных площадях просачивание выражается в сотых долях количества выпадающих осадков.

Величина просачивания	В среднем %	Минимально
В песчаной или хрящеватой пахотной земле	23,5	9,6
В мергелистой почве	38,3	25.9
В супесчаной почве	41,0—60,0	37,1
В песчаной почве	83,2	—

В районах с больших количеством осадков просачивание исчислено для

Квадерного песчаника (Больцена в Чехо-Словакии) в 32,07% осадков
Каменноугольного известняка . . . . . в 33,0% „

По Зюссу, в увеличении количества подземных вод участвует до известной степени и поднимающаяся из больших глубин *ювенильная* вода, а по Геферу, также и «ископаемая» вода, заключенная в горных породах и почему-либо освобождающаяся из них.

Количество воды, могущее быть впитанным определенной породой, определяется суммой полостей (пористым объемом) породы. Сумма эта выражается в сотых долях единицы объема. Она равна для:

Крупного речного песка	14—25
Черной садовой земли	28
Разнокалиберных песчаных зерен	29
Равномерных „ „	37
Очень крупного песка с гравием	38
Мелкого щебня (диаметр 4 *см*)	36
Крупного „ („ 7 „)	37
Крупного песка („ 2 *мм*)	38
Среднего „ („ 1 „)	40
Мелкого „ („ 1/3 „)	42
Грубой темной глины	31
Тонкой серой глины	34
Черной богатой перегноем глины	37
Бурой бедной „ „	44
Плотной тяжелой глины	50
Сильно глинистой почвы	46
Бедной перегноем глинистой почвы	48
Бедного перегноем песчаного суглинка	50
Торфяного грунта	81

Уровень грунтовых вод в общем не представляет горизонтальной плоскости, а почти всегда обнаруживает некоторый уклон. Падение уровня грунтовых вод зависит от целого ряда обстоятельств; оно возрастает вблизи выхода родников, в окрестностях местных притоков

и пр., наоборот, оно уменьшается на участках, не оказывающих течению воды особого сопротивления и меняется соразмерно капиллярному влиянию различных слоев, а также в зависимости от более или менее пологого или крутого падения поверхности подстилающего водонепроницаемого слоя; ступени или террасовидные уступы последнего являются причиной образования в грунтовых водах стремнин и водопадов.

Уклон грунтовых вод изображается очертаниями особых подземных горизонталей или *гидроизогипс*. Чтобы нанести их на карту или план, необходимо точно определить уровень грунтовых вод по возможности бо́льшим количеством точек обследуемой местности. Определение это производится путем наблюдения за высотой уровня грунтовых вод в наличных колодцах или же в специально для этой цели проведенных буровых скважинах, располагаемых возможно целесообразнее по всему району. Определенные первоначально по отношению к поверхности земли глубины уровня должны быть тщательнейшим образом пронивеллированы и, по возможности, отнесены к какой-либо точке, высота коей над уровнем моря известна.

Определение глубины залегания уровня грунтовой воды в открытых неглубоких шахтных колодцах производится при помощи измерительной ленты или шеста. В более глубоких колодцах или скважинах для этой цели применяют плотничный отвес или другой удобный для этой цели тяжелый предмет, опускаемый на измерительной ленте до того момента, когда нижняя поверхность его касается поверхности воды. В не слишком глубоких колодцах или скважинах момент этот нетрудно определить при помощи зеркала, которым солнечный луч отражается на дно шахты или колодца; другим нередко применяемым вспомогательным средством для определения момента соприкосновения отвеса с поверхностью воды является так называемый водяной свисток, издающий, вследствие уплотнения воздуха наполняющей его водой, свистящий звук.

По окончании предусмотренных планом работ измерений, полученные результаты наносятся на карту местности, на которой точки равной глубины уровня грунтовой воды соединяются сплошными линиями, подобно тому как это делается при составлении плана рельефа земной поверхности при помощи горизонталей; линии эти проводятся на равном друг от друга расстоянии по глубине залегания. Выбор величины этого расстояния зависит от целей съемки, местных условий и ряда других обстоятельств; обычно гидроизотипсы располагаются на расстоянии 1—2 *м*, реже на бо́льшем, иногда же, в особенности когда на небольшой площади имеется большое количество данных измерений, и на значительно меньшем расстоянии (¼—½ *м*).

Если мощность и горизонтальное простирание водоносной породы известны, а также известна и ее водоемкость, то остается лишь определить ее сопротивление трению, чтобы установить количество воды, протекающее через водоносный слой в определенное время. Вместо того чтобы определять сопротивление трению водоносной породы, можно также для установления количества протекающей воды использовать метод измерения скорости течения подземных вод.

Для этой цели обыкновенно применяются способы окрашивания или засоления воды. В последнем случае для незасоленных вод в вы-

шележащий колодец или буровую скважину наливают крепкий раствор 100—200 *кг* поваренной соли и отмечают время, когда соленость обнаруживается в более глубоко расположенном пробном колодце. Определение ее можно произвести просто на вкус, либо же путем осаждения хлористого серебра, вызываемого вливанием разбавленного раствора ляписа ($AgNO_3$) в пробу воды; для получения более точных результатов необходимо брать целый ряд проб и через небольшие промежутки времени. Слихтер для засоления применял нашатырь (хлористый аммоний), электролитически очень активный и обладающий в то же время лишь в незначительной мере свойством диффузии. Время проникновения в пробный колодец раствора нашатыря определяется при помощи электроизмерительного прибора, так что не требуется брать пробы воды. Для этой цели в оба измерительных колодца опускаются электроды, соединенные проводником, по которому пропускается электрический ток, и наблюдают за увеличением силы тока, получающимся благодаря появлению усиливающего проводимость воды раствора нашатыря. При методе окрашивания часто применяют флюоресцин или же уранин, красящие вещества, придающие воде даже в очень разбавленном состоянии своеобразный цвет, не будучи в то же время и вредными для здоровья; но они не действительны, если окрашенная вода соприкасается с растительными остатками, глиной, кислой почвой, потому что либо разлагаются, либо задерживаются коллоидальным действием последних. В подобных случаях рекомендуется применять хлористый литий; количество последнего в 0,43 *мг* может быть определено спектроскопическим путем в 1000 *л* воды. Пробные колодцы должны точно совпадать с направлением течения грунтовых вод. Направление это лучше всего определяется при помощи карт с гидроизогипсами, которые располагаются перпендикулярно к направлению течения грунтовых вод.

Течение грунтовых вод обыкновенно очень медленное — от 1 до 8 *м* в сутки (в песках и галечниках).

Температура грунтовых вод зависит главным образом от глубин, через которые они протекают. Мелко залегающие грунтовые воды следуют тепловым колебаниям воздуха в зависимости от времени года, более же глубокие грунтовые воды обладают всегда равномерной температурой, либо приблизительно равной средней температуре соответствующей местности, либо немногим ее превышающей; первое характерно для потоков грунтовых вод на глубине 20—30 *м*, куда годовые колебания температуры уже не проникают, последнее — для еще больших глубин, в которых начинает проявляться влияние внутренней теплоты земного ядра.

В рыхлых породах грунтовая вода движется исключительно под действием силы тяжести. Поэтому она в них всецело подвержена тем же законам движения, как и вода на земной поверхности, рекам и озерам которой можно противопоставить подземные потоки и водные скопления.

Очень часто под поверхностной рекой, в ее заполненном щебнем ложе, наблюдается течение потока грунтовых вод; но нередко течение этого подводного потока имеет совершенно различное от поверхностной долины направление; в таком случае говорят о движении грунтовых вод в мертвых долинах. В таких древних, часто больших и

широких, глубоко заполненных проницаемыми отложениями бывших руслах рек, грунтовые воды стекают с боков долины к ее середине и одновременно по тальвегу сообразно с падением подошвы мертвой долины.

Такое же движение грунтовые воды обнаруживают также и в живых, т. е. и ныне проточных долинах. Здесь лишь в качестве нового фактора присоединяется часто проявляющееся взаимодействие уровней реки и грунтовых вод. Тогда уровень грунтовых вод, наиболее низкая точка которого в долинах соответствует уровню протекающего по дну долины потока, при мелководьи будет, начиная от русла реки, сначала быстро, а потом медленнее повышаться в стороны боков живой долины. Подъем этот в общем происходит тем скорее, чем уже долина. При половодьи в реке приток грунтовых вод не только прекращается, но грунтовые воды будут либо запруживаться, либо же вода из реки будет проникать в водоносный слой, увеличивая количество грунтовых вод. Быстро спадающая на поверхности, волна половодья продвитается в водоносном слое поперек простирания долины лишь очень медленно и в большинстве быстро останавливается одновременно с началом спадения высокой воды. Если река течет в русле, дно которого находится выше окружающей местности, что, например, наблюдается в реках По, Одер, недалеко от Кюстрина, в Ферзине, в городской черте Триента и во многих горных потоках, тогда непосредственное соединение речной и грунтовых вод нарушается, и последние не могут питать поверхностный поток. Речная вода также не может по бокам переходить в грунтовую, просачиваясь лишь, если дно русла не совсем водонепроницаемо, отвесно вниз; достигая таким образом уровня грунтовых вод, она содействует повышению его и может при известном стечении обстоятельств вызвать наводнение в речной долине. Известны также случаи, когда уплотненное отложениями дно реки не пропускает к грунтовым водам ни капли влаги. Самоуплотнение реками своего русла нередко предотвращает просачивание или исчезновение рек и ручьев, встречающееся у потоков с неуплотненным руслом, протекающих через обширные наносы и щебневые поля. Ряд ручьев, вытекающих из долин в низменность, исчезает бесследно в песках и щебнях равнины, а остальные теряют большую часть воды путем просачивания и питания грунтовых вод. Наиболее сильно просачивание и исчезновение потоков в известковых горах. Известно исчезновение верховьев р. Дуная в известняках Тутлингена и Мерингена, при низкой воде — всего его водяного запаса, а при половодьи — большей его части; исчезнувшие воды Дуная появляются вновь в истоке принадлежащей к бассейну Рейна р. Аах. Другой подобный случай имеет место в р. Гере ниже Вильденштейна; известковый плитняк, проходящий здесь через русло реки, поглощает реку при низкой воде почти что целиком, вплоть до немногочисленных маленьких лужиц; недалеко же от города Плауе в Тюрингии вода р. Геры вновь появляется на поверхности земли в виде сильного родника.

Лучшими примерами рек, переходящих в подземное течение, являются все потоки, выходящие из Алайского, Александровского и других хребтов в Ср. Азии и уходящие в заполненные мощными рыхлыми отложениями низины Ферганы, Семиречья и пр.

Независимо от изменения высоты уровня речных вод уровень грунтовых вод обнаруживает многочисленные колебания, зависящие преимущественно от осадков и от степени влажности атмосферного воздуха.

Характер грунтовых вод во многом зависит от геологических свойств водоносного горизонта. Если в последнем залегают чечевицеобразные прослойки, то воды под ними находятся под некоторым давлением, равным расстоянию между нижней поверхностью чечевицеобразного тела и общим уровнем грунтовых вод; в буровых скважинах, проходящих через такие со всех сторон окруженные грунтовыми водами непроницаемые чечевицевидные тела, уровень грунтовых вод после прохождения водонепроницаемого слоя устанавливается на точно такой же высоте, как и до прохода его. Такие случаи особенно часто встречаются в ледниковых и третичных отложениях.

Если, наоборот, чечевицеобразные тела, состоящие из водопроницаемых пород, залегают в водонепроницаемых слоях, то они хоть и могут содержать воду, но быстро истощаются обильной откачкой ее, так как вода из смежных пород может прибывать лишь очень медленно. В том случае, если такие залежи достигают большого горизонтального протяжения и значительной мощности, они могут превратиться в водоносные горизонты, обладающие достаточными запасами грунтовых вод.

Всюду, где из подземного потока берутся более значительные количества воды, вокруг места водонаборного колодца, буровой и т. п. образуется воронкообразное понижение уровня грунтовых вод. Бока этого углубления спускаются ко дну воронки сначала полого, а потом все более круто.

Если водоносный горизонт состоит из очень мелкого песка и напитан водою полностью, до насыщения, то такой песок называется *плывуном*, ибо легкие песчинки как бы плавают в воде и переносятся ею на большие расстояния. Такой плывун обладает свойствами жидкости с большой плотностью (1,4—1,5), почему всегда представляет в горном и строительном деле большие неудобства, становясь в известных случаях опасным.

В коренных породах (скалистых) грунтовая вода заполняет все открытые трещины и полости вплоть до наиболее низкой точки их выхода на дневную поверхность; отсюда уровень поднимается параболически по направлению к центру горного массива. Трещинная (жильная) вода находится поэтому под известным давлением подобно воде водопровода. Наряду с такой трещинной или жильной водой в известковых горах еще различают так называемую пещерную воду, не находящуюся под давлением и следующую поэтому законам движения в открытых штольнях. Вследствие этого пещерная вода, питаемая частью трещинной водой, а частью просачивающимися наземными потоками, часто обнаруживает большие колебания в температуре и количестве *(дебите)*.

До сих пор рассматривались лишь грунтовые воды со свободной поверхностью; подземные воды, подверженные некоторому давлению, несвободные, называются напорными или *артезианскими* водами. Всякий горизонт, содержащий воду под известным напором, должен

иметь некоторую область питания, откуда запас воды его постоянно пополняется; обычно имеется также и область стока, куда стекают излишки подземных вод, при этом совершенно безразлично, происходит ли сток в виде родника или в обыкновенную грунтовую воду с свободной поверхностью. Иногда сток создается лишь искусственным путем. В общем артезианский горизонт тем богаче водою, чем более значительна область его питания.

Источники

В зависимости от того направления, в котором родниковая вода вытекает по выходе ее на земную поверхность, источники разделяются на нисходящие и восходящие; в первых вода, следуя силе тяжести, течет по поверхности земли вниз в более глубокие места, вторые образуются только при наличии значительного напора. Дальнейшая классификация восходящих и нисходящих источников зависит от того или иного рода возможности выхода на поверхность грунтовых вод, обусловливаемой различиями в залегании и свойствах пород.

Нисходящие источники

Источники склонов. Водонепроницаемая почва подстилается породой, только в незначительной степени впитывающей или пропускающей воду; в верхнем слое поэтому скапливается просочившаяся через висячий бок вода, которая затем стекает вниз уже в виде источника.

Грунтовые источники образуются там, где уровень грунтовых вод пересекается поверхностью земли, например в крутом обрыве, в склоне канавы и т. д. Другого рода грунтовые источники могут образоваться вследствие сужения водоносного горизонта, вызываемого выдающимися в долины боковыми выступами склонов. Уменьшение водопроницаемости водоносного горизонта, равноценное уменьшению могущего быть пройденным определенным количеством воды поперечного сечения, также может вызвать выход на поверхность грунтовых вод в виде источников и т. д.

Пластовые источники. К наиболее часто встречающимся видам источников принадлежат *пластовые*, образующиеся вследствие обнажения и выхода на поверхность водоносного горизонта, лежащего в висячем боку водонепроницаемой породы.

Если проницаемые водоносные горизонты залегают под водонепроницаемым ложем, изогнутым в виде мульды или котловины, то грунтовые воды заполняют мульдообразное углубление до низшего обнажения водонепроницаемого ложа и изливаются здесь на поверхность в виде *переливающегося* источника. Чем менее имеется таких точек истока и чем больше площадь непроницаемого ложа, тем богаче водою будет источник.

Пещерные источники. Дебит пещерных источников часто значителен, обнаруживая в то же время сильнейшие колебания; вода их всегда ненадежна и часто столь же сильно мутнеет, как и вода поверхностных потоков.

Налегающие на водоносные горизонты водонепроницаемые слои могут повысить уровень подземных вод и вызвать в месте выхода или обнажения подпирающего слоя образование так называемого *подпорного* источника.

Трещинные или жильные источники. Трещины, пересекающие породу по всем направлениям, имеют значение не только путей для просачивания воды внутрь породы, но нередко играют роль при выходе наполняющей породу воды; вода выступает в виде источника в наиболее низком месте пересечения породы с земной поверхностью или же в тех местах, где она при своем передвижении наталкивается на какие-либо препятствия в виде сужения трещин или засорения их горным мусором или глинистой массой. Вода трещинных источников обычно плохо или вообще не профильтрована и поэтому часто загрязнена; к тому же они, как общее правило, являются мало обильными источниками, в сухое время года иногда совершенно высыхающими. Основывая водоснабжение на неглубоко лежащих подземных водах или на трещинных источниках, надо предусматривать возможность предохранения их от загрязнения фильтрацией грязных жидкостей из стоячих ям, скотных дворов, отхожих мест и т. п.

Нисходящие сбросовые источники. Если вследствие происшедшего сброса проницаемый водоносный слой упирается в водонепроницаемую породу, то нередко в наиболее низкой точке стыка водоносного и водонепроницаемого слоев накопляющаяся грунтовая вода выступает на поверхность земли, образуя нисходящий сбросовый источник.

Восходящие источники

Восходящие источники образуются либо вследствие усиленного давления, под которым находятся грунтовые воды, либо вследствие давления газов; эти различные причины движения их вверх лежат в основе их дальнейшего подразделения.

Восходящие пластовые источники образуются, если обнаженная денудацией мульда обладает крыльями различной длины; давление накапливающейся в водоносном слое более длинного крыла воды возрастает и заставляет избыток воды изливаться в нижней точке более короткого мульдового крыла с тем большей силой, чем значительнее разница уровней грунтовых вод в обоих крыльях.

В восходящих сбросовых источниках открытая сбросовая трещина или же разрушенная смежная порода дает находящимся под сильным напором грунтовым водам выход вверх и наружу. К этому типу источников обыкновенно принадлежат многочисленные теплые и *горячие источники.*

Не говоря о химическом составе родниковых вод, источники подвержены более или менее значительным колебаниям как в отношении температуры, так и в отношении количества воды; первые обусловливаются временами года, вторые — распределением по времени выпадающих осадков.

Для питания источников таяние снегов имеет большее значение, чем дожди. Если снег выпал на мерзлую почву, то снеговая талая вода не может впитаться в почву, быстро стекает с поверхности и

мало содействует питанию источников; если же снег, выпавший на незамерзшую почву, весною стаивает медленно и постепенно, та же вода имеет полную возможность и достаточно времени, чтобы впитаться в почву, предоставляя источникам солидный запас воды.

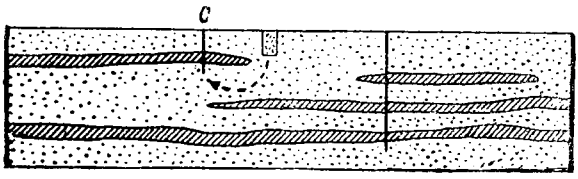


Рис. 78. Водоупорные пласты (заштрихованные) среди водоносных (пунктир).

Определение дебита источников имеет важнейшее значение для целей водоснабжения; чтобы обеспечить себя от разочарования, необходимо вести в течение многих лет измерение дебита источников, а также основательные геологические исследования условий их образования и зависимости от осадков.

Отыскание воды может производиться либо в связи с существующими источниками, либо же при помощи вскрытия новых, не выходящих на поверхность земли водоносных горизонтов. При этом рекомендуется подробнейшим образом осмотреть весь район и все открытые его потоки до мельчайших их разветвлений включительно. Рука об руку с осмотром должно производиться подробное геологическое исследование и выявление причин образования источников в исследуемом районе. Иногда наземные потоки питают отдельные удаленные друг от друга источники, иногда же питание производится от нескольких лежащих невдалеке друг от друга источников, образующих так называемую группу источников.

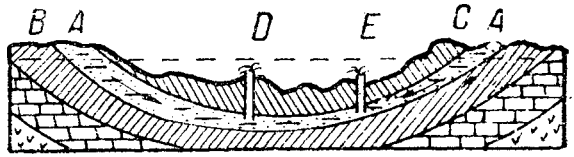


Рис. 79. Схема артезианских колодцев (*D* и *E*), дающих напорную воду из мульдообразно залегающего водоносного горизонта *A*—*A*, заключенного между водонепроницаемыми пластами *B* и *C*.

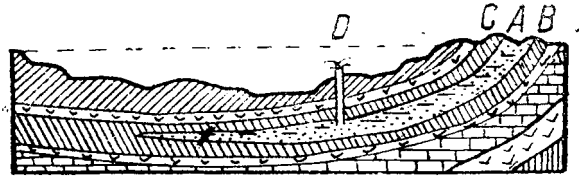


Рис. 80. Артезианский колодец *D* из выклинивающегося горизонта *A*.

Водоносные горизонты используются простыми колодцами (рис. 78) и артезианскими (рис. 79, 80 и 81).

Мелко залегающие или даже выступающие на поверхность грунтовые воды обнаруживаются растительностью или же сильной влажностью почвы. Указателями влажности являются торфяные мхи и осоки (очеретник, песочный корень), ситник, болотный хвощ, болотный коровий цвет, в нагорьях разные виды камнелома и колючий чертополох (Cirsium spinosoissimum). На присутствие водоносного горизонта указывают на склонах также отложения известкового туфа и болота; шурфы для его нахождения наиболее целесообразно за-

кладывать на заднем верхнем краю болотных или туфовых образований. Иногда водоносные горизонты обнаруживаются вызываемыми ими *оползнями;* водоносный слой в таких случаях необходимо искать в основании оползня. Из железистой воды при соприкосновении с воздухом выделяется бурый железняк, охровая окраска которого указывает на присутствие воды также и в том случае, если выделявший охру источник высох в связи с понижением уровня грунтовых вод. Признаком, указывающим на присутствие воды в данном месте, служит усиленное образование тумана, также рои комаров и мух, охотно кружащихся над влажными местами.

В долинах грунтовые воды вернее всего могут быть обнаружены там, где под долинными наносами перескаются воображаемые продолжения боковых склонов долины.

Разведка пластовых источников в твердых породах основана исключительно на хорошем знании геологического строения местности. В покрытых наносами областях вода встречается наиболее часто у подножия крутых склонов.



Рис. 81. Артезианский колодец на ст. Бахчисарай. Фонтан до 1,5 *м*. Глубина скважины 130 *м*. Фот. П. Двойченко.

Минеральные источники

Минеральными называются источники, характеризующиеся значительным естественным содержанием растворенных минеральных веществ (более 1 *г* на литр), или обильным содержанием газов, или тем и другим одновременно. Если их вода может с успехом применяться для исцеления болезней и других медицинских целей, то говорят о целебных источниках; к ним причисляются также и горячие источники. При этом горячими обозначаются обычно такие источники, температура коих превышает 20° Ц, в то время как источники с умеренной температурой воды, но все же немногим превы-

шающей среднюю температуру воздуха данной местности, называются теплыми. Классификация минеральных источников производится по содержанию в них минеральных солей или газов.

Целебные источники и сооружения, снабжающие питьевой водой, нуждаются в предохранении их от загрязнения, утечки воды и других изменений как в отношении количества, так и в отношении качества. Для важнейших источников во всех государствах соответствующими законоположениями усматривается необходимость установления *округа охраны*. Обычно различают узкую и широкую охранительную зону. В первой устанавливается порядок обязательного предварительного оповещения о всяких земляных работах, или даже полное запрещение их, в особенности же рытье всякого рода колодцев или шахт, бурение скважин и т. п., а также запрещаются всякие горные разработки полезных ископаемых. В широкой охранительной зоне в вышеперечисленные запрещения и ограничения вводятся облегчения, в некоторых случаях устанавливаемые в общих чертах, иногда же конкретно в связи с результатами определенного местного исследования. Определение охранительной зоны принадлежит к наиболее трудным и ответственным задачам геолога, обязанного подробнейшим образом выяснить и ознакомиться с происхождением и областью питания источников.

Но даже и в тех случаях, когда при водоснабжении небольшого масштаба значительные предохранительные мероприятия могут оказаться ненужными, рекомендуется оградить ближайшие окрестности источника от загрязнения воды людьми, животными и от обычного унавоживания. Леса, покрывающие области питания, при этом не должны быть в совершенно девственном состоянии, куда не допускается топор дровосека; наоборот нужно стараться путем наиболее рационального лесного хозяйства по возможности ускорять процессы разложения и сократить тем самым до минимума накопление сырого перегноя, избегая лишь значительных сплошных вырубок, вследствие которых, особенно на склонах, может возникнуть опасность образования оврагов, оползней и т. п. Вопросы эти имеют первоочередную важность на Черноморском побережьи Кавказа, между Туапсе, Сочи и Сухумом, как в смысле охраны сильнейших в Европе сернистых источников (Мацеста), так и борьбы с громадными, постоянно здесь возникающими оползнями.

Значение подземных вод в инженерных работах (по Цибульскому)

Ниже перечисляются главнейшие виды работ, при которых всегда приходится считаться инженеру с подземными водами.

Водоснабжение. Когда говорят о подземных водах, то прежде всего считают, что они являются источником водоснабжения, выяснению геологической стороны вопроса при этом должно быть уделено серьезное внимание.

Оползни и обвалы. Главной причиной их являются сочетания свойств и строения пород в связи с наличием подземных вод.

Пучины и нарушение железнодорожных насыпей от размокания.

Значение подземных вод для туннелей.

Провалы и воронки.

Влияние подземных вод на основание зданий и сооружений.

Все эти явления подробно разбираются ниже (см. §§ 31, 32, 33, 37), а здесь остановимся лишь на влиянии подземных вод на обыкновенные бетоны и цементы. Ввиду того что целый ряд зданий и сооружений выполнены целиком из бетона или при участии цемента, и их основания могут омываться подземными водами, содержащими в растворе кислоты и соли, необходимо иметь представление о влиянии их на бетонную кладку и цемент.

Влияние кислот, содержащихся в воде, заключается в следующем:

1. Угольная кислота может оказать вредное влияние на бетонную кладку. Предохранение бетона заключается в покрытии его различными веществами.

2. Сероводород (H_2S) образуется при выветривании и выщелачивании водою некоторых руд и угля, содержащего серу, из гниющих органических осадков (болотная и канализационная вода). Однако сероводород сам по себе не приносит вреда, но становится опасным, когда под действием воздуха переходит в серную кислоту. Предохранением может служить покрытие такими веществами как плотный слой мурилинеума, инертоля, марганита. Эта покрышка время от времени должна возобновляться.

3. Серная кислота получается путем окисления содержащегося в воде сероводорода или при разложении серных колчеданов и марказитов. Предохранительные средства те же.

Соли действуют иначе, чем кислоты; их действие медленное, но не менее губительное; они способны вызывать явление разбухания и размягчения цемента.

Особенно вредными считаются все сульфаты и некоторые хлориды.

Сульфаты — соли серной кислоты — являются опаснейшим врагом бетона, ввиду их огромной распространенности. Они встречаются в морской воде, соляных разработках, подземных водах и шлаковых отвалах. Их вредное влияние основывается на образовании известково-алюминиевого сульфата, вследствие чего происходит разрушение бетона.

С целью предупреждения вредного влияния солей этой кислоты, требуется плотная утрамбовка бетона, т. е. достаточная водонепроницаемость его, чтобы предохранить его от попадания внутрь растворов солей. Прибавка пуццолановых и трассовых цементов также оказывается вполне подходящей для этого случая.

§ 31. Смещение масс на поверхности

Этим сборным наименованием охватываются все изменения земной поверхности, при которых значительные части ее приходят в движение, обрушаясь, оползая, расползаясь, скользя или медленно скатываясь. Скорость этих перемещений может уложиться в целую шкалу, начинающуюся молниеносным обвалом и кончающуюся медленнейшим, незаметным простому глазу, ежегодно проходящим лишь несколько миллиметров поступательным движением.

По Терцаги медленные, а также и быстро развивающиеся движения земляных масс происходят не только на откосах искусственных

выемок, но и на не затронутых никаким строительством естественных склонах. Геоморфология придает движениям земляных масс руководящее значение в ряде факторов, способствующих образованию форм земной поверхности. Исследования геоморфологов, производящиеся на всех континентах, показали, что движения земляных масс почти всегда и везде принимают деятельное участие в изменениях рельефа земной поверхности.

Под тропиками при влажном от дождей климате почва сползает вниз по склону между дерновым покровом и выветрелой поверхностью подстилающей горной породы. В пустынных зонах сухие наносы продвигаются медленно, но безостановочно, исходя радиально из центров денудации, проходя многие сотни километров по плоским предгорьям и останавливаясь лишь тогда, когда угол их естественного откоса уменьшится до величины 2—3°. В зонах влажного умеренного климата поверхность горных склонов, лежащих выше границы древесной растительности, под действием изменения температуры и мороза постепенно разрыхляется, и, как следствие такого разрыхления, происходят осыпи и обвалы, обращающие эти горы в руины с резко расчлененным рельефом.

В полярных странах в качестве главнейшего фактора, вызывающего движение земляных масс, является увеличение объема воды при ее замерзании, обусловливающее явление, известное под названием пучения грунта (Solifluction). Даже на дне океанов проявляются следы обширных движений земляных масс, происходящих вследствие нарушения равновесия, вызываемого тяжестью отлагающихся осадков.

Большая часть движений происходит чрезвычайно медленно, настолько, что В. Пенк предлагает принять год за единицу времени при оценке продолжительности этих движений.

Движения земляных масс, происходящие при строительных работах вследствие выемки или насыпи земли, являются одним из проявлений тех естественных процессов, которые и без нашего влияния происходят повсюду в необозримо разнообразных формах.

Исследовательскими работами в области морфологии познания движений земляных масс были чрезвычайно расширены. Тем не менее как только мы попытаемся приложить к технике достижения этих исследовательских работ, мы сталкиваемся с такими же затруднениями, как при постройке туннелей или при закладке фундаментов, именно, с отсутствием четкости в установлении физических определений. Несмотря на то, что геоморфология за последние 20 лет в значительной степени использовала успехи физических наук, все же основные понятия еще на сегодняшний день не настолько точно и ясно сформулированы, как это необходимо технике.

Вследствие этого при техническом исследовании движений земляных масс не приходится ограничиваться только данными геоморфологической науки, но, так же как и при физической классификации сыпучих грунтов, приходится выдвигать на первый план физико-механический подход.

При исследовании действия силы тяжести на состояние равновесия грунтов необходимо различать, во-первых, грунты, лишенные сцепления, от грунтов связанных, и во-вторых, сухие грунты от влаж-

ных. Показателями физических свойств, обусловливающими равновесие масс, являются величины φ (угол внутреннего трения) и P_0 (сцепление или сопротивление грунта на срезывание).

Лишенный связанности грунт будет находиться в состоянии равновесия при расположении как выше, так и ниже уровня воды, если только угол откоса его не превышает угла φ, и если в нем, кроме того, не происходит самопроизвольной осадки (перегруппировки зерен). При отсутствии воды, находящейся в состоянии покоя, она совершенно не оказывает влияния на значения φ лишенных связанности песков. Если угол откоса $> \varphi$, то с точки зрения статики откос неустойчив. Связанный грунт может быть устойчивым при крутом или вертикальном откосе, пока высота последнего не превышает известной «предельной высоты» h. Чем меньше угол откоса i, тем больше h, при $i = \varphi$ величина $h = \infty$. При уклоне $i \leqslant \varphi$ во всех частях откоса господствуют только напряжения, вызываемые силой тяжести. В этих случаях образование трещин усадки или усыхания не оказывало бы влияния на равновесие, если бы в этих трещинах не собиралась вода. При более крутых откосах в земляных массах образуются напряжения от растяжения, т. е. равновесие поддерживается отчасти вследствие сопротивления материала на разрыв. Поэтому образующиеся в таких случаях трещины усыхания оказывают влияние на устойчивость грунта, даже оставаясь сухими.

Движения земляных масс могут происходить или вследствие изменения баланса действующих сил (величины нагрузки или гидростатических условий), при неизменившемся балансе сопротивлений (структуры, силы сцепления и трения), или же вследствие изменения баланса сопротивлений при неизменившихся действующих силах. Во многих случаях все же очень трудно решить, который из двух элементов равновесия изменился в более значительной степени. Такая трудность решения особенно неприятно дает себя знать при судебных спорах.

Как различные причины, так и возможные поводы к движению земляных масс связаны между собой такими многочисленными переходами, что всякая попытка классифицирования этих движений оказывается неизбежно искусственной. Вследствие этого многочисленным системам классификаций движения земляных масс не достает единства, и они являются недостаточно убедительными. Поэтому, не давая классификации движений земляных масс, перейдем к описанию различных видов этих движений.

Оползнем называется масса коренной породы или наносов, перемещенная (сползшая) со своего первоначального положения в более пониженные пункты и неопрокинувшаяся при этом движении (рис. 82).

Если оторвавшаяся масса опрокидывается, то образуется *обвал*.

В оползнях обыкновенно в значительной степени сохраняется та же последовательность в распределении слоев, какая имелась до смещения. Иногда даже удерживается то же самое залегание слоев или во всяком случае весьма близкое к первоначальному, т. е. если массы до смещения состояли из горизонтально расположенных слоев, то и после смещения в смещенных массах такая горизонтальность иногда сохраняется вполне, или же слои оказываются лишь весьма

слабо наклоненными, залегающими почти горизонтально. Но в большинстве случаев при сползании слои изменяют свое начальное по-



Рис. 82. Один из оползней, происшедших при землетрясении 1911 г. в долине р. Кебин в Сев. Тянь-Шане.

ложение и являются нарушенными, смятыми и разбитыми многочисленными идущими по разным направлениям трещинами.

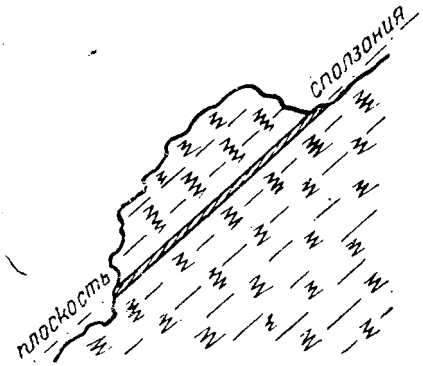


Рис. 83.

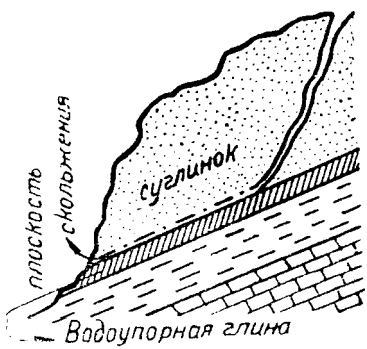


Рис. 84.

В сравнительно редких случаях различные слои перемешиваются между собою так, что не представляется возможности восстановить их последовательность. В обвалах такое перепутывание и смещение слоев есть явление постоянное и характерное для этого типа нарушения.

Между оползнями и обвалами существует целый ряд переходов, совмещающих в себе признаки обоих типов нарушения.

Одни оползни захватывают коренные породы; это оползни первого порядка. Другие развиваются в массах уже старых оползней; будем

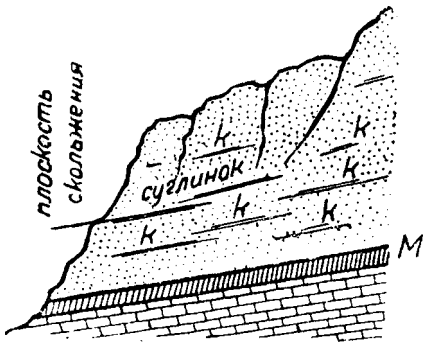


Рис. 85.

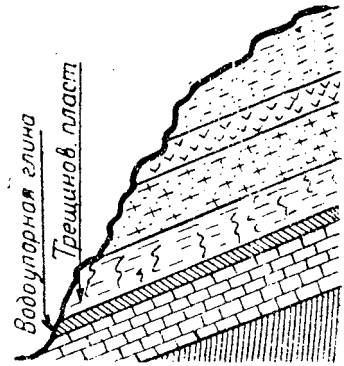


Рис. 86.

их называть оползнями второго порядка. В каждом порядке можно различить типы:

I порядка. Тип a. — Движение или скольжение происходит преимущественно по плоскостям напластования водоупорных пластов или по трещинам, направленным вниз по падению слоев (рис. 83, 84, 85, 86 и 87).

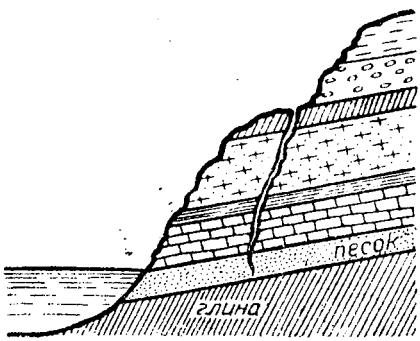


Рис. 87.

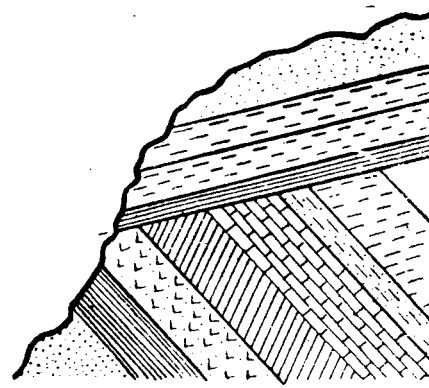


Рис. 88.

Тип b. — Движение обнимает головные части слоев вдоль трещин, развивающихся более или менее вкрест падения слоев.

Тип c. — Движение происходит не по плоскостям напластования или по трещинам, а по поверхности соприкосновения двух свит слоев, залегающих несогласно (рис. 88).

II порядка. Развиваются безразлично на массах старых оползней I порядка всех трех типов, но самое движение может происходить, очевидно, только по типам b и c.

Нередки случаи оползней первого порядка, осложненных еще явлениями второго порядка, дополнительного характера.

Кроме таких теоретически возможных и в действительности наблюдаемых движений масс горных пород, есть еще третья категория движений, которую можно назвать — *осовами;* они отличаются от оползней тем, что движение захватывает только части, элювиально разрыхленные, пород, лежащих еще на месте; движение может развиться по каждому из типов a, b, c. Осовы отличаются от нормальных оползней существенно меньшими размерами явления, т. е. количественно, но не качественно. Часто осовы, теряя связность движения, переходят в явления так называемых *осыпей склонов,* когда продукты разрушения склонов смещаются книзу не сплошными массами, а отдельными кусками (рис. 89).

Наконец, *провалы* представляют собою участки поверхности Земли, занявшие более пониженное положение сравнительно с перво-

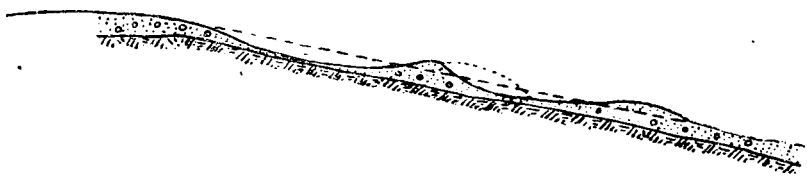


Рис. 89.

начальным вследствие обваливания слоев в находившуюся под ними пустоту. Обыкновенно провалившиеся участки представляют собою различных размеров ямы, в некоторых случаях грубо приближающиеся к воронкообразной форме, в других — воспроизводящие ее с поразительною правильностью. Бывают случаи, когда провалы в значительной степени замаскированы позднейшими нарушениями, размывом, наносами, так что они не выделяются в рельефе с большой отчетливостью, и их существование может быть установлено лишь путем сопоставления геологических разрезов или на основании различных деталей геологического строения местности. Провалившийся участок состоит из перемешанных слоев различных горизонтов (как в обвалах), а также из слоев разбитых трещинами, причем отдельные части, разделенные ими, местами надвигаются друг на друга и сдавливаются в складки. Как и в прерыдущих случаях нарушения, при провалах происходит разрыхление пород, возникают сети трещин в более плотных их разностях и пр. (рис. 67—75).

Главнейшие причины, вызывающие образование перечисленных местных нарушений, следующие:

I. Для оползней: присутствие подземных вод невдалеке от поверхности, горизонт которых залегает выше русла реки или оврага (или берега моря), прорезающих слои пород, среди которых циркулируют эти воды, и затем существование хотя бы весьма слабого наклона слоев к руслу, т. е. к тем участкам слагающих местность масс, которые имеют наименьшее сопротивление.

Участие подземных вод при образовании оползней выражается в том, что эти воды, циркулируя среди водопроницаемых пород и пропитывая их, иногда на пути встречают слои весьма быстро насы-

щаемые водой, так называемые водонепроницаемые, которые, очень скоро насытившись водой, перестают ее пропускать далее и заставляют скопляться на границе между ними и водопроницаемыми слоями все в большем и большем количестве и стекать по этой границе в ту сторону, куда имеется хотя бы самый слабый наклон. В некоторых породах (например в глинах) пограничная поверхность слоя становится в высшей степени скользкой, с другой же стороны, водопроницаемый слой у этой границы иногда вымывается, частицы, составляющие его, выносятся водой, или же он настолько насыщается ею, что делается почти полужидким. Малейший толчок в такой неустойчивой системе может произвести нарушение равновесия масс и движение их вниз по водонепроницаемому слою как по катку.[1]

Таким толчком может быть: изменение веса массы пород, лежащей (над) выше границы между водопроницаемыми и водонепроницаемыми слоями, подкапывание этой массы, или вследствие размывания ее основания водой, или вследствие искусственных выемок (например дорожных) и т. п., прибавка воды в водоносный горизонт, например после сильных дождей, ливней, от таяния снегов, особенно если условия благоприятствуют тому, чтобы эти воды или снег могли скопляться более или менее в значительном количестве. Толчок может получиться также вследствие всякого рода искусственного отвода вод в этот водоносный горизонт (например путем устройства поглощающих колодцев), а также вследствие проникновения вод через водопроницаемые породы путем просачивания их из всяких естественных и искусственно образовавшихся скоплений воды (озерки, болотца, застаивающаяся вода в железнодорожных кюветах, запруды, образуемые иногда железнодорожною насыпью, ирригационные каналы[2] и т. п. — см. рис. 83—87 и 90—93).

---

[1] По Терцаги, в глинах сопротивление трению создается не гидростатическим давлением, а лишь той частью давления, которая передается на твердое вещество глины. Поэтому сопротивление трению возрастает с уменьшением гидростатического давления и достигает нормальной величины только тогда, когда избыток воды совершенно вытечет из слоя глины. Вода не действует как смазка, по мнению Терцаги, вопреки установившемуся представлению. Разбухание глины, в оползневых процессах играющее наиболее существенную роль, есть чисто упругое расширение, происходящее вследствие устранения поверхностного натяжения капиллярной воды. Местное затопление поверхности глинистых грунтов вызывает вторичные напряжения, величина коих значительно превышает вес самых тяжелых сооружений, и которые оказываются главной причиной многих перемещений грунтов. Применением пневматического цементирования можно в оползневых районах отделить глину от песчаных или вообще водонасыщенных слоев, искусственным прослоем зацементированного песка. Пневматическое цементирование за последние годы успешно применялось у нас в ряде сложных случаев гидростроительства: Днепрострой, Донбасс (изоляция шахт от грунтовых вод) и пр.

[2] Пример обвала, происшедшего 6/V 1920 г. в Баварских Альпах (Рейнталангер) весом массы в 125 000 *т*, показал важное значение резких метеорологических изменений в связи с тектоническим ослаблением данного места (чешуей-надвигом); после нескольких теплых солнечных дней с фёном (теплый горный ветер, усиливающий таяние снегов) начались сильные осадки, а затем мороз. Обильная влага, насытившая горные породы, замерзла в трещинах, расширив их внезапно. Новое потепление нарушило внутренние связи и вызвало обвал. Выяснено, что большинство горных обвалов в Альпах происходит весной именно вследствие указанных причин (Гейм). Наблюдения на вершине горы Цут показали, что наиболее частые перемены (с мороза на тепло и обратно) происходят в апреле (4 дня) и мае (12,8).

Влияние работы больших двигателей (газовых, электрических и других) сказывается разрушающим образом на зданиях, расположенных на рыхлых грунтах. На мощных рыхлых отложениях, особенно плывунах, сотрясения распространяются на расстояние до 3 *км*. При расположении машин на твердых сухих коренных породах вредное действие их ничтожно; однако, оно усиливается над пустотами — естественными (пещерами, карстом) и искусственными (выработанные рудничные поля). Вредные сотрясения соседних с Берлинской электрической станцией домов были значительно парализованы заложением вокруг машинного здания изоляционной двойной (пустотелой) бетонной стены до 6 *м* глубины, подобно тому как изолируются сейсмические станции.

К породам, легко передающим давление, относится торф, и в ряде местностей, где железнодорожные линии проходят по торфяникам, хотя бы и покрытым наносами, возникают вследствие сотрясений от поездов значительные повреждения зданий прилегающей полосы. Колебания уровня грунтовых вод оказывают, однако, в таких местах еще большее влияние.

Главной причиной разрушений во всех подобных случаях являются плохие фундаменты, заложенные на неоднородном грунте. В некоторых случаях было констатировано расшатывающее влияние через фундаменты на коренные породы, обладавшие неоднородным сложением (разрыхлением более слабых прослоев, служивших как раз опорой одной из стен), производимое колебаниями высокой башни (Кведлинбургский замок).

Обусловленное указанными причинами смещение масс обыкновенно чрезвычайно резко отражается на рельефе местности, которая получает благодаря этому весьма характерный ступенчатый вид, с буграми, лощинками и т. п.; можно констатировать наличие этого явления даже по внешнему виду местности.

Когда какая-нибудь рыхлая масса, залегающая на твердой (непропускающей воду) породе, сползает вследствие увеличения ее веса исключительно насыщением ее водою, то образуются *оплывины*.

Иногда насыщение водою бывает столь значительно, что набухшая масса превращается в *грязевый поток*.

Искусственные насыпи, а также перемешанные массы грунта вследствие обвалов и отчасти оползней представляют собою наилучшие объекты для образования оплывин, которые в некоторых случаях могут повлечь за собою весьма серьезное нарушение, особенно в областях, где более или менее сильно развиты оползни и обвалы, как например на Окском участке около Горького.

Оползни возникают почти всюду, где выходят ключи. Там, где нет ключей (родников), оползни представляют в высшей степени редкое явление, вместо них господствуют обвалы. Прекрасным примером в этом отношении могут служить берега Волги, где местами на огромном протяжении развиты лишь оползни, в других местах, напротив, встречаются только одни обвалы.

Внимательное изучение тех и других пунктов обнаруживает в первом случае наличие на берегу ключей, во втором — их отсутствие.

В несравненно более редких случаях основными причинами, опре-

деляющими появление оползней, помимо подземных вод, могут быть и другие. К числу их относится, например, естественное или искусственное отягчение слоя, входящего в состав серии слоев, слагающих местность (например случай оползня на Цутском озере, в Швейцарии); собственный вес пород, когда они залегают на склонах (собственно прислонены к ним) и находятся в наклонном положении (как например осыпи); подмывание водой, землетрясение (см. § 22); вне сомнения, рассматриваемое явление может быть вызвано также постоянным, продолжительным, хотя бы и незначительным сотрясением неустойчивого грунта (например от движения поездов).

Нередко при образовании оползней одновременно принимают участие несколько факторов.

Приводим из Терцаги некоторые причины оползней в различных условиях.

Оползни в переслаивающихся песками глинах отличаются тем, что нарушения, как в очень вязких жидкостях, распространяются в обе стороны от выемки. Вязкая жидкость и вязкая глина представляют такие материалы, которые до и после движения сохраняют почти одинаковую степень устойчивости.

При оползнях в глинах, прорезанных песком, напротив, движение как бы происходит вследствие значительного уменьшения силы сцепления.

Одной из главных причин увеличившейся подвижности является происходящая при этом текучесть песков. К этому добавляются еще следующие обстоятельства.

1. Вследствие происходящего при производстве выемки понижения уровня грунтовых вод увеличиваются силы, благоприятствующие проявлению обвала, тогда как сила сопротивления глины на срезывание, вследствие малой ее проницаемости, не получает значительного увеличения.

2. Ввиду сложного состава породы и консистенции глин в различных пунктах разреза, несомненно, различная, причем в пунктах наибольшего местного давления надо ожидать и наиболее твердой консистенции. Но как только в массе, вследствие местной выемки породы, произойдет изменение в распределении давления, и места наибольшей нагрузки попадут в пункты с меньшим сопротивлением, масса сделается подвижной.

В заключение необходимо еще отметить, что поверхности контакта песков с глинами представляют места наименьшего сопротивления, так как в них поры песка заполнены мягким, находящимся под небольшим давлением глинистым материалом, который в случае движения действует как смазывающий материал.

Борьба с оползнями земляных масс, состоящих из песка и глины, может вестись только полным осушением при помощи дренажных канав или штолен. Осушением песчаных прожилков прежде всего облегчается глинам возможность отдачи части избытка воды. Но главнейшее действие все же заключается в стабилизации песка, так как в обезвоженном состоянии песок дает высокий коэфициент внутреннего трения, и его присутствие увеличивает устойчивость породы. После некоторого опыта дренажные работы стали производить до начала выемки, что обеспечивало значительную успешность работ. Полужидкая раньше порода оказывалась неожиданно хотя и несколько влажной, но уже вполне плотной, отвердевшей и в течение последующих недель сделавшейся даже в более глубоких слоях совершенно твердой как камень.

Оползни глинисто-щебнистых склонов (оползни в наносах) (рис. 89). К наиболее удивительным и в то же время наиболее частым явлениям, с которыми приходится иметь дело инженеру при земляных работах, относятся оползни, образующиеся в пористых, состоящих главным образом из наносов, породах, покрывающих склоны (продукты выветривания). Такие оползни происходят почти во всех странах (за исключением пустынных зон) при производстве выемок, а также и на находящихся в естественном состоянии склонах, притом в некоторых местностях особенно часто.

При прорезывании выемкой таких наносов получается сначала впечатление, что откосы даже при углах 60—70° должны быть стабильными. Тем не менее та-

кие массы приходят в движение весной или после продолжительных дождей и движутся (текут) даже при углах падения в 10° и меньше.

Если сравнить полученные из различных стран сведения, то можно убедиться, что наибольшее число таких оползней происходит в легко выветривающихся сланцевых породах, тогда как породы, распадающиеся при выветривании на твердые остроугольные куски, имеют очень малую или совершенно не имеют склонности к таким движениям.

Терцаги находит, что оползни происходят преимущественно в тех пунктах, в которых водяные потоки выходят из коренных пород и попадают в наносы, а не выходят непосредственно на дневную поверхность.

Отдельные куски породы соприкасаются между собой только в точках или по очень небольшим поверхностям. Остальная часть их поверхностей покрыта слоем глины или суглинком. Если при процессе дальнейшего выветривания тут или там кусок породы растрескивается, то на новых плоскостях соприкосновения влажный слой суглинка действует как смазывающий материал. Если, кроме того, пустоты породы заполнены водой, то и вода приобретает напор и еще более уменьшает сопротивление внутреннего трения. Толчок, получающийся при разломе кусков породы, производит раскалывание других более рыхлых кусков породы, и нанос обращается в тесто из мягкого мокрого суглинка, смоченного напорной водой. Согласно этому, данное явление может рассматриваться как скольжение раздробленных масс пород, так как оно обусловлено ломкостью и мелкой раздробленностью составляющих наносы пород (происходит это преимущественно в областях распространения сланцев и мергелей). Основными факторами следует считать присутствие воды и специфические свойства обломков породы. Установление надежных признаков, по которым могло бы предсказываться появление оползней в наносах, может быть произведено лишь при помощи сравнительного изучения степени устойчивости и скорости выветривания обломков оползающих и не оползающих наносов. Во многих случаях склонность косогоров к оползанию может быть установлена даже по одним топографическим особенностям. При борьбе с оползнями в наносах в первую очередь необходимым является перехват и отвод водяных струй. Следующим мероприятием является укрепление подошв оползающих масс с помощью подпорных сооружений. Оползневые движения наносов (конечно, после осушения) могут быть остановлены при помощи сравнительно слабых подпорных стенок. Подобные же заключения были сделаны в САСШ, с той только разницей, что там очень часто вместо сооружения стенок забивают ряд расположенных на более или менее значительных расстояниях друг от друга свай или стальных труб, проходящих через наносы и выветрелые коренные породы. Стальные трубы после их забивки выбуриваются и заполняются бетоном. Если первый ряд свай является недостаточным, то загоняют промежуточные новые сваи.

II. Для обвалов благоприятными условиями являются крутые склоны и естественное или происходящее при содействии человека подмывание и подкапывание их в основании, или же ослабление (нарушение) сцепления пород в верхних частях откоса вследствие выветривания, излишней нагрузки и пр.

Обвал, по Терцаги, подготовляется разрыхлением породы и осуществляется действием одной только силы тяжести. Отличительным признаком такого обвала является то, что постепенное уменьшение устойчивости породы подготовлялось заранее. Прототипом может служить выемка ниш в крутых стенках откосов породы, образующихся при горных выработках. Такие откосы могут держаться годами, пока, наконец, после обильных дождей или после снеготаяния масса породы, имеющая форму сегмента, не отделяется от откоса и не образует осыпь с углом откоса около 40°. Выемка в трещиноватой породе может рассматриваться как стенка сухой кладки, устойчивость которой зависит не столько от свойств породы, сколько от взаимного разложения ее элементов. Постепенное уменьшение связанности уменьшает также и степень устойчивости породы, пока, наконец, не

будет достигнута граница устойчивости, и тогда порода теряет формы стены и обращается в осыпь.

Причинами обвалов являются обычно предрасполагающий к этому характер тектоники и постепенное разрыхление и уменьшение сцепления породы. Поводом, т. е. последним толчком, являются обыкновенно дожди или снеготаяние. В редких случаях обвалы образуются как следствие горных выработок, которые поставили бы породу в положение, близкое к потере равновесия.

Средства для борьбы с обвалами зависят от свойств самих пород. При сильно трещиноватых породах бывает достаточно освободить при помощи простого лома откосы от отдельных кусков породы и зацементировать выходы открытых трещин, чтобы предупредить возможность расширения трещин корнями растений. При производстве выемок выходы трещин имеют большое значение для выпуска просачивающихся вод и потому должны оставаться открытыми. В породах, претерпевающих более или менее значительное изменение объема вследствие периодического изменения температуры и влажности (некоторые мергели или сланцы), бывает необходимо покрывать крутые откосы каменной одеждой.

Разновидность обвалов мелкого масштаба известна под именем «шелушения» или «вымерзания». Вследствие попеременного усыхания и увлажнения, а также вследствие замерзания воды в трещинах, породы постепенно принимают вид куч щебня, равновесие которых при снеготаянии или продолжительных дождях теряется, как и у обычных рыхлых масс. После оползней остаются на склоне раковистой формы выбоины. Если мелочь состоит из глинистого материала, то получается переход к оплывинам. Для борьбы с этими явлениями склоны укрепляются посадкой на них растительности, причем в случае наличия водяных прожилков устраиваются дренажи.

III. Для провалов необходимо существование пустот (пещер) в массе пород, слагающих местность, которые образуются большею частью вследствие присутствия среди этой массы растворимых пород (например гипса, каменной соли), или же возникают при участии человека (подземные каменоломни, шахты и т. п.) (см. рис. 64—75).

Опускания поверхности, обрушения, провалы, воронки могут вызываться следующими причинами:

1. Ростом естественных подземных пустот (см. подземные воды), преимущественно в «карстовых» областях, сложенных известняками, гипсом и каменной солью, т. е. горными породами легко выщелачиваемыми.

2. Искусственными подземными выемками — рудничными.

Явления эти в таких районах, т. е. карстовых и рудничных, приобретая подчас катастрофический характер, побуждают к весьма внимательному к себе отношению, особенно, если эти районы густо населены, изобилуют большими сооружениями, железными дорогами, каналами и т. п. Вопрос этот с большой полнотой был разработан русскими горными инженерами Леонтовским и Бауманом; в Германии по этому вопросу имеется также весьма богатая литература.

В Европейской части СССР провалы карстового происхождения многочисленны в районах Псковском, Тульском, Рязанском, Пермском, в Горьковском крае, Башкирской АССР, на крымской Яйле, в Орен-

бургском районе, в районе Илецких соляных месторождений, Ср. Азии (Фергане и Таджикистане) в области развития мощных залежей гипса и др. На Ергенях круглые воронки диаметром до 50 *м*, происшедшие от выщелачивания штоков гипса, отличаются замечательно правильной круглой формой. Около Кунгура, между рр. Шаквою и Сылвою, провалы часто заполнены водой и превращены в озера. Одной из обширнейших карстовых областей Союза является Двинско-Онежский водораздел, где земляные воронки, так называемые «опади» и озера, наполняющиеся водой только весной, очень распространены и находятся в связи с подземными истоками и провалами над ними. Сокрытие рек, например рр. Междудвор и Тихманьга, и все эти карстовые явления вызываются здесь развитием доломитизированных известняков, часто гипсоносных в верхних горизонтах (каменноугольного возраста). В Смоленском районе одна из скрывающихся речек носит название Поникли, как проникающая под землею. В Горьковском крае провальные озера тесно связаны с распространением пермского возраста известняков; интересно, что некоторые воронки в таких озерах дают восходящие источники, называемые по местному «вокленами». В Карелии среди озер, зарастающих и периодически исчезающих, некоторые реки прерываются так называемыми «лучинами», в которых поглощается часть воды. В Тульском районе провалы и воронки в области каменноугольных и девонских известняков с течением времени превращаются в озера и моховые болота. Чрезвычайный интерес имеют так называемые «уфимские воронки», в течение многих лет портящие полотно и сооружения Самаро-Златоустовской ж. д., около г. Уфы (см. рис. 73).

Железнодорожная линия проходит по крутому косогору платообразной возвышенности между рр. Белой и Уфой; плато сложено нижней красноцветной пермской толщей, в состав которой входят песчаники, рухляки, известняки и мощные залежи гипса; верхние толщи тоже гипсоносны и подвергаются вместе с пластами гипса усиленному выщелачиванию, что влечет за собой обвалы, воронкообразные провалы и оседание более или менее значительных площадей. Неустойчивость полотна в таких условиях является непреодолимой, и безопасность движения обеспечивается лишь неослабным тщательным наблюдением и непрерывным ремонтом. Иногда в одну ночь образуются воронки, в которых скрываются большие деревья. Еще Паллас в 1770 г. писал, что «Уфа есть место худо выстроенное, коего положение дурнее избрано быть не могло...» (см. выше рис. 70—75).

Геологи Ф. Чернышев и П. Ососков, работавшие там как раз в начале проведения железнодорожного пути, решительно высказались против избранного направления дороги, вперед предсказав всю картину ее дальнейших, осуществившихся злоключений, но услышаны не были. Техническим комиссиям, осматривавшим начавшиеся вскоре после постройки железной дороги разрушения, приходилось только констатировать их одновременно с невозможностью предупреждения. Для наблюдения за ростом разрушений была выработана особая программа, могущая послужить примером для других аналогичных случаев. С тем же вопросом пришлось столкнуться при изысканиях в 1904 г. железнодорожной линии, долженствовавшей соединить существовавшую линию Петербург — Вятка — Пермь с Си-

бирской магистралью. Ввиду неизбежности проложения пути именно по Кунгурскому направлению, задача сводилась лишь к уменьшению заведомо неблагонадежных и опасных условий.[1] Подробное исследование воронок и провалов выяснило, что по происхождению они делятся на две категории. К первой относятся ямы, происшедшие вследствие непосредственного обрушения сводов над подземными пустотами или пещерами; такие провалы отличаются большими размерами в сравнении с воронками и неправильностью формы. К другой категории относятся воронки, образующиеся следующим путем: атмосферные воды, просачиваясь через поверхностный слой до гипсов, проникают в них по трещинам, вытачивая в них путем выщелачивания вертикальную трубу, оканчивающуюся, своим основанием в подземной пещере. Когда такая труба («геологический орган») достигнет значительного диаметра (1—2 *м*), то верхний слой обрушивается и заполняет частью полость трубы, а частью достигает подземной пустоты (такого же типа был провал на Илецкой соляной шахте в 1919 г.). Процесс этот напоминает образование воронки вверху и конуса внизу в песочных часах. Обрушившийся сверху материал, если он состоит из глины, закупоривает трубу и делает ее недоступной для дальнейшего проникновения воды. Провалы первой категории надо считать опасными, а второй категории безопасными для железнодорожного пути. Насколько неожиданно происходят здесь провалы, доказывает случай с крестьянином, пахавшим на совершенно ровном месте и внезапно опустившимся вместе с лошадью на 7 *м*. Если обвал кровли пещер совершается глубоко под поверхностью, то последствием его бывают местные небольшие землетрясения, которые в свою очередь вызывают новые провалы, трещины и пр. С другой стороны, от подземных обвалов может происходить местное изменение залегания пород, смятие и изгиб пластов, сбросы и т. п., т. е. ложнотектонические явления, которые, как и предыдущие ложносейсмические, отличаются от настоящих весьма малым районом своего развития и вообще не должны с ними смешиваться.

Оригинальной формой опускания являются случаи, обязанные резкому выкачиванию большого количества подземных вод и внезапному выходу вновь открытых артезианских фонтанов. Случай в Шнейдемюль в Познани — когда таким путем обрушилась площадь около гектара в центре поселения, разрушив 14 домов — был обязан вскрытию буровой скважиной большого замкнутого резервуара подземной воды на глубине 64 *м* — «водяной подушки», находившейся под большим давлением. Наличие подобных водяных подушек вытекает из ряда примеров, наблюдавшихся при проведении железных дорог на состоянии насыпей, плотин и виадуков; нередко часть насыпей или сваи, первоначально не возбуждавшие никаких сомнений, внезапно бесследно уходили в глубину. Падение знаменитой колокольни Св. Марка в Венеции приписывается подобным же причинам. Из этого вытекает необходимость бурения во всех случаях возведения

[1] Крайне неудачно в смысле наличия мощных гипсов выбрано также (вопреки заключению геологов) направление железной дороги Сталинабад — Курган — Тюбе.

тяжелых сооружений на местах, телогическое строение которых не вполне очевидно.

Особенно подчеркивается эта необходимость для районов, где могут быть встречены плывуны, которые нередко образуют подземные песчаные потоки.

Подземные потоки песка (по Терцаги) представляют нечто среднее между потоками породы, дающими внезапную осадку, и явлениями движения, образующимися в соседстве с туннелями, проходящими в плавучих породах, и имеющими следующие признаки: если в пласте песка, залегающем в сфере грунтовых вод, производится выемка, расположенная ниже их уровня, то вытекающая грунтовая вода приводит на выходах песок в движение. Движение будет происходить как и при потоках пород, дающих осадку, вследствие значительного увеличения объема пор, и текучесть будет поддерживаться движущейся вслед водой. Текучесть распространяется от выхода по направлению против движения, т. е. в гору, и обычно захватывает только узкую канало- или рукавообразную полосу. Развитие потока в обратную сторону обусловлено тем обстоятельством, что разжижение требует значительного увеличения объема пор, а таковое может произойти во всяком месте только в том случае, когда появится возможность увеличения объема, вследствие оттока части прилегающего материала.

Сопротивление нагрузке песка, находящегося в состоянии текучести, настолько мало, что залегающие над ним породы должны были бы осесть, если бы они не образовали свода над потоком. Является еще открытым вопрос, заполняют ли песчаные потоки полностью сечение желоба, по которому они движутся, или не образуется ли постепенно между песчаным потоком и кровлей желоба промежуток, заполненный водой. Последнее, по крайней мере в некоторых случаях, несомненно имеет место. Если при развитии песчаного потока в обратную сторону разжижение в каком-либо пункте подходит близко к поверхности земли, то лежащая над текучими песками порода оседает или вследствие недостаточного сопротивления ее нагрузке, или вследствие образования пустоты, и на дневной поверхности образуются провалы.

Интересны влияния движения земной поверхности, связанные с разработкой недр, на сооружения, находящиеся на дневной поверхности, приводимые Терцаги по работе Г. Алфельбека.

Как известно, вследствие наличия горных выработок под землей образуются пустоты, и условия давления в земной коре изменяются.

Если плоскости, лишенные поддержки снизу, сравнительно невелики, или если твердость пластов пород достаточно велика, то налегающие пласты могут длительно выдерживать перегрузку, и подземные выработки могут существовать и без крепления, например, штольни в твердом грунте. В других случаях штольни и туннели укрепляют таким образом каменными или же кирпичными сводами или же железобетоном, чтобы лишенные поддержки пласты породы опирались на свод; таким образом подземные выработки длительно остаются открытыми.

Пустоты, остающиеся в очистном пространстве после выработки полезных ископаемых, которые незачем поддерживать открытыми,

сами собой обрушаются, вследствие оседания лежащих над ними пород; это оседание начинается, как только размеры пустого пространства переходят некоторую границу, обусловленную твердостью пластов породы; при недостаточной мощности покрова действие такого обрушения может сказаться и на дневной поверхности, где оно проявляется в виде оседания, трещин или воронок. При помощи искусственного заполнения подземных камер пустой породой (работы с закладкой очистного пространства сейчас же после выемки), можно частично снова укрепить стенки и кровлю и тем самым избежать обвала, или, по крайней мере, уменьшить его действие; обычно это делают в тех случаях, когда доставка наверх полученной при выработке породы нежелательна, или когда нужно сохранить от порчи ценные земли на дневной поверхности.

Благодаря вертикальным смещениям страдают железнодорожные насыпи: первоначально существовавшие условия меняются, и приходится поднимать рельсы. Горизонтальные смещения слоев, слагающих покров, проявляются в виде изменения радиуса кривизны и смещения рельс в сторону, и поскольку эти смещения происходят под прямым углом к оси рельс, уменьшаются или увеличиваются промежутки на стыках. Однако, горизонтальные смещения не имеют особого значения для железных дорог, они отступают на задний план по сравнению с изменениями уклона железнодорожной насыпи.

Совсем иначе обстоит дело с городскими железными дорогами, рельсы которых тесно связаны с уличной мостовой. Здесь горизонтальные перемещения почвы вдоль оси рельс имеют большое значение. Если рельсы городской железной дороги попадают в область растягивающих напряжений мульды опускания, то отдельные рельсы настолько расползаются в разные стороны, насколько это позволяет конструкция стыков. Продолжающие перемещаться дальше слои изгибают шпалы, что ведет к образованию узких мест на путях.

В области сжатия рельсы приближаются друг к другу вплоть до полного исчезновения промежутков стыков. Если после закрытия промежутков движение почвы еще не прекратилось, то рельсы выгибаются вбок или выдавливаются вверх над мостовой.

В исключительных случаях действия обрушения могут обнаружиться и на значительных расстояниях от места разработки, если только в соседних пластах пород встречаются насыщенные водой глины или же пески (плывуны), прокладывающие себе путь в выработке вдоль сбросов или трещин, так что они могут вытекать туда под влиянием давления окружающих пород или же собственного веса. Таким путем произошел в городе Brüx в 1895 г. обвал большого числа домов, как следствие разработки угля, находящейся на расстоянии более 1000 *м*.

В горнопромышленных областях часто является искушение свалить ответственность за происшедшие повреждения полей и построек в первую очередь на соседние горные разработки. Для эксперта в этом случае является задача разграничить естественную порчу от повреждений, причиненных горными работами, в случае же взаимодействия обеих причин оценить долю участия каждой из них.

Spackeler и Marx наблюдали большое число повреждений, происшедших в зданиях, выстроенных в местности, где никаких горных

работ не производится (Breslau), и которые большею частью можно было объяснить плохим грунтом, неосновательным фундаментом построек, а в одном случае превращением холодильника в ледник (увеличение объема грунта вследствие замерзания грунтовой воды). На зданиях можно было наблюдать явления сдвигов, растяжения и сжатия, как будто бы они находились под влиянием оседания поверхности вследствие горных разработок, и сходство было тем сильнее, что пострадавшие дома были расположены в зонах, проходивших через целые части города. Эти зоны в Breslau обусловливаются вытянутыми в длину линзами вязкого ила (Schliek), являющимися отложениями старых заплывших рукавов реки — «стариц», которые относятся к очень ненадежным грунтам для построек.

Нельзя не отметить, что нередко предполагают косвенную связь между повреждениями построек и горными работами в том отношении, что откачка воды из разработок влияет на грунтовые воды, т. е. понижает их уровень, что опять-таки влечет за собой осушку и вместе с тем усадку грунта, вследствие чего стоящие на нем здания оседают и разрушаются.

Иногда повреждение строений все-таки может зависеть от искусственного понижения уровня грунтовых вод, например, если здание основано на деревянных сваях во влажном грунте. После понижения уровня грунтовой воды эти сваи могут загнить при доступе воздуха, вследствие чего грунт лишается способности выносить нагрузку, и здание оседает в тех частях своего фундамента, где нагрузка больше, и оттуда начинается разрушение. Подобные явления могут возникнуть, если в застроенных местностях на небольшой глубине залегают торфяниковые пласты, остающиеся постоянно влажными и при тесном соприкосновении с грунтовой водой обладающие некоторой способностью выдерживать нагрузку. Если уровень грунтовой воды понизится, то несвязанная часть воды может из них вытечь или может быть выжата под действием давления налегающих на торф пород, и таким образом может образоваться впадина.

При образовании обвалов, провалов и оползней обыкновенно на поверхности склона, а также и на значительной глубине возникает ряд трещин, среди которых иногда наблюдается одна главная трещина, отличающаяся от других своими большими размерами.

Эти трещины (по крайней мере во всех подробно изученных обвалах и во многих случаях оползней) возникают за некоторое время, а иногда задолго до наступления катастрофы и таким образом служат одним из предшественников и предвозвестников обрушения грунта. При этом для обвалов (по крайней мере в горах), как показал проф. А. Гейм, возможно установить некоторое соотношение между характером трещин и характером и размером явления. Если возникают многочисленные длинные трещины, располагающиеся рядами, то можно ожидать сравнительно небольших обвалов (например обвал щебня в горах), если же образуется среди них одна большая непрерывная трещина (главная трещина), то следует ожидать обвала больших масс.

Перед наступлением катастрофы трещины сильно увеличиваются (так, за месяц до знаменитого Эльмского обвала в 1881 г. главная трещина достигла 400 *м* длины), начинается падение отдельных кам-

ней, сначала довольно редкое, а затем постепенно усиливающееся, и, наконец, происходит настоящий обвал. Вместе с тем, при больших катастрофах незадолго до их начала (так, в Плурсе, Гольдау, у Диаблерe и в Эльме за 6—10 часов, в Фордерглёрнише за 21 час) кроме шума от падения камней слышится еще шум и треск внутри горы. Гейм отмечает, что «чем продолжительнее промежуток между проявлением первых предвозвестников и наступлением обвала, тем сильнее последний». Этот промежуток для очень больших обвалов определяется иногда несколькими годами и даже десятилетиями.

Как можно было наблюдать в некоторых случаях, правило Гейма в общем применимо и для обвалов в рыхлых породах.

Из общих событий, сопровождающих явление оползней и отчасти им предшествующих, кроме трещин, следует указать еще на некоторое оседание и вздутия в пределах массы, начавшей движение, которые могут, между прочим, выразиться осадкой полотна, появлением волнистости на рельсах, трещинами на различных сооружениях и т. п.; на возникновение новых, вследствие трещин, пунктов выхода ключей, и обратно, на исчезновение их в тех местах, где они раньше были (например исчезновение воды в колодцах, осушение ранее влажных слоев, слагающих какой-нибудь обрыв, и т. п.).

Таковы в общих чертах главнейшие предвозвестники оползней.

Нелишне заметить здесь, что возможность появления оползня иногда предвещается, например, осадкой насыпи, образованием волнистости на рельсах и т. п., и притом в такой обстановке, что неопытный наблюдатель легко может принять это за явления, зависящие всецело от жизни насыпи и не находящиеся ни в какой связи с жизнью всего или части косогора, на котором расположены эти сооружения. Но при внимательном детальном исследовании может оказаться, что осадка и пр., обнаруженные в пределах только насыпи, есть совершенно случайное обстоятельство, и что при данных условиях явление могло бы обнаружиться на значительно большей площади, чем на какой оно проявилось, и выразиться в образовании оползня в грунте; следовательно, происшедшая осадка насыпи не всегда зависит от жизни насыпи, а часто от изменений в жизни самого косогора. Таким образом и при исследованиях изменений, наблюдаемых лишь в пределах искусственных сооружений (насыпи и пр.), необходимо самым тщательным образом отмечать все малейшие изменения, происшедшие вблизи полотна, и выяснить их значение, как бы они ни казались маловажными с первого взгляда. То же самое следует делать и при всяких даже мелких поправках, новых сооружениях и пр. Устойчивость от оползания боков выемок и насыпей совершенно различна; предельные размеры тех и других и углы откосов при наличии оползаний должны устанавливаться весьма тщательно, не по обычному шаблону.

§ 32. Следствия смещений масс

К непосредственно наносимому обвалами и оползнями ущербу, как то: гибели человеческих жизней, разрушению построек и возделанных земель, присоединяются еще следствия второстепенные, происходящие из-за постепенного осыпания рыхлых обломков и сыпучих масс

в русла потоков, запружающих их; такие запруды бурных потоков вызывают разрушительные прорывы и образование внезапных потоков или *мур*. Другим чрезвычайно вредным следствием оползней является образование на склонах отрицательных форм рельефа, голая поверхность которых, лишенная охранительного растительного покрова, легко размывается и разрыхляется стекающими водами и поглощает их.

Под влиянием оползания щебня выходы слоев нередко сдвигаются из своего первоначального положения и изгибаются в обратную сторону; такое загибание голов пластов (рис. 90) на склонах может нередко привести к ошибочному определению залегания пластов. Иногда более мягкие слои под действием давления, производимого медленным сползанием осыпей, образуют сильную складчатость, явление это особенно часто встречается в рыхлых ледниковых отложениях северной Германии, в третичных отложениях нижней Австрии и др. Щебень ползучих склонов не располагается ровной поверхностью, а получает под влиянием медленного передвижения волнообразные очертания.

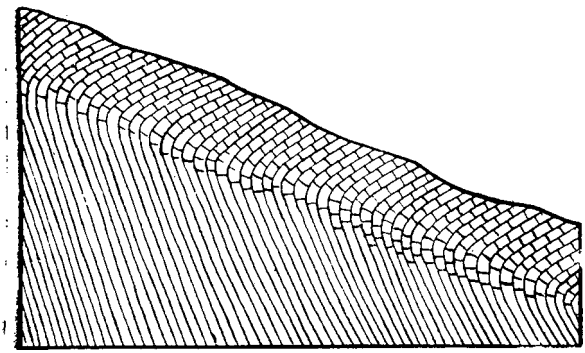


Рис. 90.

Что касается формы области срыва, то в общем преобладает очертание груши с узким концом вниз или ложки, но местные условия обусловливают также ряд отклонений от основной формы. Если, например, склон облегчает развитие оползня в продольном направлении, если материал осыпи при плотном сложении сильно пропитан влагой, или если вообще почему-либо давление движущейся массы сильнее проявляется в низших ее частях, тогда часто образуется лопатовидная форма.

При достаточно значительном притоке воды образуются воронкообразные и чашевидные оползни (рис. 82); первые в том случае, если материал верхних частей оползня выдерживает лишь незначительный уклон, вторые — если верхние стены оползня спадают очень круто или даже почти что отвесно. Обе разновидности представляют наиболее значительную по размерам, а поэтому с точки зрения народного хозяйства наиболее важную форму образования, к тому же часто очень древнюю по возрасту; естественное зарубцевание воронкообразных и чашеобразных оползней происходит после многолетнего проявления их деятельности лишь тогда, когда дальнейшее оползание рыхлых масс по местным причинам становится уже больше невозможным.

Интересны следующие примеры возобновления оползания косогоров и меры борьбы с этим явлением, приводимые Цибульским.

«Естественные косогоры, подверженные оползням, нередко приходят в состояние равновесия, и тогда движение пород прекращается. Такая остановка может

быть длительной и кратковременной, так как при всяком повторном нарушении равновесия движение пород может начаться вновь.

Эти нарушения в установившемся равновесии пород могут быть вызваны как естественными, так и искусственными причинами или совместно обеими.

К причинам естественным относятся:

1. Размывание берега рекой или морем, при котором прежние оползни, играющие роль контрфорса, смываются водой (Саратов, Одесса).

2. Продолжительные и обильные дожди или таяние снега, способствующие пропитыванию пород водоносного горизонта водою, и увеличение вследствие этого веса пород.

3. Закрытие естественного дренажа, существовавшего в виде выхода ключей, случайным оползнем и вызванные этим блуждания подземных вод и скопление их, в результате чего происходит размягчение поверхности водоупорных слоев и более легкое скольжение по ним вышележащих масс.

К искусственным причинам, возобновляющим остановившиеся было оползни, относятся:

1. Нарушение установившегося равновесия устройством выемок, которыми срезается нижняя часть косогора, ослабляя этим естественный контрфорс и делая склон косогора более крутым.

2. Устройство насыпей, увеличивающих вес породы, опирающейся на ненадежный склон; то же самое происходит при возведении искусственных сооружений тяжелого типа.

3. Засыпка породой из выемок естественных дренажей.

4. Вскрытие выемкой водоносного пласта.

5. Увеличение притока воды спуском сточных вод в береговые трещины и оголение почвы выше старого оползня при прокладке дорог.

Во всех выемках, поскольку в местности, где они проведены, имеется наклонное напластование, положение обоих откосов совершенно различно, а именно, нагорный находится в неблагоприятных условиях, а подгорный, ввиду отсутствия в нем воды, не подвержен оползневым деформациям. Если же пропластки, могущие давать скользкую поверхность, проходят ниже подошвы выемки, то не исключается возможность разрушения обоих откосов и всего пути, вследствие начавшегося сползания.

Несомненно, что все условия, благоприятствующие образованию движения пород в косогорах, сохраняют свою силу в полной мере и для выемок; больше того, вполне естественно, что косогор, бывший более или менее устойчивым до проведения в нем выемки, в откосах последней может дать оползневые явления. Только что указанное положение при суждении о сползании откосов следует считать основным.

Сползание насыпей. Сползание насыпей может быть вызвано не только значительным поперечным или продольным скатом местности, но и образованием одной или нескольких плоскостей скольжения в условиях, аналогичных оползням косогоров и откосов выемок.

Повторим еще раз, что высокие насыпи, возведенные на косогорах, стоящих до этого устойчиво, вследствие своего веса могут повлечь сползание не только насыпи, но и части верхних слоев, составляющих косогор.

Случай I. Если насыпь проложена по скату, состоящему из глинистых пород или других, склонных образовать при смачивании атмосферными водами скользкие поверхности, то избежание ее сползания возможно путем обделки основания уступами и отводом поверхностных вод.

Случай II. Насыпь может залегать на скате косогора, сложенного из водопроницаемого пласта A, подстилаемого водоупорным слоем B, причем между этими породами может образоваться плоскость скольжения (рис. 91). Если в водоносный пласт от точки B и ниже не будет прекращен доступ нагорной и грунтовой воды, то сползание насыпи вместе с водоносным пластом вполне вероятно.

Случай III. Косогор, по которому проведена насыпь, состоит из одного или нескольких глинистых прослойков, подстилаемых твердыми породами, причем прослойки размачиваются водой, поступающей из пород, залегающих над ними. Случай, часто встречающийся и требующий иногда весьма дорогих работ по перехвату и отводу грунтовых вод (рис. 92).

Случай IV. Им предусматривается проведение насыпи, проходящей через болото или пруд с поперечным скатом дна, покрытым некоторой толщины слоем ила. Обделка основания уступами в подобных условиях часто невозможна, и

поэтому во всех подобных случаях, если не отсыпать берму, опирающуюся на более или менее ровное основание насыпи, сползание последней произойдет наверняка (рис. 93).

Чтобы показать возможность сползания покрышек косогоров в инженерных сооружениях в том случае, если по плоскости соприкосновения ее с косогором может быть скольжение, приведем три примера, достаточно уточняющих положение.

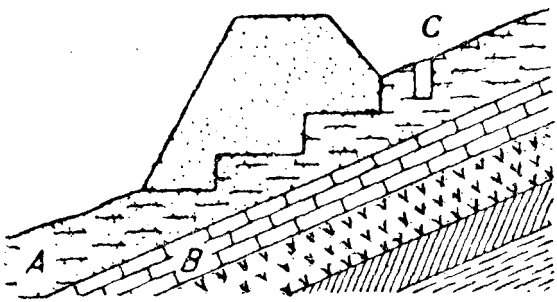


Рис. 91.

Пример 1. Железнодорожный путь Бреннерской дороги около Мюльталя должен был проходить по склону крутого косогора, состоящего из твердых пород с грунтовой водой; твердые породы были покрыты мощным пластом глинистого сланца. Так как в подобных условиях следовало ожидать сползания глинистого сланца, то сделали туннель, который в некоторых местах слишком близко подходит к поверхности.

Уже во время постройки его было замечено, что склон холма нарушен. Поэтому оказалось необходимым пробить боковую стену и сделать выемку около 6 *м* глубиной, чтобы достичь прочного основания, на котором была возведена мощная подпорная стена.

Несомненно, что здания, выстроенные на подобном основании, находятся в таком же неустойчивом положении.

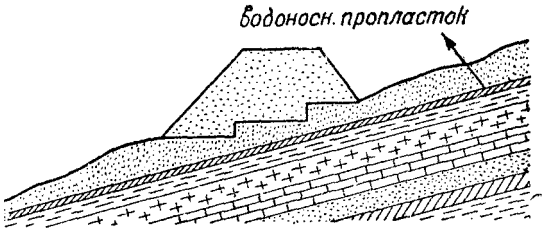


Рис. 92.

Пример 2. Вообще говоря, мерой борьбы с оползневыми явлениями в покровном слое служит увеличение трения между ним и косогором; это достигается недопущением к поверхности их соприкасания как атмосферных, так и грунтовых вод. Точно так же разрез покровного слоя выемкой нарушает его сплошность и усиливает возможность сползания всей вышележащей части, если ее размачивают грунтовые воды.

Поэтому, если по такому косогору пришлось бы проводить железнодорожный путь, то необходимо было бы прибегнуть или к туннелю, как в первом примере, или устроить насыпь.

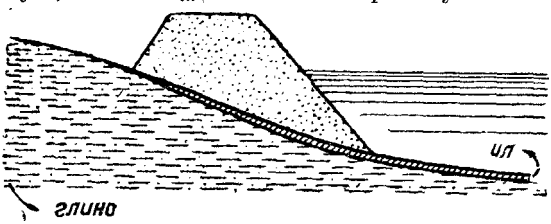


Рис. 93.

В этом случае, помимо отвода грунтовых вод, очень часто необходимо добавить одну или две подпорные стенки, из коих первая располагается выше насыпи, а другая — ниже, с соответствующим устройством в них спуска для воды (рис. 94).

В случае размокания основания покровного слоя водами, выступающими из подошвы косогора, их необходимо отвести от покрышки путем устройства штольни.

Пример 3. При проведении железнодорожного пути по глинистой террасе, прислоненной к косогору (рис. 95), если не принять мер против вредного влияния атмосферной и грунтовой воды, путем заложения штольни по водному прослойку, — размокание и оползень глины нужно считать обеспеченным; оползание будет усиливаться еще более под влиянием постоянного сотрясения, производимого поездами».

§ 33. Распространение оползней

Из европейских стран оползни чрезвычайно распространены на Аппенинском полуострове, нанося громадные убытки. Итальянским географическим обществом много лет собираются данные по ним рассылкой особых опросных листов. Одна из сильнейших катастроф этого род уничтожила в провинции Модена 180 домов, 2 *км* дороги и опустошила площадь в 8 *км*^{2} (21/XII 1896 г.). В провинции Базиликата половина населенных местечек угрожаема по оползням. Большинство оползней время от времени возобновляется, особенно усиливаясь в дождливое время года. Грандиозны также оползни по берегам Панамского канала.

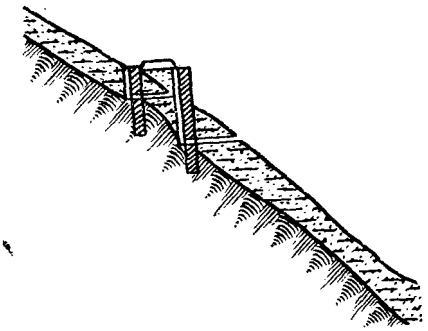


Рис. 94.

Оползни в Европейской части СССР приурочены преимущественно к берегам рек, например по нагорным, берегам рр. Днепра, Волги, Оки, Дона, Миаса и др. Наиболее сильно страдающими на Волге являются города: Горький, Ульяновск, Саратов, Вольск. Причина саратовских оползней (и соседних) заключается в том, что Соколова гора состоит из глин, прикрытых рыхлыми, водопроницаемыми песчаниками. Вода, проникая до горизонта глин, скатывается по ним и образует на склоне множество источников, которые, размывая песчаники, производят постоянные сдвиги и оползни. К этой основной причине присоединяются еще различные сочетания местных неблагоприятных условий. В районе г. Ульяновска комиссией б. Геологического комитета в 1903 г. было установлено важное влияние, помимо грунтовых вод, и речного размыва с ледоходом на удобоподвижные песчано-глинистые массы: подмыв крутых участков берега не оканчивается временем ледохода, а продолжается уже действием текучей воды, горизонт которой продолжает постепенно повышаться до 8—10 *м* над меженью в половодье (конец мая обычно). По большей части, однако, оползшие и остановившиеся на разной высоте по скату глинистые массы находятся

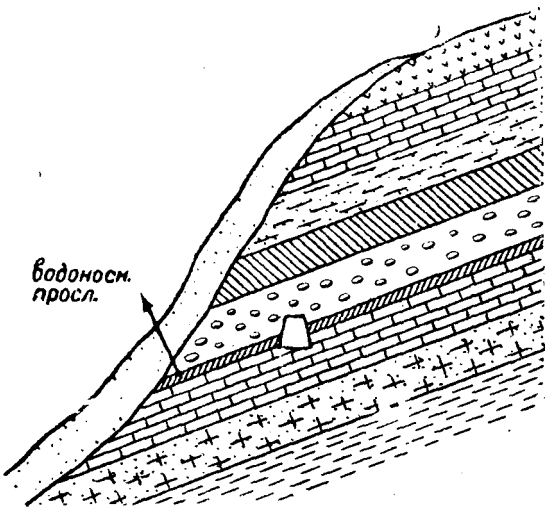


Рис 95.

в состоянии покоя и известного равновесия, особенно если они успели задерноваться, но для нарушения этого временного равновесия достаточно иногда незначительных причин. Такими причинами могут быть даже естественные, например образование свежих промоин и водотеков атмосферных вод, но еще более — всякие оголения почвы, вызываемые распашкою, проведением канав, сооружением новых зданий, а тем более железнодорожных сооружений, особенно без достаточного оборудования при этом отвода ключевых вод. При сооружении в Ульяновске железнодорожной ветви ни строителями ни городом не предвиделась возможность подвижки под полотном железной дороги, между тем как она сооружалась на заведомо неустойчивом грунте, подвижки которого регистрировались чуть не каждый год.

Город передавал железной дороге без всякого предупреждения свои земли, рядом с которыми находились такие крупные ценные сооружения, как шоссе, единственный путь сообщения города с пристанями, многочисленные товарные амбары и пр. Никаких предгарительных геолого-технических исследований сделано не было, лишь большой оползень 1901 г. и полное разрушение железнодорожного полотна выше Смоленского спуска побудили к образованию особой комиссии с приглашением геологов; впрочем комиссия работ не закончила, и вопрос перешел в судебный процесс между городом и железной дорогой. Все побережье около Ульяновска представляет собой один, в сущности, сплошной оползень, местами приостановившийся, местами подвижный. Остановить это движение совершенно или закрепить большую часть берега на более или менее продолжительный срок, если и было бы возможно, то стоило бы таких средств, которыми, очевидно, город и железная дорога не располагали. Это обстоятельство не избавляло однако ни город, ни дорогу, ни отдельных владельцев от посильных мероприятий для отклонения появления возможных подвижек береговых склонов в наиболее опасных и ценных участках побережья. Только что сказанное относится в равной мере и к другим аналогичным районам, ниже описанным (Крым, Одесса и др.).

Помимо оползней в самом Ульяновске, имеется большой оползень в 3 *км* выше его, пришедший в 1902 г. в движение после двадцати лет покоя. Далее известны крупные оползни в Сенгилейском районе Новодевиченских гор и знаменитый оползень, случившийся в селе Федоровке, Хвалынского района в 1839 г., сопровождавшийся местным землетрясением. Все эти поволжские оползни начинаются обвалами верхней части берега; в верхней части преобладают трещины разрыва и смещение по ним отдельных частей оползня, а в нижней части перевес берет сдвигание грунта в складки в силу напирания на него пришедшей в движение тяжелой массы. Один из колоссальнейших оползней Поволжья — на горе Дурманской в Камышинском районе. Близко к оползню в Ульяновске стоит очень упорный оползень у г. Вольска, причинявший постоянно много хлопот Рязано-Уральской железной дороге, поставившей свой вокзал как раз близ места самого сильного сползания и начавшей даже постройку элеватора, разрушенного в самом начале сооружения. На поддержание вокзала и полотна тратились ежегодно большие средства, и впоследствии не раз поднимался вопрос о перенесении вокзала дальше от

города, что последним, однако, на основании контракта, усиленно опротестовывалось. Для решения вопроса неоднократно вызывались специалисты (см. «Известия Геологического комитета» 1910 и 1915 гг.). По инициативе той же Рязано-Уральской железной дороги был исследован вопрос о наиболее безопасном с геологической точки зрения подходе к Увекскому мосту («Известия Геологического комитета» 1915 г. № 6), ввиду оползней между станциями Князеевка и Увек, где полотно проходит в районе сильно развитых старых оползней берега Волги. Сравнивая между собой оползни в Ульяновске и саратовского Поволжья, можно отметить два типа. Различаются они всего легче в пределах нижней части берегового склона, и отличие выражается в том, что оползни одного типа только и ограничиваются береговой полосой. Некоторая часть поверхностного покрова береговой полосы отрывается от вышележащей породы, вследствие устранения или ослабления опоры снизу, вызываемого размывом речного ложа. Отделившийся участок грунта сплывает в реку. Оползни этого типа называются *оползнями соскальзывания* или оползнями-сплывами. Сюда относится оползень в Ульяновске (1902 г.) и Вольский. Волжские оползни другого типа захватывают весь или почти весь высокий берег; движение начинается в верхней части, идет быстрее вверху, чем внизу, и при движении верхних тяжелых масс нижний покров берега сдвигается в складки, покрывается буграми и ямами. Это *оползни-надвиги* — самые большие в Поволжье. Чрезвычайно подробно были изучены хронические оползни, разрушающие почти непрерывно полотно, трубы, будки Сызрано-Вяземской железной дороги на береговой полосе Волги, между ст. Сызранью и Батраками, особенно на 1078 версте (рис. 96).

В результате оказалось, что для полного устранения чрезвычайно большой опасности, какую представляют на данном косогоре части линии Сызрано-Вяземской и Московско-Казанской железной дороги, возможны лишь два решения: или совершенно остановить увеличение оползней на этом косогоре, или перенести путь на другое более безопасное место. При осуществлении первого решения необходимо принять ряд мер на всем данном участке побережья, главнейшие из которых следующие: наивозможно лучший отвод грунтовой воды, устранение возможности проникновения в грунт (разбитый на всем пространстве трещинами) атмосферных вод, укрепление берега от размыва, устранение крутых откосов и пр. При этом все земляные работы должны производиться с особой тщательностью и осторожностью, чтобы, наоборот, не вызвать ими смещения грунта. Все эти мероприятия, к которым еще добавляются постоянные текущие расходы по надзору и поддержанию полотна, требуют столь колоссальных затрат (по заключению геолога А. В. Павлова), не устраняя все же опасности окончательно, что рациональнее перенести линию, произведя тщательные геологические изыскания.

Явления оползней были изучены еще на целом ряде других железных дорог, так на Армавир-Туапсинской и Благодарненской линиях (см. отчеты геолога Чарноцкого в «Известиях Геологического комитета» 1914 г. стр. 328 — протоколы), где они достигают сильного развития, подвергая опасности и Навагинский туннель, также на

Оренбургской и Севастопольской. На последней довольно давно (1890 г.) обнаружилось перемещение одного из устоев моста через Графскую балку, вследствие скольжения грунта по наклонному, временами сильно намокающему прослою глины среди слежавшегося и уплотнившегося материала осыпей, образующих склоны балки и принятых за коренную породу; вследствие неправильного заложения мостового устоя, опущенного на осыпь, пришлось впоследствии заменить Графский виадук насыпью. Принимая даже вторичный грунт за коренной, можно было заранее предвидеть явления перемещения почвы, если бы обратили должное внимание на характер циркуляции подземной воды. Сползания были обнаружены и исследованы в 1910 г. («Известия Геологического комитета» 1911 г., протоколы, стр. 50) на 983—984 версте Севастопольской линии под самым городом вдоль Килен-бухты, причем сползшие части выступали из моря в виде рифов. Процесс, однако, здесь, повидимому, остановился и за последние годы не возобновлялся. Причина этих оползней заключалась в наличии водного горизонта на границе глин и известняков, который следовало бы перехватить дренажем. Особенно опасным является проведение туннелей в массе оползней, быстро после постройки искривляющихся, требуя затем весьма дорогих дополнительных сооружений. Известна подобная неудача с Мюльтальским туннелем на Бреннерской железной дороге в Швейцарии, потребовавшая возведения большой опорной стены, вделанной в коренные породы. В этих случаях необходимо проводить туннели возможно глубже, дальше от поверхности склонов. Подвижные осыпи наделали весьма много хлопот между прочим на подходах к Сурамскому туннелю на Кавказе. Довольно неблагоприятные условия в смысле оползней были констатированы при проведении Кругобайкальской железной дороги на восточном участке. Сползание, вызываемое деятельностью грунтовых вод, значительно усиливалось неблагоприятными условиями залегания пород с падением в сторону Байкала и вдобавок более крутым (39°), чем угол естественного откоса пород (песчано-глинистой третичной свиты). У Киева на берегу Днепра почти ежегодно образуются оползни, причиняющие большой вред населению, которые обусловливаются наличием двух водоносных горизонтов в горизонтально лежащей третичной свите. Наконец, мы имеем ряд случаев оползания склонов, даже сложенных обратно падающими свитами, т. е., так сказать, оползания «против шерсти». К таковым частью относятся большие оползни ряда мест Южного берега Крыма (Алупка, Семеиз, Ливадия, Кучук-кой, Мухалатка, Тессели, Форос и др.), сложенного как раз падающими от моря глинистыми сланцами, подстилающими известняки Яйлы (рис. 97). Выходы сильных источников на верхней границе сланцев обусловливают благополучие и бедствие ряда лучших курортов. Неупорядоченные ключи эти, плохие каптажи, испорченные водопроводы и канализация, бесхозяйственность вызывают намачивание толщи древних оползней и катастрофическое их оживление, грозящее совершенно уничтожить самые культурные уголки. Этот же вопрос очень грозно встанет и перед строителями проектированной Южнобережной железной дороги.

Деятельность моря, как и рек, часто значительно способствует раз-

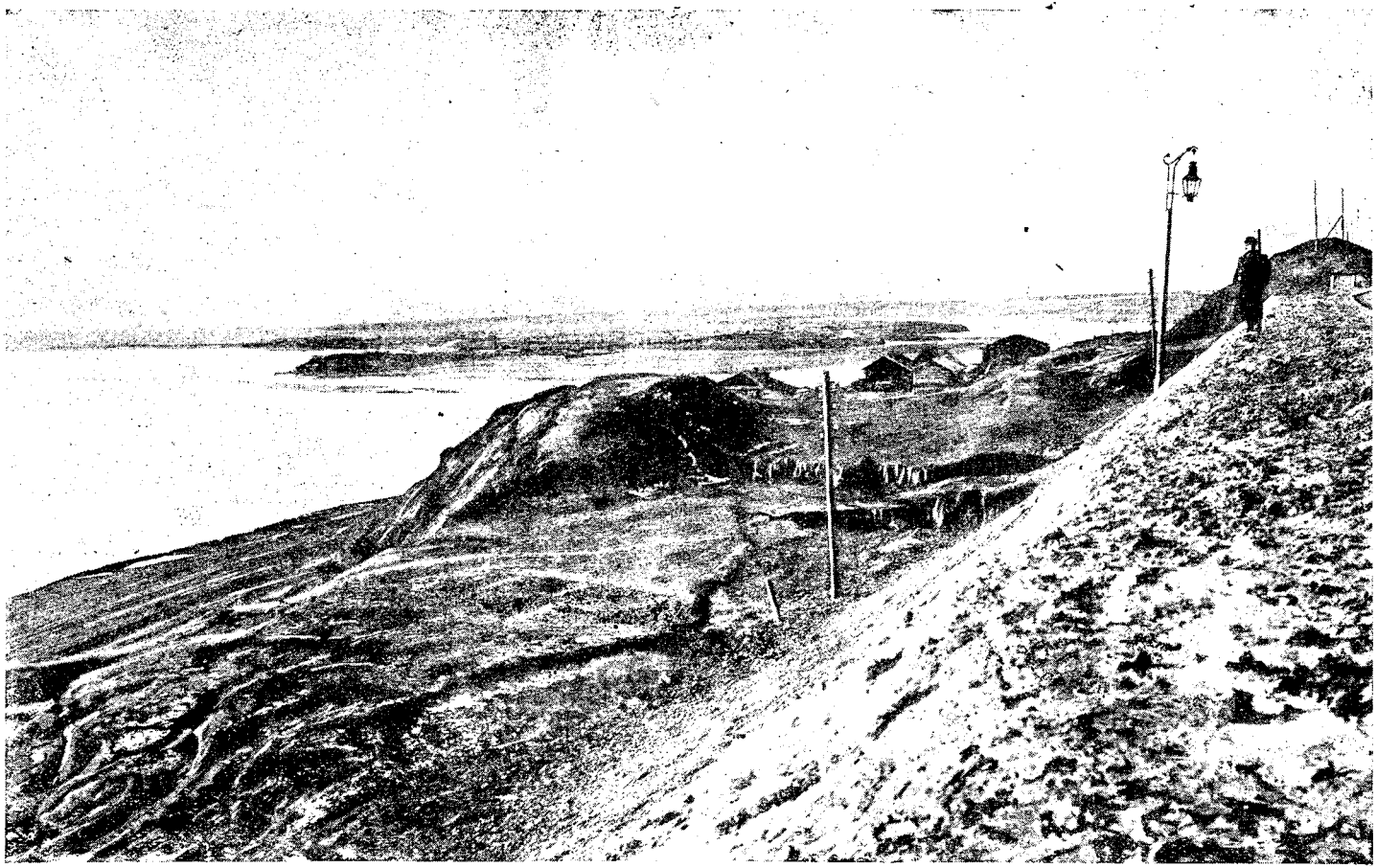


Рис. 96. Оползни и оседания правого берега Волги у Батраков на Самаро-Златоустовской жел. дор. (в 1903 г.).

рушениям оползнями (рис. 98). Лучшими примерами этого являются береговые оползни в Дорсешайре при Ляймреджисе (Англия) и у г. Одессы. В первой местности под давлением сползших внезапно

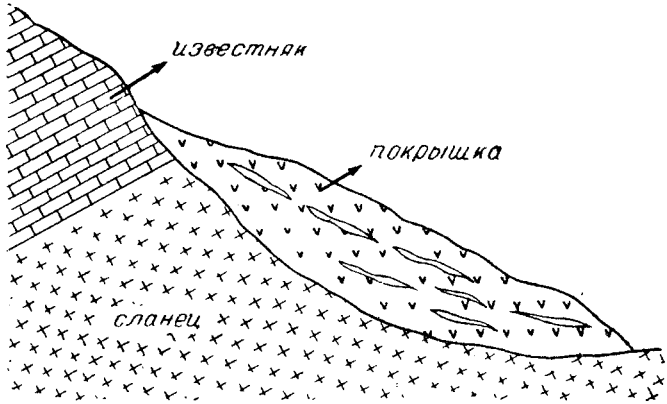


Рис. 97. Элементарная схема геологического строения Южного берега Крыма.

громадных масс (1839 г.) со дна моря выдвинулся гребень до 1 мили в длину и 14 *м* высоты. Подобные же, но меньшие выпячивания наблюдались в Одессе и в Алупке (против фруктового сада

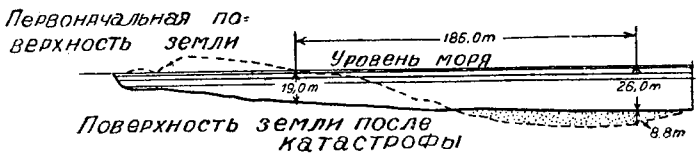


Рис. 98. Катастрофическая осадка, сползание песков (Голландия), происходящее после больших приливов при отливе. Наибольшая подобная осадка сместила 1 600 000 $м^3$ песка.

«майората» и дачи «Медже»), с 1919 по 1923 г. произошло двухметровое поднятие морского дна. В Одессе (рис. 99) громадные оползни разрушают побережье вместе с подмывом морем с давних пор. Их изучением занято было много лиц, начиная с Гаюи (1813 г.). История вопроса подробно изложена в докладе инженера Нудельмана на II Съезде по практической геологии. Море размывает горизонт глин, по которому одновременно скатываются обильные подземные воды, разжижая его; этот пластичный слой, к тому же слегка наклонный к морю, вызывает сползание отделяющихся вследствие сильной трещиноватости больших масс вышележащих известняков.

Общий характер геологического строения Южного берега Крыма представляется в таком виде. С севера этот берег ограничивается высокой цепью Крымских гор, южный склон которых имеет вид крутого, местами почти отвесного обрыва, сложенного из мощной толщи известняков буровато-желтого цвета, имеющих слабое падение к северу и образующих Яйлинское плато. Известняки эти подстилаются мощной же толщей темносерых, почти черных глинистых сланцев с подчиненными им прослоями песчаников и известняков. Сланцевая толща слагает все побережье от яйлинских известняков до самого моря, и только местами она

прорвана выходами изверженных пород. Дневная поверхность этих сланцев, покрытая у подножья Яйлы громадными осыпями известняков, одета более или менее мощным покровом делювия, образованного продуктами механического и химического разрушения как известняков, так и сланцев (рис. 97). Известняковый делювий буро-желтого цвета, сланцевый — темносерого, оба имеют в общем вид глинистой массы с запутанными в ней более или менее крупными и многочисленными, обычно остроугольными, кусками известняков или песчаников, причем куски, вернее, глыбы известняка достигают иногда весьма значительных размеров. Характерной особенностью делювия является то, что в сухом виде

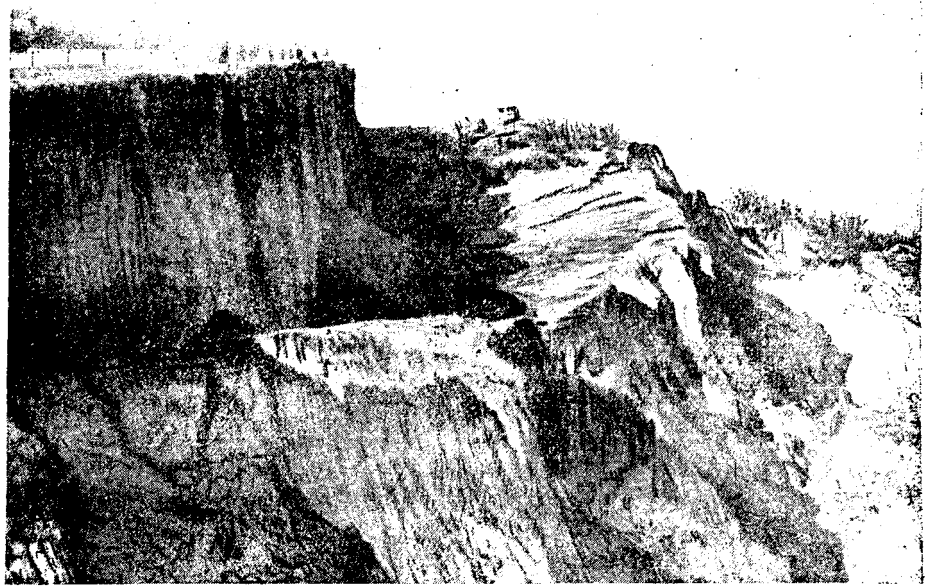


Рис. 99. Оползни морского побережья у Одессы.

он представляет плотную породу, весьма устойчивую в смысле сопротивления давлению, но в соприкосновении с водой порода эта сравнительно легко впитывает в себя воду и постепенно, по мере намокания, теряет свою устойчивость, переходя далее в состояние пластического теста, оплывающего вниз по тальвегам и уносящего с собой или сдвигающего вниз попадающиеся на пути сооружения, деревья и даже целые участки земли. Если такой поток встречает сопротивление, которое не может преодолеть, то он переползает через него, характерный пример чего можно констатировать в Алупке, где оплывающая масса непрерывно переползает поверх опорной стенки в тех местах, где не смогла ее сдвинуть или опрокинуть (между дачами «Мéдже» и «Ай-Петри»).

Верхняя поверхность Яйлы представляет обширное плато с широко развитыми на нем карстовыми явлениями, и потому выпадающие на плато атмосферные осадки в значительном количестве поглощаются в почву и попадают, при помощи воронок и других форм карстовой поверхности, в толщу известняков, среди которых и циркулируют по трещинам и пустотам, опускаясь до водонепроницаемых подстилающих известняки глинистых сланцев, над которыми эти воды собираются, образуя определенный водоносный горизонт, питающий ряд более или менее обильных водой источников, выходящих на южном берегу у под-

ножия Яйлы и дающих хорошего качества питьевую воду. Воды этих источников и являются главнейшими ресурсами для всего водного хозяйства Южного берега Крыма; с другой стороны, эти же воды, попадая в делювиальные отложения, размачивают их и являются причиной образования многочисленных здесь оползней. Отсюда следует, что простое упорядочение водопользования уже может оказать весьма благоприятное действие на уменьшение количества оползней. Это положение подтверждается целым рядом конкретных примеров.

Регулирование стока поверхностных вод является одной из существенных сторон борьбы с оползнями, в чем можно было убедиться в Алупке на длинном ряде примеров образования мелких оползневых фокусов в таких местах, где поверхностные воды почему-либо застаивались, размачивали обладающие указанными выше специфическими особенностями делювиальные отложения и приводили их в движение. Примеры этого можно видеть буквально на каждом шагу — непрочищенный лоток шоссейной дороги, отработавшая поливная вода, спущенная с поля куда попало, лопнувшая водопроводная труба или водосборный бассейн тотчас же дают начало небольшому оползню. Мелкий, но характерный случай был указан одним из местных жителей, который обычно, поливая свой огород напуском воды из водопроводного крана, открывал последний на небольшой промежуток времени, но однажды забыл закрыть кран после поливки и лег спать. На утро его разбудил сосед, живущий ниже по склону, земля на участке которого оказалась сырой, и дом которого дал трещину.

Так как за годы 1917—1927 ремонта водопроводных и канализационных сооружений или шоссейных дорог, можно сказать, почти не производилось, то случаи образования оползней, вследствие дефектов в этих сооружениях, в Алупке весьма многочисленны. Большую опасность представляет также практикуемая здесь поливка огородов напуском воды, так как хозяева заботятся, главным образом, чтобы получить воду; куда же эта вода должна течь после поливки огорода — их совершенно не интересует, и они просто выпускают воду куда попало.

Кроме того, почти во всех каптажах крупных источников, эксплоатирующихся для водопроводов, водопроводные трубы не успевали отводить прибывающую воду источников, лишняя вода переливалась через особые трубы или просто через края каптажа, но дальнейший сток этих избыточных вод оставался совершенно неурегулированным и местами начинал уже производить разрушения (например Суук-Су). Эти условия также должны быть приняты во внимание при выработке мероприятий по борьбе с оползнями.

Если добавить к этому необходимость изучения степени увлажнения делювиальных отложений под влиянием непосредственно на них выпадающих дождевых и ливневых вод, а также вод, образующихся при сноготаянии, скорость и условия высыхания делювия вследствие испарения, влияние дренажа на это высыхание, наблюдение над дебитом и колебанием уровня подземных вод, питающих оползни, и пр. и пр., то станет совершенно ясной необходимость организации всех этих наблюдений в течение круглого года, т. е. устройство постоянной оползневой станции в Кучук-кое со специально разработанной программой наблюдений.

В 1924 году в домах, расположенных в возвышенной части Одессы, появились трещины, и дома, числом свыше 100, осели в том или другом размере, а верхняя часть береговой полосы, длиною около 40 *м*, спустилась двумя уступами, высотой около 1 *м* каждый. Такое движение берега сравнительно с многочисленными в литературе прежними оползнями не представляется еще значительным. Оползшею в данном случае является как бы только верхняя часть берега, сложенная из лёсса, обнажающегося здесь в виде почти вертикальных обрывов высотою около 20 *м*. Между подножием лёссового обрыва и морем лежит береговая полоса, шириною в этом месте около 400 *м*, покрытая продольными рядами параллельных берегу бутров — остатков прежних оползней. В ближайших к морю буграх, размываемых действием волн, видны более или менее значительных размеров глыбы известняков, наклоненных под самыми различными углами к горизонту (рис. 99 и 100).

Подземные воды выходят на поверхность у подошвы коренных берегов в виде ряда ключей, расположенных на 46 *м* выше уровня моря и частью пробивающих себе небольшие русла в береговой полосе до самого моря, частью же вода их теряется, уходя в землю.

Одесские оползни происходят следующим образом. Вдоль береговой полосы образуются вертикальные трещины, прорезывающие всю толщу пород до известняков включительно, затем весь отделенный трещинами массив начинает скользить по поверхности глея, двигаясь нижней своей частью к морю, причем верхняя

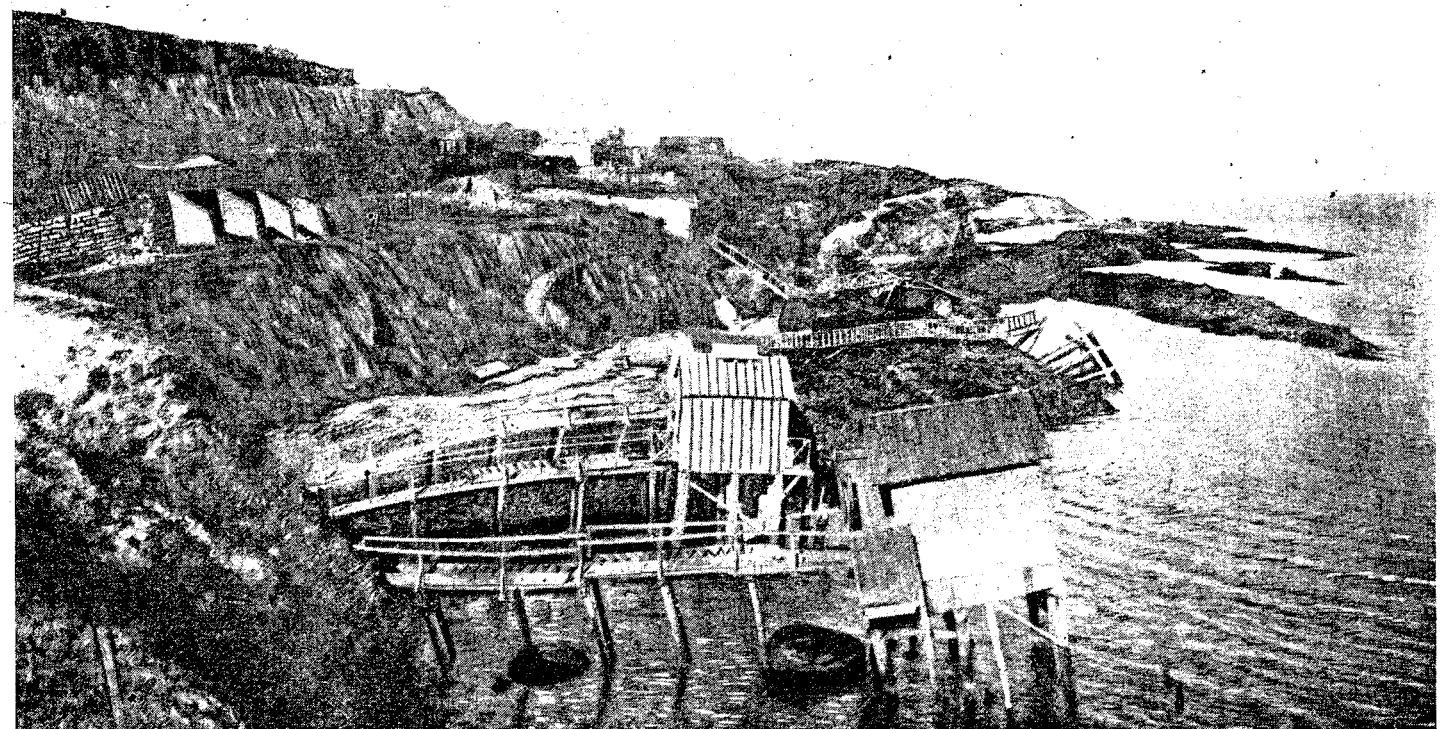


Рис. 100. Оползни морского побережья у Одессы (см. рис. 99). Видно выпячивание дна моря параллельно берегу.

часть наклоняется к коренному берегу и опускается все ниже и ниже. Одновременно с этим впереди такого оползня происходит волнообразное выпучивание отложений, слагающих не только береговую полосу, но и ближайшие части морского дна, где иногда образуются параллельные берегу косы и острова. Уже из этого краткого описания видно, что это явление много сложнее, чем его обычно объясняют, полагая, что тут происходит вымывание глея водами источников из-под подошвы известняков, образование пустот под последними и затем простое оседание известняков в силу тяжести.

К сожалению, несмотря на почти столетнюю обширную литературу, касающуюся одесских оползней, до сих пор специальных исследований для выяснения причин этого явления произведено не было, до сих пор не имеется детальной геологической карты, которая иллюстрировала бы фактические изменения геологического разреза пород в различных пунктах окрестностей Одессы, условия их залегания и пр., а такие изменения существуют и имеют большое значение в вопросе об оползнях; нет до сих пор гидрогеологических данных, например, о площадях и условиях питания развитых здесь водоносных горизонтов, нет точных данных о том, который водоносный горизонт оказывает наибольшее влияние на оползни, и пр.

Но без всех этих данных никакая рациональная борьба с оползнями невозможна, и причиняемые ими бедствия будут, несомненно, продолжаться. Примеров того, к чему приводили плохо обоснованные попытки борьбы с оползнями, имеется несколько. Из них укажем на проведенную в 1883 г. в известняках галлерею для перехватывания воды второго горизонта на мысе Большой Фонтан. Галлерея воды почти не давала, а оползни продолжались уже в следующем году. По данным профессора И. Ф. Синцова оказалось, что в этом месте имеется еще водоносный горизонт на $^2/_3$ *м* ниже известняков, с которым оползни и связаны, и что дренажную галлерею здесь следовало углубить около 2 *м* ниже известняков, и тогда она могла бы дать совершенно другой эффект. Другой пример — Ланжероновская штольня с водосборной галлереей под Черноморской улицей, которая была заложена без предварительных разведочных работ и также не дала надлежащего эффекта, а при последующих оползнях устьевая часть ее оказалась обвалившеюся и закрывшей выход из нее воды.

Проведенными здесь впоследствии буровыми скважинами была выяснена и причина неуспеха этой штольни, именно, оказалось, что подошва известняков постепенно понижается по направлению от Ланжерона к Лермонтовскому переулку, и галлерея поднималась все выше и выше над этой подошвой, и воды второго горизонта оказывались ниже дна галлереи, т. е. не могли в нее попадать.

Сочинское побережье Черного моря давно известно как область широкого распространения оползневых явлений. Геологическое строение береговой полосы представляется здесь в следующем виде.

Более или менее круто наклоненные к морю коренные берега сложены из пород нижнетретичного или верхнемелового возраста, представленных здесь в виде чередования многочисленных тонких слоев глинисто-мергелистых и песчаниковых отложений, круто падающих к морю и покрытых тонким слоем наносов или приспоненными к ним террасовыми образованиями. Песчаники являются обычно трещиноватыми водопроницаемыми породами, глинисто-мергелистые отложения — водоупорными, что, при обилии выпадающих атмосферных осадков, создает весьма благоприятные условия для смачивания поверхностей глинистых отложений и скольжения одних из пластов по другим или же для соскальзывания наносов по поверхности коренных пород.

Более или менее крутые береговые склоны отделены от уреза воды узкой слабо наклоненной к морю полосой галечников, волноприбойной террасой, так как здесь происходит не отлагающая деятельность моря, а разрушение берега прибоем волн. Разрушение происходит в тех частях берега, где направление волн более или менее перпендикулярно к направлению берега, если же волны ударяются в берег под углом, то одновременно с разрушением берега возникает береговое течение, которое переносит часть материала и отлагает его там, где береговая линия образует изгибы и где может образоваться пляж. Разрушая подошву берегового склона, море прорезывает тонкие слои слагающих берег круто наклоненных коренных пород и тем приводит всю вышележащую часть склона в неустойчивое положение, в результате чего, при наличии благоприятных условий, эта масса начинает сползать вниз по склону.

Аналогичные явления создаются иногда деятельностью человека, например, при проведении железнодорожной линии по крутому береговому склону, когда

полувыемкой прорезывают серию тонких круто наклоненных пластов и тем лишают их естественного упора.

В тех местах, где береговые склоны прорезываются реками, впадающими в море, появляются оползни и других типов, развивающиеся как в коренных породах, так и в наносных образованиях, и, наконец, вторичные оползни в ранее оползших массах.

В трудах того же II Съезда по практической геологии содержится работа проф. К. Богдановича, посвященная геологическим условиям сооружения Черноморской железной дороги от Туапсе до Ново-Сенак, т. е. в богатом оползнями районе побережья Черного моря. Особенностью данного района является то, что оползни развиваются на всех распространенных там геологических свитах, от твердых известняков около Гагр до рыхлых конгломератов между Сочи и Дагомысом, а не приурочены к какой-либо одной (как в Одессе). Условиями, определяющими легкую здесь подвижность береговых склонов являются: частый наклон слоев в сторону склона, чередование водопроницаемых и водоупорных слоев пластов, трещиноватость многих пород, частые изменения в направлении движения подземных водотоков среди масс старых оползней. Внешними причинами, возбуждающими движение масс, находившихся в устойчивом состоянии, служат: размывающая работа прибоя морских волн, временное повышение количества подземных вод как от естественных причин, так и искуственных при спуске воды с шоссе, и устройство культурных участков на верхней части склонов и в особенности громадное количество осадков. Оползни вдоль побережья между Туапсе и Сухумом не представляют, конечно, непрерывных смещений косогоров, за исключением Сухумского, протягивающегося на несколько километров. Тем не менее во многих случаях, например между Сочи и Хостой, является очень затруднительным точное определение протяжения отдельных оползней; следы старых подвижек наблюдаются на каждом шагу, и то, что сегодня кажется устойчивым, может дать подвижку завтра. Постройка полотна на некоторых участках (между Хостой и Дагомысом и под Сухумом) является исключительно трудной, требуя весьма точных предварительных разведок, а в некоторых случаях, как между Мацестой и Бзугой, выгоднее было бы ценою проведения туннелей уклониться от линии берега. Уничтожение лесов и нерациональное иногда землепользование грозит в ближайшие годы катастрофическим усилением оползней Сочинского района.

Обширная литература по оползням содержится также в работах по исследованию результатов различных землетрясений (особенно семиреченских 1887 и 1911 гг.). Хотя ближайшие причины отделения масс такого рода оползней внезапные, чуждые им самим, сейсмические, но целый ряд условий подготовительных и форма процесса являются общими и для обычных случаев. С другой стороны, обвалы по преимуществу происходят от землетрясений, и в этом отношении наилучшим примером могут служить упоминавшийся ранее грандиознейший Усойский обвал на Памире, весьма подробно описанный И. Преображенским. В последнее время намечается возможность применения для изучения и предсказания оползней особых упрощенных сейсмографов.

Весьма большой интерес представляет богатый опыт, накопленный строителями Панамского канала, в высокой степени страдающего от гигантских оползней.

Движения берегов озер, как особого рода оползневые движения, получили значительное развитие за последнее десятилетие, вследствие использования естественных озерных котловин для устройства на них напорных установок. Значительное число случаев таких движений было исследовано в Швейцарии и северной Италии. Движения происходят преимущественно по краям дельтовых образований, но бывают также и на озерных береговых террасах. Согласно Поллаку, причина движений заключалась в нагрузке поверхности дельты строениями, отвалами (мусором) и насыщении дельтовых отложений талыми водами при низком уровне стояния воды в озере.

Берем у Терцаги ряд примеров. Так, на озерах Ритом и Давосе происходили многочисленные оползни в дельтовых отложениях. Они появились, когда нормальный уровень воды на озерах понизили на 18 *м*. Угол падения склона был здесь 17—20°. В Давосе 7 февраля 1923 г. часть дельты ручья Тодальи, сложенной из мелкого серпентинного песка с большой примесью гальки, потекла в озеро после того, как уровень воды в нем был понижен на 42 *м*. Оползший сегмент имел длину 300 *м*, высоту стрелы оползня 80—90 *м*, и оползшая масса представляла объем в 900 000 $м^3$. Ледяной покров озера, толщиной 80 *см*, был раздроблен, и оползневая масса продвигала впереди себя слой ила мощностью в 3 *м*.

Только что описанные, а также и другие многие движения озерных берегов представляются настоящими потоками пород, сопровождающимися внезапной осадкой грунта, и как таковые трудно поддаются количественному учету, так как внутреннее трение песка и момент истечения неизвестны. Условия, подготовляющие такие движения, можно указать следующие: обстоятельство, связанное с происхождением самой дельты, именно, что в основании дельтовых отложений очень часто встречается слой ила или грязи, и то обстоятельство, что при понижении уровня воды в озере давление на слой ила увеличивается. Вследствие слабой водопроницаемости ила происходит значительная разница фаз между увеличением нагрузки на ил и соответствующим ей увеличением сопротивления трению. Вследствие этого при понижении уровня воды или увеличении налегающей на слой ила нагрузки могут произойти местная перегруппировка частиц пород и их осадка, которые, как указано выше, производят оседание потоков пород.

«Оползни насыпей происходят или вследствие превышения предела устойчивости грунта в основании насыпи, или вследствие недостаточной устойчивости тела насыпи.

Если бы увеличение действующего на глину давления было связано с немедленным же увеличением сопротивления глины скольжению, то скольжение могло бы осуществиться только в том случае, если бы угол падения поверхности глины доходил по меньшей мере до 14° ($tg\ 14° = 0{,}25$). Но этого в данном случае нет. Если на поверхности этой почвы вывести насыпь высотою 12 *м*, то давление на поверхности глины тотчас же увеличивается до пятикратного против первоначального; сопротивление скольжению грунта по глине только тогда примет свою нормальную величину, именно $5 \times 12 = 60$ *т* на 1 $м^2$, когда соответствующее повышению давления количество воды вытечет из глины в водопроницаемый грунт. Вследствие малой водопроницаемости глины такая отдача воды происходит очень медленно. Тотчас же по окончании насыпи пласт глины ведет себя так, как если бы коэфициент трения между грунтом и глиной уменьшился с 0,25 до $^1/_5 \times 0{,}25 = 0{,}05$. Вследствие этого насыпь вместе с подстилающим ее пластом грунта может начать ползти даже в том случае, когда поверхность глины имеет падение не более 3° (1 : 20). Чем выше насыпь, тем меньше критический угол падения поверхности глины. Это положение имеет многочисленные доказательства в оползневой литературе.

В долине р. Брент близ Гатвеля в Англии была возведена 15-метровой высоты насыпь на почти горизонтально залегающем слое лондонской глины, мощностью несколько метров. Глина залегала на пласте водоносного гравия, и ось насыпи была заложена в расстоянии около 90 *м* от берега в мелкой, углубленной в лондонской глине долине р. Брент. Вследствие указанных выше физических свойств расположенная со стороны реки половина насыпи сползла и продвинула перед собой всю полосу земли, расположенную между насыпью и рекой, причем

поверхность соприкосновения между глиной и хрящем явилась поверхностью скольжения. Берег р. Брент был продвинут на 15 *м* в реку.

Осенью 1875 г. насыпь Зальцбург-Тирольской железной дороги вместе с подстилающей ее породой сползла на несколько сантиметров вниз по направлению к долине по «взмыленной поверхности скольжения», угол падения которой был всего 4° (tg 4° = 0,07). В следующую весну движение повторилось, очевидно, вследствие увеличения веса, полученного насыпью от выпавших весенних атмосферных осадков. Из этого наблюдения был сделан строителями неправильный вывод, что нормальный коэфициент трения суглинка по тегелю будет равен 0,07. Если бы насыпь имела только половину ее высоты, то оползня бы не произошло.

Особенно интересен оползень железнодорожной насыпи, который произошел в 1910 г. на Лимберской насыпи после прокладки второго пути на участке Цирсдорф — Эггенбург (железная дорога Франца-Иосифа, Нижняя Австрия, Рампе, подъем от долины Дуная к Нижне-австрийской богемской возвышенности). Прокладка второго пути последовала в 1903 г. Грунт состоит из суглинков, глубже залегает глина, а также песок и галька. Эти отложения имеют возраст от современного до третичного и залегают слоями различной мощности непосредственно на первозданных породах, главным образом на граните, который только в немногих местах выходит на поверхность. Насыпь имела в длину 300 *м*, высоту в среднем 5 *м* (максимум 7 *м*) и покоилась на косогоре с уклоном 1 : 6. Осенью 1910 г., богатою осадками, было установлено, что низовая половина насыпи начала отделяться от нагорной и ползти в сторону долины. Поверхность скольжения залегала на глубине около 5 *м* ниже поверхности земли, на границе между довольно сухим «сильно перемятым» и несколько более плотным, но сырым желтым суглинком и имела уклон 1 : 12 (tg угла падения равен 0,083). Движение охватило на низовой стороне полосу земли длиною 150 *м*. Эта полоса двигалась глетчерообразно со средней скоростью около 0,75 *м* в месяц вниз к долине. После сильных дождей скорость движения увеличилась. Явление происходило, несомненно, следующим образом: косогор, нагруженный насыпанной в 1903 г. землей, был близок к границе равновесия, как это следует из наблюдавшихся здесь многочисленных мелких подвижек. Получившееся в 1910 г. более сильное просачивание тела насыпи увеличило вес ее и повлекло за собой образование обширной поверхности скольжения.

Начавшееся при этом движение произвело образование трещин на обращенной к долине части склона, и разбитый трещинами участок после заполнения трещин дождевыми водами оказался подобным раньше сползшей глинистой массе. Ввиду сомнительности, чтобы какие-либо дренажные сооружения могли при данных условиях оказать полезное действие, было решено заменить в этом месте насыпь виадуком.

Оползания насыпей вследствие недостаточной устойчивости материала, из которого они возведены, по своему характеру весьма сходны с оползнями откосов выемок и представляются столь же разнообразными. Чаще всего в подобных случаях происходят срывы по поверхности скольжения, при которых часть откоса оползает по вогнутой поверхности скольжения.

Примером совершенной противоположности, именно образования оседающего потока, может служить оползень насыпи в Ронгейде на железнодорожной линии Аахен — Гербесталь. Насыпь была высотой 12 *м* и состояла главным образом из мелкого песка. Спустя 40 лет после ее сооружения эта насыпь после сильных дождей внезапно потекла как раз в то время, когда по ней шел поезд. В противоположность оползанию наносных образований можно привести пример насыпи, сложенной из глинистого ципридинового сланца у Грассета (линия Эрег — Карлсбад), которая весной потекла в долину в виде грязевого потока.

Многие инженеры предубеждены против глины, как материала для насыпей. Против этого предубеждения следовало бы указать, что при известных условиях глина представляет превосходный материал для насыпей.

Около Мемфиса, Теннесси, на западном берегу Миссисипи, дамбы, предохраняющие против высоких вод, состоят из чистой жирной глины с пределом текучести 75 и пластичности 35. Внутри затоплявшейся площади как железнодорожные, так и вообще дорожные насыпи сложены большею частью из того же материала. Насыпи имеют высоту до 12 *м*, и уклон их откосов от 1 : 1,5 до 1 : 2,5. Весной 1927 г. насыпи были покрыты доверху водой. Тем не менее, исключая нескольких поверхностных чешуйчатых подвижек, никаких повреждений в насыпи не произошло.

Устойчивость тела насыпей, так же как и откосов выемок, зависит не только от известной величины силы сцепления, но и от возможности постепенного или внезапного уменьшения силы сцепления или трения. С этой точки зрения легко выветривающиеся породы представляются значительно менее надежными, как материалы для насыпей, нежели жирные глины. Многие ошибки при возведении насыпей должны быть отнесены за счет неправильности предположения, что плотная вынутая при землечерпании глина при насыпке ее дает откос, в статическом отношении сходный с откосом песка. Устойчивость таких откосов зависит не только от трения, но и от сцепления. Вследствие этого степень надежности откосов насыпи, сложенной из глины, в противоположность песчаным откосам, уменьшается с увеличением высоты насыпи» (см. § 45).

Игнорирование особенностей строительства в оползневых районах весьма обычно; очень редко встречаются случаи, где, правильно или неправильно, но эти особенности были бы учтены строителями.

А потому и немудрено, что в оползневых районах можно встретить целый ряд крупных дорого стоивших построек и других сооружений в самых различных стадиях разрушения. Относительно некоторых из них можно было бы заранее сказать, что таких построек в данном месте сооружать не следует, или что их сооружение потребовало бы очень больших предварительных затрат для надлежащего укрепления данного участка. Относительно других участков вопрос об их устойчивости для возведения на них капитальных сооружений мог бы быть решен только предварительными специальными исследованиями. Для третьей категории участков вопрос связывается с принятием некоторых предупредительных мер в виде специальных дренажей, правильной организации водопользования, наконец, в проектировании соответствующих данным условиям фундаментов под здания и некоторых особенностей в самой постройке. И, наконец, четвертая категория участков может считаться достаточно устойчивой для возведения на ней крупных построек, при условии, конечно, правильной организации отвода весьма обильных ливневых вод и при надлежащем функционировании водопроводных, канализационных и пр. сооружений.

Отсюда вытекает, что при выборе мест для возведения новых крупных построек в оползневых районах необходимо предварительное обследование намеченных участков и, может быть, производство разведочных работ для выяснения характера и объема необходимых предупредительных мер.

Количество примеров всевозможных оползней во всех странах весьма велико и точным классификациям не поддается. Сумма бедствий и убытков, причиняемых этим малозаметным и лишь в особых случаях действующим на воображение людей геологическим фактором, колоссальна и недостаточно еще оценивается, а если и оценивается, то обыкновенно лишь задним числом, post factum.

§ 34. Проточные воды

Кроме сопротивления, которое приходится преодолевать потоку, геологическая деятельность проточной воды зависит от ее работоспособности — силы. Из формулы для живой силы тела

$$W = \frac{1}{2} mv^2$$

вытекает, что способность воды производить работу зависит от величины находящейся в движении массы (m), т. е., другими словами, от движущегося количества воды и скорости движения (v).

Скорость движения воды определяется в первую очередь наклоном поверхности стока, но обусловливается также и другими обстоятельствами, как то: трением воды о дно и берега русла, шириной и глубиной сечения его и др.; скорость течения возрастает, например, с гладкостью боков русла, с глубиной воды и с узостью русла,

подобно тому как она увеличивается с возрастанием уклона. Она достигает в горных бурных потоках 3—12 *м* в секунду, в реках 1½—3 *м;* если же они медленно извиваются по равнине, то ⅔ *м* и иногда даже несколько дециметров в секунду.

В поперечном сечении реки в пределах прямого равномерно развитого ее участка наибольшая скорость обнаруживается в середине русла, в наиболее глубокой части потока, уменьшаясь отсюда вместе с уменьшением глубины по мере приближения к берегам; у берегов и на дне поглощающие силу и замедляющие движение сопротивления трению наиболее значительны; но движение воды немного замедляется на поверхности ее также и трением о воздух, почему наибольшая скорость течения встречается во всяком речном сечении немного ниже поверхности; на поверхности скорость течения составляет лишь 0,80—0,85 максимальной. В местах изгибов линия наибольшей скорости течения смещается вместе с наиболее глубоким местом сечения, так называемым стержнем, в сторону вогнутого берега. При подъеме воды в реке не только возрастает скорость течения, но середина поверхности воды поднимается выше краев ее, которые, как и в ледниках, могут оказаться по отношению к середине значительно опущенными; вследствие этого образуются также давящие усилия, направленные от середины реки к берегам. Во время спадания воды, наоборот, поверхность середины реки опускается по отношению краев, с которых происходит к стержню стекание воды, вызывающее отсасывание берегов; обвалы берегов встречаются поэтому значительно чаще и на большем протяжении при спадении воды, чем при подъеме ее.

Количество воды в реке зависит в первую очередь от размеров питающего ее бассейна.

Наряду с величиной бассейна большое значение имеет также количество осадков данной местности, при этом не столь существенна высота осадков, сколько отношение количества их к испарению.

Количество воды в одном и том же потоке чрезвычайно колеблется в зависимости от времени года, распределения осадков и ряда других обстоятельств. Более значительные количества воды накапливаются временно как вследствие увеличения осадков, так и благодаря запруживанию потока. К первой причине принадлежат также быстрое снеготаяние, скорое таяние выпавшего града, сильные ливни и летние длительные дожди. Уровень потоков при этом поднимается тем более, чем сильнее уже увлажнена почва и чем слабее проявляется испарение, степень которого опять-таки определяется продолжительностью дождей, временем года или дня, температурой воздуха и степенью влажности воздуха. Запруды потоков вызываются оползнями, заторами, обвалами, ледниковым и донным льдом и т. п. Накапливающее действие климатических факторов в отношении его последствий значительно ослабляется растительными покровами почвы, уменьшающими стекающее с поверхности количество воды, задерживая часть осадков в своих пределах, впитывая их или же облегчая их испарение.

К сказанному можно еще добавить, что искусственный альпийский луг, например, задерживает приблизительно втрое больше воды, чем естественное альпийское пастбище.

Количества вод, стекающих вследствие сильных дождей или ливней, достигают иногда громадных размеров. По Форххеймеру,[1] например, наблюдались следующие максимальные количества стока:

	Площадь бассейна в $км^2$	Сток в $м^3$ воды на 1 $км^2$ бассейна
Витгенбах (Верхн. Лаузиц)	7,4	10,5
Кемницбах	16,5	9,82
Леонгадбах (у Граца)	26,6	8,39
Нейдлингбах (у Вены)	29,4	5,72
Рейхенбах (Кантон Берн)	53	8,72
Плискин у Герренгута (Лаузиц)	58	6,62
Аупа (Исполинные горы)	77	4,03
Мург у Фрауенфельда (Тургау)	211	2,25
Квейс у Марклиссы (Силезия)	303	2,89
„ у Лаубана „	485	1,77
„ при устьи „	1 006	1,15
Верхн. Рейн у Иланца (Швейцария)	776	1,10
Авизио (Тироль)	942	1,06
Бобер у Гиршберга (Силезия)	1 042	1,19
„ у Мауера „	1 210	0,99
„ у Оберкешен „	2 057	0,90
Нессе у Обенмускау „	2 469	0,86
Траун у Вельса (Верхн. Австрия)	3 580	0,53
„ у Ебельсберга „	4 264	0,50
Рейн у Модера (Швейцария)	4 300	0,58
Зальцах у Лауфена	6 124	0,65
Этш ниже Алы	10 559	0,31
Дунай у Вены	101 550	0,10

Вышеприведенный краткий обзор показывает, что сток в половодье при остальных равных условиях тем больше, чем меньше площадь области питания; плотность дождей в обширных бассейнах местами меняется, и сток воды распределяется на более продолжительный срок. Сверх того большие половодья связаны особенно сильно с определенными поясами или районами. В равнинных странах половодья проявляются в умеренных размерах, в горах же обычно бывают очень высокими.

Для математического исчисления максимального количества высоких вод, могущего для инженера иметь существенное значение, предложен целый ряд более или менее применимых формул. Такой является, например, формула Гоффбауера:

$$Q = \alpha\, 60 \sqrt{F},$$

в которой Q — количество воды в кубических метрах в секунду, α — условный коэфициент стока и F — площадь бассейна в квадратных километрах. Коэфициент стока α колеблется в следующих пределах:

Для равнины	от 0,25 до 0,35
В холмистых странах	» 0,35 » 0,50
В нагорьях	» 0,5 » 0,7

[1] Ph. Forchheimer. Über Hochwasserabfluss im südlichen Teile Europas Öster. Wochenschr. f. a. öffentl. Baukunst. 1916.

Меньшие значения принимаются для особо благоприятных замедляющих сток обстоятельств, бо́льшие, наоборот, для быстрого стока. Формула может быть также представлена в упрощенном виде:

$$Q = \beta \sqrt{F},$$

в которой коэфициент составляет для:

Равнины	от 15 до 21
Холмистых стран и средних гор	» 21 » 30
Для нагорий и горных стран	» 30 » 42

В природе стекающая дождевая вода сначала скользит слоями и начинает течь лишь по накоплении в бороздах и рытвинах. Тогда вода уже не обтекает препятствий, а опускается перед ними вглубь, образуя водовороты, на дне которых вода движется вверх по течению, между тем как между ними образуются как бы водяные узлы, находящиеся в кажущемся покое.

При своем передвижении вдоль русла вниз по течению вода может перемещать твердые вещества, либо растворяя их, либо же увлекая их вперед в виде твердых тел. Вещества, которые передвигаются таким образом в виде твердых тел, перемещаются течением в взвешенном состоянии со скоростью, равной скорости движения самой воды, или же передвигаются по дну потока и обладают тогда в большинстве несравненно меньшей скоростью, чем перекатывающая их вперед вода. Вещества, передвигаемые по первому способу, называются *илом*, *мутью* или взвешенными веществами и противопоставляются *валунам* или *галькам*, перемещаемым по дну потока.

Масса взвешенных веществ частично образуется при истирании галек во время их передвижения; но наиболее значительная ее часть образуется путем размыва дна и берегов потока. Чем выше поднимается уровень воды, тем бо́льшим становится и количество переносимых ею взвешенных веществ; во время засухи они почти вовсе исчезают.

По Бишофу, Рейн у Бонна содержал:

В марте 1851 г. при половодьи 20,5 част. веществ на 100 000 част. воды
„ „ 1852 „ „ низкой воде 1,75 „ „ „ 100 000 „ „

Но и это правило не без исключений: известен ряд случаев, когда количество переносимых частиц при возрастании количества воды и увеличении скорости течения не увеличивалось.

Зингер исчислил отношение ежегодно уносимого количества взвешенных веществ к среднему количеству стекающей воды и назвал его специфическим содержанием ила. Сносимое в течение года количество ила громадно и превышает в богатых водою потоках не только массу растворенных веществ, но в значительной мере и перемещаемую галечную массу. По данным Штини, ежегодный снос ила р. Рааб (в среднем 51 000 $м^3$) превышает более чем в два раза количество перемещаемых ею галек; р. Рааб протекает по долинам с уклоном в 1—1,5 тысячных.

В общем горные реки, в особенности те из них, которые питаются ледниками, более богаты илом, чем реки средних гор и низменностей. Решающее значение для количества ила имеют не низкие

зимние воды, а более богатые илом половодья. В небольших ручьях количество перемещаемых валунов и галек превышает количество переносимого ила. Перемещение тяжелых веществ имеет большое значение для инженера, имеющего задачей регулировку течения потоков или постройку плотин.

Количество перемещаемых потоком валунов и галек зависит от силы влечения воды: она представляет действующую в направлении течения силу давления водяного тела с горизонтальным основанием 1 и высотой H в сантиметрах. Обозначая через γ плотность воды и через J уклон уровня воды, получаем для *силы влечения* S в g *см*^{2} следующее выражение:

$$S = \gamma JH.$$

Главное значение в испытываемых естественными потоками сопротивлениях принадлежит сопротивлению дна. Если сила влечения на дне потока превосходит сопротивления дна, тогда валунная и галечная масса речного русла приходит в движение; эта величина напора, только достаточная для приведения в движение валунов, называется *пределом силы влечения*. Она рассчитывается по формуле:

$$S_0 = \gamma J_0 H_0.$$

При остальных равных условиях предел силы влечения зависит от величины, формы, плотности и отношений смеси валунов и галек. Подвижность валунов возрастает, если они залегают на более мелких гальках и щебне; предел силы влечения на 0,3 больше, чем сила, при которой движущиеся массы валунов и галек снова останавливаются.

В. Глушковым вместо силы влечения введена *удельная мощность* (работа) потока, выражаемая в лошадиных силах на квадратный метр дна, помощью той же формулы, умноженной на V — скорость течения.

В общем для перемещения перечисленных ниже веществ требуются следующие скорости течения:

	В секунду
Тонкая глина	0,07 *м*
Мелкий песок	0,2 „
Крупный песок	0,3 „
Мелкий гравий	0,7 „
Гальки величиною в боб	0,9 „
„ „ „ голубиное яйцо	1,6 „
Валуны в $1^1/_2$ *кг* весом	1,7 „

Например р. Эйзак (Тироль) в ущелье выше Боцена перемещает при силе влечения в 45—60 *кг* на квадратный метр порфировые глыбы величиною до $^1/_2$ *м*^{3}, а при силе влечения в 15—30 *кг*/*м*^{3} все же еще сланцевые плиты величиною в две человеческих головы.

Количество валунов и галек, перемещаемое в течение секунды, называют *расходом твердых материалов*. Твердыми материалами вода производит некоторую работу, количество которой должно быть причислено к общей сумме работы, необходимой для собственного движения воды и преодоления сопротивления русла. Если все количество работы, производимое водой на определенном участке, берется

для силовых установок, то на этом участке потока прекращается перенос галек, для обеспечения какового необходимы особые мероприятия, если только для этого недостаточно неиспользованного излишка воды при половодьях; для выяснения последнего вопроса надлежит в каждом отдельном случае производить подробные вычисления и измерения. Количество галек, переносимых рекою в течение более значительного промежутка времени, хотя бы года, называется годовым расходом твердых материалов реки.

Размер его имеет существенное значение при регулировке течения рек, постройке барражей, плотин и сооружений всякого рода гидросиловых установок. Отношение годичного расхода твердых материалов к расходу воды в течение того же промежутка времени, умноженное на 1000, Зингер называет относительным расходом твердых материалов. Последний легко вычисляется по формуле

$$g = \frac{G \text{ в году } 1000}{Q \text{ в году}}.$$

При переносе галек первоначально угловатые и остроребрные обломки горных пород сначала округляются с краев и углов, потом отшлифовываются все более и более, принимая в конечном итоге яйцевидные очертания. Форма галек позволяет судить о длине пройденного участка (пути) переноса.

При этом гальки все время снашиваются и становятся меньше, одновременно происходит известный отбор камней в том отношении, что наиболее твердые и прочные сохраняются наиболее долго, в то время как более мягкие совершенно истираются и частично растворяются после незначительного переноса.

Эрдманн установил опытным путем, что расстояние, которое гальки должны пройти до полного истирания, составляет для галек из:

Песчаника средним весом	. . . . .	40 *т* — 15 *км*
Глинистого сланца	„	24 „ — 42 „
Известняка	„	61 „ — 64 „
		40 „ — 85 „
Гранита	„	36 „ — 278 „

Благодаря сносу галек и песка со дна и берегов потока, очертания его русла претерпевают изменения: оно расширяется и углубляется. Самый ход изменения русла размыванием водою обозначается общим термином *эрозия*. Размывающая деятельность воды часто сравнивалась с действием пилы или напильника, но оба эти сравнения не совсем точно передают ход размывания.

В зависимости от направления, в котором проявляется напор воды, различают глубинное, вертикальное размывание и боковое (латеральная эрозия). Первое из них главным образом углубляет русло, второе расширяет его; но строгое деление обоих видов размывания не представляется возможным.

В отношении вертикального размывания в общем может считаться доказанным закон, согласно которому оно стремится придать дну реки выравненный возрастающий равномерно от устья к истоку уклон. В частностях же глубинное размывание часто не следует

этому правилу, и нередко встречаются случаи, что оно увеличивает уже ранее образовавшиеся неровности. Ниже впадения притоков, в изъятие из общего правила, нередко встречается вследствие отложения галек увеличение уклона, в то время как в ущельях и теснинах нередко встречаются пороги, каскады (рис. 101), стремнины или даже водопады на реках, обнаруживающих в верхнем своем течении медленный сток по долине с незначительным падением. Эти неправильности в развитии уклона речного дна обусловливаются в общем различиями в геологическом строении русла, а также гидрологическими и климатическими условиями, в то время как в частностях зависят от хода и характера размывания.

Дело в том, что в глубинном размывании главная роль принадлежит не всегда линейно действующему равномерно-растачивающему углублению, а водоворотам, углубляющим отдельные места; последнее замечается особенно в потоках с очень быстрым течением.

Водовороты работают вихреобразно; вращаясь частью вокруг горизонтальной, частью вокруг вертикальной оси, они вызывают образование котлов и ванноподобных углублений; наиболее правильного развития они достигают в однообразных массивных породах, как например известняках и доломитах, в гранитах и т. п., но встречаются даже и в сланцах, принимая в них благодаря выламыванию цельных, иногда весьма значительных по размерам сланцевых пластин менее правильные очертания.

Углубление дна ложа проявляется в особенности сильно там, где вся масса воды потока суживается какими-либо причинами.

Изучение деятельности водоворотов имеет существенное значение для техника, ибо деятельность эта угрожает в высшей мере прочности всякого рода «поперечных» сооружений (плотины, барражи, донные плотины), и обеспечение участков, лежащих выше таких преград, принадлежит к наиболее сложным вопросам гидротехнического строительства. Известны примеры, когда ниже водосливов в течение немногих часов образовывались углубления в несколько метров глубины.

При боковом размывании водовороты также участвуют в обрушении, срывании и переносе частиц берега: берега подмываются и время от времени обваливаются. Рука об руку с боковым размыванием берега происходит более или менее значительное углубление ложа реки. Наиболее хорошо наблюдается это явление на наружных краях изгибов потоков, ибо они представляют те места, в коих боковое размывание проявляется с особой силой. Наиболее сильно размываемая точка расположена не на середине изгиба, а немного ниже ее, ибо течение прижимается к изгибающемуся берегу вследствие трения лишь постепенно, как бы тем самым уплотняя, увеличивая силу потока.

В бурных потоках количество галек и щебня в связи с половодьями иногда возрастает столь значительно, что вес их превышает вес воды, лишь немного отставая от нее по массе (объему); такие потоки щебня называются *мурами* (в Европе) или *силями* (в Азии), а потоки, в которых они наблюдаются — муровыми ручьями. В мурах и силях опустошительная деятельность достигает громадных размеров, и ими нередко уничтожаются народнохозяйственные ценности, больше чем другими силами природы.

Муровые или силевые потоки образуются внезапным стоком огромных количеств воды, накопившихся вследствие больших осадков или временной запруды. Моренные валы, насыпные конусы, обвалы, оползни и т. п. заваливают часто русла горных потоков. Нередко проламываются снеговые мосты, своды, перекрывающие ручьи, заполняя русло и затрудняя сток воды. Часто поток заваливается также большими количествами заготовленного леса и бурелома. При прохождении воды через узкие ущелья часто происходит временное закупоривание русла. Скалистые обломки или стволы деревьев за-



Рис. 101. Сильная эрозия в верхней части Каскад-реки. (Алматинки), вытекающей из плотинного озера Джасыкуль (Тянь-Шань).

держиваются поперек русла и образуют подпруду, за которой высоко нагромождаются следующие за ними массы. Запруженные такими временными препятствиями массы воды, валунов и щебня в виде более или менее густой грязи прорываются, наконец, с большой силой и несутся в долину, образовав иногда в месте прорыва особые углубления и обвалы. Такие обвалы, могущие завалить муровыми массами боковых долин — главную, принадлежат в свою очередь к частым причинам мур.

Ледники также иногда вызывают запруды рек, образующие большие озера.

Еще больше, чем количество воды, на образование мур влияет скорость ее; это выражается уже в формуле для живой силы тем, что величина V берется по второй степени, но скорость прежде всего

зависит от уклона, что вытекает, например, непосредственно из формулы скорости Эйтельвейна. Эйтельвейн рассматривает V равным выражению $c\sqrt{RI}$, где $I = \operatorname{tg}\alpha$ (α — угол уклона); чем круче склоны долины, тем сильнее становится сила напора воды, и тем более благоприятны условия образования мур; поэтому уклон муровых ручьев всегда, при остальных равных условиях, больше, чем уклон обычных ручьев. Кроме того, скорость течения зависит во вторую очередь и от глубины воды, которая в узких теснинах достигает часто значительных размеров.

Сильно замедляюще действует на скорость повышение сопротивления трения в русле потока.

Свойство муры наиболее точно характеризуется наименованием «грязевой» или «галечный поток», так как она действительно представляет нечто среднее между движением твердых масс (оползни, лавины) и проточных вод. Муровая или силевая смесь обладает значительной плотностью, могущей достигнуть 1,3—1,5. Некоторые муровые потоки обнаруживают чрезвычайную плотность, такую, что громадные каменные глыбы переносятся как бы в плавающем, взвешенном состоянии. Во всяком случае удельный вес имеет большое значение при изучении муровых потоков и их действия, от него зависит расчет барражей, дна замощиваемых русел и т. д. В то же время определение степени плотности более точным образом очень затруднительно, ибо она зависит от состава различной зернистости и плотности твердых составных частей муры, от содержания воды в муровой смеси, от уклона русла и от ряда других факторов, могущих, как и предыдущие, быть оцененными лишь очень приблизительно или же принятыми в расчет лишь своими средними значениями. Но тем более допустимо удовлетвориться в данном случае меньшей точностью, поскольку исчисление других данных, как скорость течений и т. п., в горных потоках также недостаточно точно; и нужно лишь прибавлять обычный запас на прочность.

Грубые средние данные составляют, по Штини, например:

Падение дна горного потока в градусах	Вес твердых материалов (валуны и пр.), переносимых мурой, в процентах		Удельный вес муры	
	миним.	максим.	миним.	максим.
15	45	50	1,34	1,38
20	50	60	1,38	1,46
25	55	65	1,42	1,49
30	60	68	1,46	1,52
35	65	70	1,49	1,53
40	65	70	1,49	1,53

Массы, выбрасываемые муровыми потоками в долины, громадны, но легко переоцениваются неопытным наблюдателем. Следующая таблица Штини дает некоторые данные об объеме наблюдавшихся муровых потоков.

Горный поток	Дата муры	Количество муровой массы в $м^3$	Наблюдатель
Галльруттбах . .	7 авг. 1890 г.	50 000	Кох
Лихтенбергская мура	4 муры вместе	340 000	Симони
Грейфенбургская мура	1851 г.	210 000	„
Шлинигбах . . .	1855 г.	68 000	„
Гандербах . . .	17 авг. 1891 г.	475 000	Тула
Денделская мура в долине Инна	5 авг. 1874 г.	330 000	Кох
Экльбах-Циллерталь	29 июля 1908 г.	200 000	Штини

При замирании деятельности мурового потока, явление медленно, реже внезапно преобразуется в половодье с значительным переносом галек и щебня, длящееся часто часами, а иногда и 1—2 дня, со все уменьшающимся количеством переносимых частиц. От «силей» и связанных с ними наводнений часто страдают города и селения Ср. Азии, расположенные в местах выхода из хребтов рек, например гг. Маргелан, Алма-ата и другие.

Обычно мура скатывается в долину в виде расширяющейся и одновременно утончающейся книзу полосы через конусы наносов; при значительных прорывах, сбрасывающих в долину в течение продолжительного времени большие массы щебня и валунов, валунный покров принимает веерообразную форму отложения. В более редких случаях, во время которых переносятся огромные количества обломков, конусный нанос как бы обливается по всей своей поверхности текущими в продолжение многих часов муровыми потоками, в связи с чем массы отлагаются не только отдельными полосами, но и напластовываются друг на друга до 10 и более метров мощностью.

Муровая область, как и всякая область горных потоков, может быть разделена на две части — на область, в которой преобладает накопление рыхлых продуктов, называемую также областью сбора и сноса, и на область преобладающего отложения или наноса. В некоторых случаях удается выделить и средний, обычно ущелистый участок муровой области, *выводной канал муры*.

Вред, наносимый бурными потоками, и опасность, грозящая с их стороны, возрастают с количеством переносимых ими валунов и щебня. Поэтому инженера, имеющего задание обезопасить местность от разрушительных действий бурных потоков, в первую очередь должен интересовать вопрос о происхождении наносов. От правильного понимания очагов сноса и их свойств зависит выбор способа закрепления, а тем самым и успех проектированных мероприятий и их стоимость.

Соответственно своей меньшей грузоподъемности, ручьи средних гор и холмистых стран обнаруживают сравнительно с количеством стекающей воды значительно меньший уклон. Там, где реки вы-

ходят в равнину, они отлагают очень полого падающие конусы выноса, кажущиеся при беглом осмотре ровными плоскостями, — так называемые *«веерные наносы»*. Так называемые долинные равнины также не представляют совершенных равнин в строгом смысле этого слова; они обнаруживают некоторый уклон не только в направлении течения воды, но и в поперечном направлении, так что река течет, по существу, по возвышенной наносной выпуклости, сопровождаемой по бокам низинами. Этим образованием наносных полей объясняется тот странный факт, что притоки часто не впадают непосредственно в главное русло реки, а вливаются сначала в наполненную водой низину, простирающуюся на большом расстоянии параллельно реке, принимая притоки и впадая лишь ниже в русло главной реки.

Громадные конусы выносов, почти соединяющиеся в непрерывную полосу *шлейфа предгорий* (пролювия), опоясывают склоны большинства туркестанских хребтов, в особенности северные склоны Алайского и Александровского. Условия искусственного орошения в таких районах совершенно своеобразные; все системы приобретают веерный план, происходит сильное просачивание вод в конус и т. п. Такова же картина вдоль подножий Кавказского хребта: р. Терек течет выше окружающей местности, и этим объясняются частые катастрофы — наводнения, требующие особых технических мер и охраны путей железной дороги.

Конусные наносы, отлагаемые в стоячих водных бассейнах, как то: в прудах, озерах, морях, называются *устьевыми выносами* или *дельтами*. Они отличаются от обыкновенных конусных наносов тем, что разделяются уровнем воды бассейна на две части с различной крутизной: на пологую — надводную и на более крутую — подводную. При этом более крупные гальки опускаются на дно недалеко от устья, в то время как песок отлагается дальше от берега, а ил осаждается еще в бо́льшем расстоянии от берега. Если в реке, впадающей в озерный бассейн, происходит повышение воды, то осадившиеся во время мелководья на устьевом конусе наносы смываются с него, в то время как сверху наносятся новые массы гальки, песка, ила и пр. Если половодье продолжается в течение более продолжительного времени, то уровень воды в озере повышается и запруживает речную воду в ее устье; тем самым река вынуждается отлагать крупные гальки около линии запруживания, в то время как более легкий ил может быть перенесен дальше и отлагается на устьевом наносе и на дне устьевого русла. При спаде половодья, а с ним и уровня воды озера, стекающая вода вымывает в илистом покрове рытвины, обнажая среди покрытой илом поверхности устьевого наноса русла с песчаным дном. При следующем половодьи процесс повторяется в том же порядке. Таким образом валуны и гальки переносятся рекою отдельными порциями вглубь озера и отлагаются там наподобие дамбы, насыпаемой «с головы».

Иначе происходит отложение дельты в море. Здесь на образование ее действует соленость воды, осаждающая коллоидальный ил рек более быстро, чем это происходит в пресной воде, прибой, отлив и прилив, а также и то обстоятельство, что пресная вода, благодаря своей меньшей плотности, широко распространяется над тяжелой соленой водой и может также выносить с собой свою муть.

Германские реки, как то: Рейн, Эльба, Одер, Висла и ряд менее значительных, не отлагают в море дельт; это обстоятельство объясняется опусканием берега, происходящим скорее, чем повышение морского дна вследствие речных отложений. Наоборот там, где берега поднимаются, как например в Финском заливе, северном Китае и северной Италии, поднятие это в чрезвычайно сильной мере благоприятствует образованию дельт; так например дельта По продвигается ежегодно на 136 *м* вперед в море, расстояние, делающее понятным, почему Равенна, бывшая во времена около 1000 л. до н. э. в устье Арно, ныне отдалена от берега на 12 *км*.

Менее значительными отложениями рек являются песчаные *отмели*, образующиеся главным образом во внутренних частях речных излучин; в этих местах они образуются по той причине, что здесь сила влечения воды при спаде половодья наиболее быстро ослабевает. Гальки отлагаются на отмелях наподобие кровельных черепиц, так что поверхности отмелей выглядят мощеными. Отдельные гальки и валуны поворачиваются при этом своим широким боком поперек течения, наклоняясь более или менее круто против течения, между тем как приподнятый передний край галек направлен по течению. Галечные отмели речных изгибов начинаются не ровно в середине реки, а ниже по течению, в том месте, где стержень течения приближается к выгибающемуся берегу. Таким образом извилины реки с течением времени перемещаются вниз по течению.

Иначе, чем серповидные береговые песчаные отмели, образуются отмели в середине русла, образуя здесь более или менее значительные островки. Они обладают всегда вытянутыми в длину очертаниями и выходят в верхнем конце с пологим уклоном из воды, спадая в нижнем конце в воду сравнительно крутым обрывом. При половодьи такие наносные острова затопляются и перемещаются путем смывания и скатывания верхних слоев песка с верхнего конца отмели и отложения их у нижнего, вниз по течению (рис. 102). Перемещение это достигает на Дунае выше Вены около 50—100 *м* в год, в зависимости от силы напора половодья, на Рейне, ниже Базеля, в среднем 200—400 *м* в год и даже больше. Во время низкой воды большинство отмелей возвышается над уровнем воды; средняя вода отрывает тогда от их нижних концов песок и гальки и отлагает их вновь в верхних концах, расположенных ниже по течению отмелей, так что получается впечатление, что отмели временами передвигаются вверх по течению. Слоистость галечных и песчаных отмелей, в связи с постоянной переменой направления и силы течения, очень неправильная; отдельные пласты быстро выклиниваются, падают иногда очень круто и несогласно между собой и разнятся друг от друга в отношении величины зерна.

Геологические явления, наблюдающиеся в руслах рек, совершенно различны в зависимости от того, какой участок реки рассматривается. По этим признакам различают в более значительных по длине потоках верхнее, среднее и нижнее течение.

В верхнем течении река глубоко врезывается в почву и углубляет постоянно свое дно, уклон которого сравнительно значителен, увеличиваясь вверх по течению все более и более. Поперечное сечение долины в верхнем течении подобно римской букве V; на дне долины рядов с рекой часто не хватает места для прокладки грунтовой дороги,

и бока долины круто возвышаются. Там, где вода прорезывает более твердые горные породы, образуются непроходимые ущелья, в стенах и на дне которых встречаются исполиновые котлы, выточенные водой; уклон ложа таких ущелий неравномерен, и пологие участки сменяются порогами и водопадами.

В среднем течении уменьшение уклона потока начинает вызывать появление излучин. Извивание русла ручьев наблюдается уже в верхнем течении, но там образование их основано не на собственной деятельности ручья, а представляет явление, вызванное отложением бо-

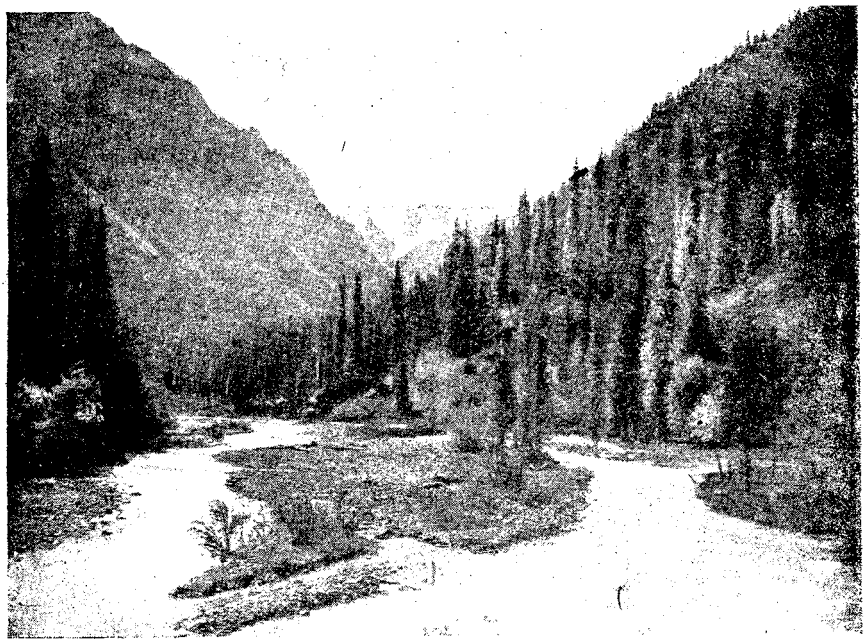


Рис. 102. Нижняя часть горной реки, где начинается уже отложение с образованием галечных островов (р. Талгар, Тянь-Шань).

ковыми долинами конусов выносов; река извивается в таком случае между краями этих наносов, отклоняясь то от одного, то от другого бока речной долины. В среднем же течении влияние реки более или менее свободно, независимо от влияния боковых потоков и основано исключительно на явлениях, происходящих в главном русле реки. Причиной образования изгибов реки в среднем ее течении является наблюдаемое здесь уменьшение уклона и тесно связанное с ним замедление скорости движения. Вода теряет способность перекатываться через препятствия, она обходит то глыбу скалы, то отмель или затонувшую корягу и образует изгибы, которые не только не исчезают, но даже развиваются с течением времени, перемещаясь при этом постепенно вниз по течению. Амплитуда колебаний русла, передвигающегося то в одну, то в другую сторону, зависит в общем от количества воды; вместе с последним возрастает также и величина извилин. Из-

гибы русла реки представляют второстепенные явления, не влияющие на направление течения реки в целом.

В общем извилины рек обнаруживают стремление уменьшать при перемещении вниз по течению радиус изгиба и приближаться в то же время друг к другу. Таким образом получаются так называемые обратные извилины, в которых вода участками течет против направления падения (уклона) всей речной долины. Только узкий перешеек

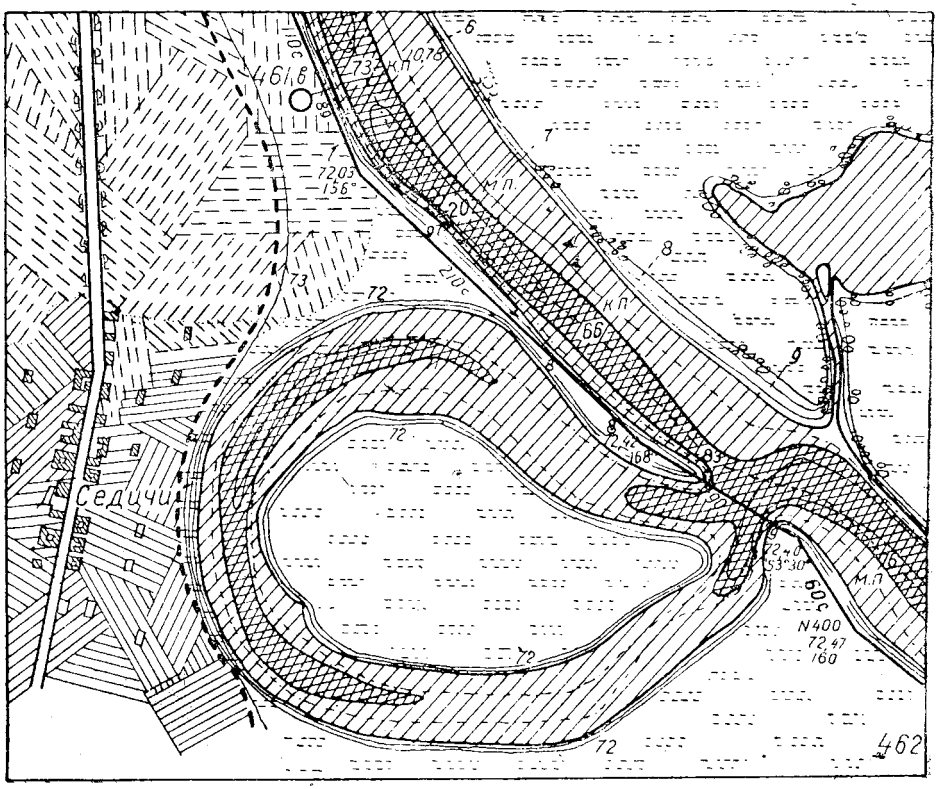


Рис. 103. Отмершая излучина реки, превращающаяся в „старицу".

разделяет тогда участки реки, текущие таким образом навстречу друг другу; при наводнении всей долины, во время половодья, нередко такие перешейки совершенно прорываются, и петля выключается из русла низкой воды. Таким способом образуются мертвые рукава или *старицы*, постепенно совсем отделяющиеся от главного русла и представляющие в конечном итоге водоемы и озера; в дальнейшем они высыхают и превращаются в болотистые луговины (рис. 103).

Мертвые рукава нередко представляют места зарождения и развития комаров и мошек, а также очаги зародышей заразы (малярии). Не следует дожидаться прорыва перешейка в обратных извилинах, но исправлять течение заблаговременно выпрямлением русла (прокопами). С последними связано увеличение уклона дна и уменьшение опасности наводнения.

В среднем течении начинается также образование островов, и проявляется стремление потока повысить свое русло и дробить свои воды. Явления эти в более развитой степени проявляются особенно в нижнем течении. Если такие реки, протекающие как бы по насыпи из собственных отложений, как например По, Желтая река (Хо-анг-хо) и другие, прорывают вследствие засорения русла илом свои берега, то нередко происходит длительное перемещение русла; наиболее разрушительное подобное явление представляет перемещение Желтой реки в XIX столетии, во время которого вздувшаяся река прорыла себе новое русло на протяжении многих сотен километров.

Значительно возрастающие при половодьях значения силы влечения и расхода приводят в нижнем течении рек нередко к образованию половодного русла (области паводков, наводнения, заливные участки), в котором значительно меньшее обычное русло низкого уровня кажется вложенным. Это естественное явление использовано технически применением при регулировке потоков так называемых двойных площадей сечения (профилей).

Дробление протока на рукава также увеличивается в нижнем течении все более и более, достигая своего наивысшего значения в устьях; таким разветвлением наносится существенный ущерб земледелию в смысле потери удобных площадей, почему и стараются закрепить путем запруд и плотин уже обработанную землю и отвоевать у реки по возможности новые площади.

Бэром предполагалось существование некоторого отклоняющего влияния вращения Земли вокруг ее оси на течение потоков. Соответственно постепенно уменьшающейся от экватора в сторону полюсов скорости вращения Земли, все реки, направленные на северном полушарии приблизительно с севера на юг, должны были бы отклоняться вправо. Однако, это явление вращения Земли на проточные воды многими исследователями отвергается, особенно в отношении горных рек.

§ 35. Образование долин

Размывающее действие проточной воды не только беспрестанно работает над видоизменением русла рек, но вызывает также образование долин, дальнейшее развитие которых по существу производится также водой.

Основной формой долин является о в р а г. Предположение это подтверждается как дождевыми промоинами на склонах насыпей и свеже обнаженных оползней, так и склонами насыпных конусов многих вулканов.

Поперечное сечение долин, в которых глубинное размывание преобладает над боковым, подобно треугольнику со сторонами, крутизна которых при одинаковой скорости углубления тем больше, чем более стойки породы, образующие бока долины. Наиболее крутые склоны обнаруживают ущелья или каньоны, стены которых поднимаются от узкого дна чуть ли не отвесно.

Влияние на форму долины боковое размывание получает лишь, когда действие глубинного размывания начинает ослабевать или даже совсем замирает; тогда происходит расширение ложа, и конечным результатом является долина с широкой подошвой и пологими или кру-

тыми берегами, поперечное сечение которой подобно трапеции. Долина расширяется при остальных равных условиях тем сильнее, чем больше амплитуда излучин и количество воды в реке.

Если верхнее течение рек в общем представляет арену протачивающей деятельности глубинного размывания, то в среднем течении после

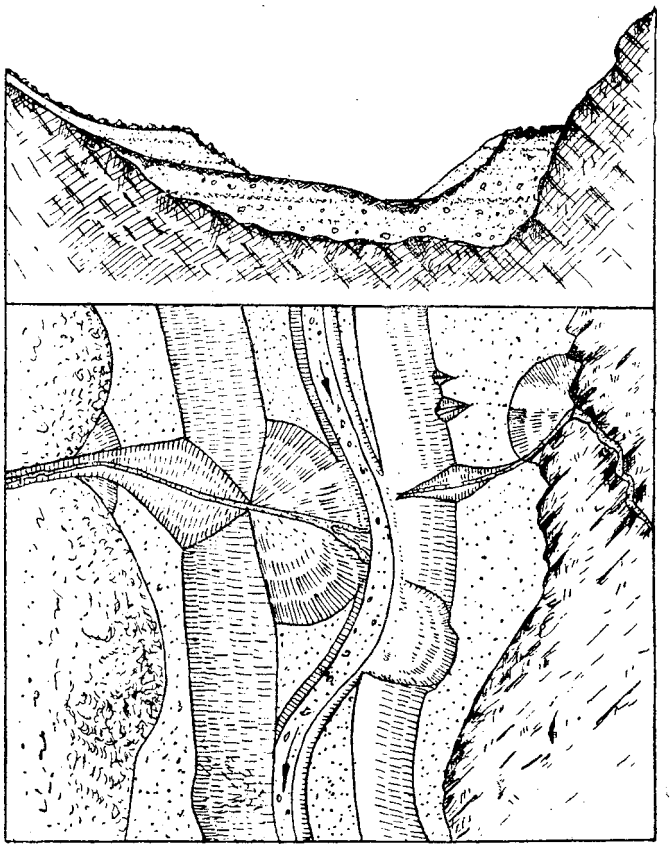


Рис. 104. Основные формы речных аллювиальных отложений, заполняющих ранее выработанную коренную долину: конуса выносов и террасы. Современные боковые ручьи, приспосабливаясь к уровню реки, прорезают снова конуса и верхнюю террасу. На верху—разрез, внизу—план.

замирания продольного размывания преобладающее значение переходит к боковому размыванию, пока, наконец, в нижнем течении всякое размывающее действие отходит на задний план, уступая деятельности отложения нанесенных рекою *аллювиальных* масс (рис. 104).

При равном количестве воды решающее значение при размывании принадлежит уклону; более значительный уклон оживляет снос масс проточной водой, меньший уклон тормозит и уменьшает его. Существующий естественный уклон может быть изменен под влиянием различных геологических обстоятельств или же искусственными мероприятиями. Это происходит всегда в том случае, если низшая точка

размывания, так называемый *эрозионный базис*, перемещается по высоте вниз или вверх, тем самым увеличивая или уменьшая уклон русла. Вызывающее усиленное отложение переносимых водою веществ, уменьшение уклона происходит, например, если часть ложа реки поднимается в связи с горообразующими процессами, или же вследствие обвалов, муровых конусов или сооружения искусственных поперечных преград (барражей). Увеличение размывания в свою очередь наблюдается, если базис эрозии понижается, вследствие ли опускания участков ложа, понижения уровня воды в питаемых рекой морях или озерах, или же вследствие производимых местами искусственных работ по углублению дна. Перемещения базиса эрозии играют в геологии существеннейшую роль, и технику надлежит на них обращать серьезнейшее внимание, чтобы охранить свои сооружения от его вредных влияний.

Фактическая работа проточной воды зависит в то же время в высокой мере от сопротивляемости русла реки. Последняя, в свою очередь, определяется главным образом степенью общей снашиваемости и растворимости соответствующих горных пород. Твердое массивное здоровое гранитное ложе, например, будет сопротивляться размыванию значительно дольше, чем мягкий сильно сланцевый крошащийся мергель. Трещиноватые породы значительно легче поддаются действию размывания, чем нетрещиноватые; если целые горные области разбиты сбросами и другими нарушениями и как бы разрыхлены, то в них размывание и подрыв склонов проявляются в особо яркой степени. Многие долины обязаны своим первоначальным образованием такому разрыхлению горной системы. Равномерно сложенные и мало изменяющиеся породы меньше поддаются разрушающему и растачивающему действию воды, чем неравномерно сложенные породы. По подобным же причинам ручьи размывают полого падающие пласты медленнее, чем круто падающие, условия залегания которых предоставляют воде бóльшее количество точек для приложения разрушающих усилий. В горизонтальных или полого падающих пластах, состоящих из более или менее твердых слоев, вода вытачивает более твердые породы в виде крутых стен, переходящих в пологие площадки, состоящие из менее прочных пород. Если мягкие легче размываемые пласты менее мощны, то они нередко образуют узкие полосы, издалека заметные на крутых склонах, благодаря более богатой растительности, и облегчающие восхождение на горы. Опытному глазу граница между прочной и мягкой породами открывается еще рядом других признаков также и в тех местах, где коренная порода не выходит непосредственно на поверхность.

Водонепроницаемые породы содействуют поверхностному накапливанию воды, стекающей по многочисленным бороздам и ускоряющей углубление и расширение подошвы долины; размывание проявляет при этом значительную энергию, независимо от того, что оно сразу прилагается к большой площади. В водопроницаемых породах вода напротив быстро просачивается в почву и накопляется на поверхности лишь в немногих углублениях; сеть потоков, отводящих воду из таких районов, поэтому очень редка; зато размывание, сосредоточенное в сравнительно немногочисленных руслах, значительно быстрее образует ущелья, которые отстоят друг от друга при этом на бóльшем расстоянии.

Климат также имеет большое влияние на образование долин. Чем больше выпадает осадков в определенном районе, тем скорее происходит образование рельефа, вызываемое появлением многочисленных глубоко врезавшихся рытвин, в то время как бедные дождями районы характеризуются значительно более малочисленными и мелкими бороздами. В холодных климатах, а также на больших высотах над уровнем моря преобладающий в течение большей части года мороз и небольшое вследствие этого количество стекающей воды не благоприятствуют глубинному размыванию; на дальнем севере последнее обнаруживает поэтому лишь незначительное действие. Что же касается долин, по которым в течение более продолжительного времени двигались ледники, то они отличаются от тех, которые образовались под действием только проточной воды, в первую очередь более вытянутым в длину прямым очертанием (в плане), более широкой подошвой и большей крутизной склонов; ледниковые долины указывают, что лед действует на более широкой площади и сглаживающим образом, в то время как вода проявляет растачивающую деятельность линейно; поэтому большинство долин, представлявших некогда ложе ледников, обнаруживают корытообразное сечение *(троги)* (см. рис. 62).

Вода работает подобно напильнику, а лед — подобно рубанку.

Само собой разумеется, что и первоначальный рельеф местности не остается без влияния на образование долин. Пологие склоны будут тормозить размывание, между тем как более крутые склоны ему будут благоприятствовать. Мульды, низины, образовавшиеся сдвигами и сбросами, котловинные сбросы и другие первоначально существовавшие отрицательные формы рельефа данного района нередко давали первый толчок к образованию здесь долины, не всегда играя при этом решающую роль.

Из числа многочисленных способов *классификации долин* более старый делит все долины на *долины размывания — эрозионные* и *долины структурные — тектонические*.

Долины чисто эрозионные встречаются в совершенно ненарушенных областях; на образование и дальнейшее видоизменение их тектоника не влияла. Такие долины, являющиеся исключительно результатом деятельности проточной воды, встречаются преимущественно в равнинах и холмогорьях, например в северной и средней частях СССР и Германии и др.

В долинах тектонически нарушенных областей обнаруживается связь между ними и линиями геологических нарушений. В зависимости от того, пересекают ли долины горные цепи под прямым углом или же расположены параллельно к ним, различают *поперечные, продольные* и *косые (диагональные) долины*.

Продольные долины нередко подвергаются дальнейшему подразделению. Они называются *синклинальными долинами*, если они следуют по своему простиранию хотя бы приблизительно синклиналям пластов; отличным примером для такого рода образований является Швейцарская Юра. Седловидные *антиклинальные долины* проходят по антиклиналям или седлам; эта форма долин встречается наиболее часто. Долины, углубляющиеся в моноклинальные слоистые массивы параллельно их простиранию, называются *моноклинальными (комб). Сбросовыми долинами*, наконец, называются продольные долины, обра-

зование которых вызвало всякого рода сбросами, а также грабенами: к ним принадлежит долина Рейна между Базелем и Франкфуртом.

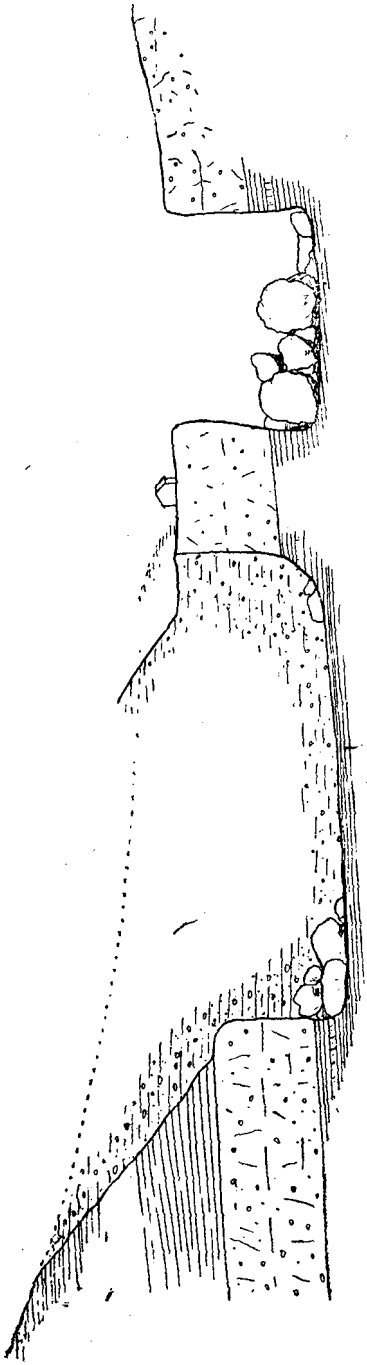


Рис. 105. Слева — оставленная рекой и заполненная аллювием старая долина; справа — вновь эпигенетически прорезанное рекой русло. Разбурив лишь уцелевший коренной островок (с домом), можно легко впасть в заблуждение, приняв всю левую часть как сложенную также коренными породами. Очень частый и важный случай в строительстве мостов и разных гидросооружений.

Стремление потоков удлинять свое русло, отступая назад, и все более и более углублять его в том же направлении приводит сначала к слиянию отдельных бассейнов питания и, в конце концов, к борьбе за размежевывающий их водораздел. Смежные долины отвоевывают друг у друга земельные площади и стремятся расширить свою территорию за счет соседей; победителем остается тот поток, который работает в более выгодных условиях размывания, базис эрозии которого, например, расположен ниже, который вследствие благоприятных геологических условий более богат водою, который, наконец, протекает по породам более рыхлым и поэтому и более разрушаемым.

Если в пределах обширной области условия размывания более или менее равны, то борьба за водораздел приводит к волнисто-зигзагообразному очертанию линии последнего.

Для инженера иногда имеет значение особое явление при образовании долин, называемое *эпигенезисом*. Древние, ныне иногда высоколежащие, долины оказывались занесенными и засыпанными, а повторно углублявшиеся реки, не находя своего старого русла, прорывали себе таковое в стороне в более твердых породах, в то время как размывание их в более мягких слоях молодых наносов не встретило бы существенного сопротивления (рис. 105).

Исследование большинства современных речных долин показывает, что они не обязаны своим образованием непрерывной постоянной работе размывания, а произошли под влиянием повторных усилий воды: в длинных промежутках времени между проявле-

ниями этих усилий наблюдались, очевидно, периоды приостановки размывания или даже периоды отложения. На это указывают многочисленные остатки речных горизонтальных отложений, сохранившиеся в большинстве долин иногда высоко на их склонах в виде уступов или террас и свидетельствующие о периодах незначительного глубинного размывания или его полного отсутствия (рис. 104 и 106). По отношению к направлению долины различают *поперечные* и *продольные* террасы.

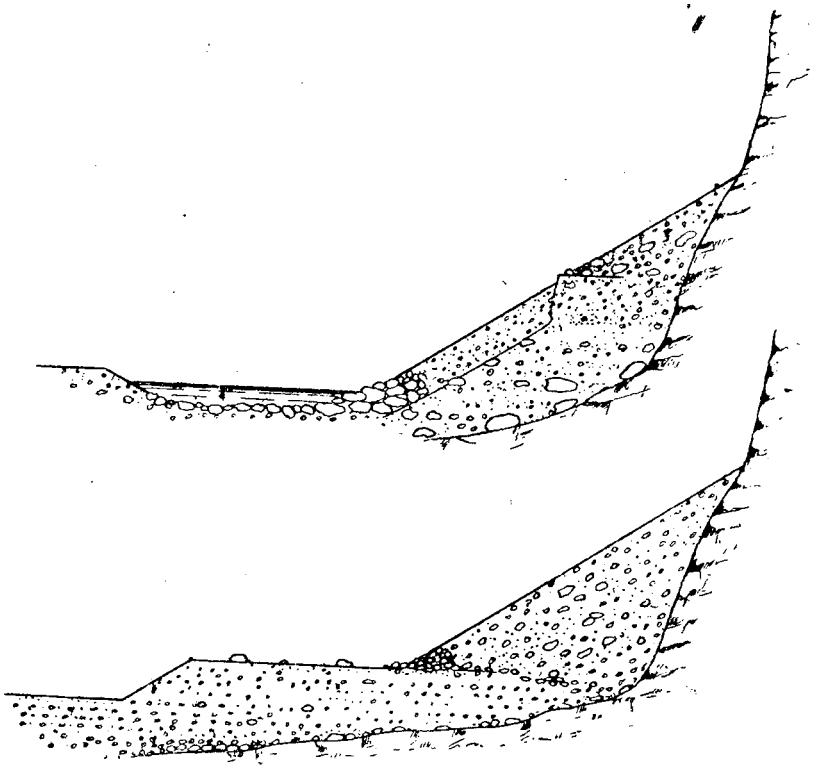


Рис. 106. На нижнем рисунке речная аллювиальная терраса частью лишь прикрыта осыпью склона (делювием). На верхнем рисунке вся терраса замаскирована делювием и может быть обнаружена лишь геологическим осмотром, а иногда бурением. Терраса вообще более устойчива, чем осыпь.

Поперечные террасы часто образуются наносными конусами, возвышающими дно долины и разделяющими его на участки, почва коих часто заболочена, между тем как река извивается между основаниями наносных конусов, образуя нередко настоящие стремнины (рис. 104).

Продольные террасы, видные в поперечном профиле реки, разделяются на *коренные*, образовавшиеся при размывании всякого рода коренных пород, и на наносные *аллювиальные*, обязанные своим происхождением отложениям реки.

К описанию образования долин можно кратко добавить несколько слов об общем сносе поверхности, *денудации* (понижение рельефа). Под этим понятием подразумевают совокупность сноса суши разрушаю-

щими силами атмосферы и воды в твердом и жидком состоянии. Снос проявляется, как сложное явление, сразу в пределах больших площадей, что объясняется тем, что его главные силы — лед, ветер и выветривание прилагаются к широким площадям, и только проточная вода действует преимущественно линейно.

§ 36. Озера и моря

Величина озер колеблется от нескольких гектаров до многих сотен квадратных километров.

Высота уровня воды в озерах меняется вместе с изменением количества осадков и отражает поэтому с большой точностью периоды большего или меньшего выпадения осадков. Если озеро прорезается рекой, имея таким образом приток и сток, то оно называется речным, *проточным* озером. Если стока не имеется, то озеро называется *бессточным;* такие озера расположены в углублениях, не наполненных до краев водой. Во многих случаях притоков не хватает, чтобы заполнить котловину, в которой лежит озеро: высота его уровня определяется отношением между притоком воды и ее испарением и подвержена поэтому сильным колебаниям. Растворенные соли, переносимые всеми потоками в конечные озера, накапливаются все в большем количестве в воде озерной впадины и почти всегда придают воде некоторую соленость. Такие конечные озера встречаются в пустынях (Лоб-Нор, Куку-Нор, Эби-Нор и т. п.). Если, наоборот, соли уносятся водами через поры и щели породы, проницаемость которой не допускает наполнения озера до краев, то образуются слепые озера с пресной водой и не слишком меняющейся высотой уровня воды. Будучи во время половодья переполненными, слепые озера могут в дождливое время превратиться в речные озера.

Классификация озер может производиться с различных точек зрения. Обычно отличают озера, образовавшиеся тектонически, от озерных бассейнов денудационных.

Тектонические озера находятся в тесной связи со строением гор. Они часто расположены в мульдах и грабенах. К таким сбросовым озерам принадлежат, между прочим, Боденское озеро, расположенное в углублении, ограниченном простирающимися на северо-запад сбросами, Платтенское озеро, озеро Гарда, Телецкое на Алтае, Байкал и др.

Денудационные озера образуются размыванием, выщелачиванием и ледниковым выпахиванием.

Последние представляют углубленные ледниками округленные ванны, расположенные преимущественно на больших высотах над уровнем моря, выпаханные в коренных породах; *такие каровые озера* встречаются в большом количестве в Альпах и других хребтах. Озера выщелачивания образовались растворением легко выщелачивающихся пород; после провала потолка вода накоплялась в образовавшихся на поверхности воронках и углублениях — *карстовые озера.*

Многочисленные озера образовались вследствие запруживания. Их подразделяют в зависимости от свойств запруды. *Ледниковые озера* происходят вследствие запруды проточной воды возрастающим ледником. Прорывы таких ледниковых озер нередко наносили серьезнейший ущерб и разрушения близлежащим местностям. Озера наносных кону-

сов обязаны своим возникновением быстрому увеличению конических выносов из боковых долин, с которым размывание главного потока не может справиться. Они в большинстве своем мелки, покрывают лишь редко более значительные поверхности и обыкновенно недолговечны, так как отдают свою воду истоку, прорезающему запруду, образованную ледником, и постепенно заносятся отложениями питающего их потока.

Запруда *обвальных озер* образуется обломочными массами обвалов, осыпей или скал; громадным обвалом в 1911 г. образовалось, например, Сарезское озеро на Памире и многие другие в среднеазиатских хребтах.

Моренные озера залегают в углублениях волнистых поверхностей донных моренных отложений; сюда должно отнести большинство бесчисленных озер северной Германии и СССР. *Кратерные озера* заполняют дно старых кратеров; они встречаются между прочим в Эйфеле (Гмюндер маар, Вейнфельдер маар и т. д.). *Дюнные озера* или *гафы (лагуны)* образуются береговыми валами, запрудами дюн, запруживающими устьевыми наносами, и т. п.; к ним принадлежат более мелкие береговые озера померанского берега (Фрише и Курише-гаф и др.). Балтийского моря.

Наиболее существенная роль озер в водном хозяйстве стран состоит в очищении и накоплении вод протекающих через них рек. В озерах приток отлагает не только всю массу более крупных галек, но также и муть, и выходит из озера уже с совершенно прозрачной и свободной от взвешенных частиц и галек водой.

Обмеление стоячих вод происходит двояко: со дна по направлению к поверхности и с берегов к середине.

Дно повышают отложения мертвых остатков плавающих семейств живых организмов и растений, так называемого планктона, а также частиц, переносимых воздушными и водяными течениями в открытый бассейн. Таким путем образуется рыхло залегающий ил, так называемый глубинный ил; при его разложении из белковых веществ образуется сероводород, а на глубинах в 40 и более метров взаимодействием его и железистых солей — сернистое железо (серный, железный, лучистый колчедан).

Со стороны берегов к середине стоячей воды в первую очередь выдвигаются осоки и камыши. Перепутанные и крепко сросшиеся корни этих растений часто образуют твердый слой, могущий надвинуться и на более глубокие места, поддерживая и подстилая при этом мощные торфяные покровы. Такой опасный дерновой покров может перекрыть водоем с поверхности, в то время как в глубине еще имеется водная подушка, испытывающая некоторое давление от налегающих растительных и торфяных слоев. Если нагрузка увеличивается возведением насыпей для грунтовых или железных дорог, дерновой покров, как это нередко наблюдалось, прорывается, и все сооружение тонет в иле водной подстилки.

Накопление воды озерные бассейны производят в общем тем лучше, чем обширнее их площадь. Во времена половодья уровень воды их повышается, в сухое время года озеро отдает задержанные излишки воды истоку, вследствие чего дебит последнего становится более равномерным. Поэтому реки, протекающие через озера, имеют в общем более высокий уровень низкой воды, чем потоки, не включающие в себя озер-

ного бассейна; таким образом озера благоприятствуют судоходности рек, а также и использованию их водной энергии и для орошения.

В более значительных по размерам озерах бури вызывают сильное волнение и значительный прибой, производящий по берегам такую же работу как и на морских побережьях (см. ниже). Гонимые ветром волны выбрасывают на берег песок, гальки и органические остатки, насыпая их в виде низких *береговых валов*, иногда отрезающих бухты и заливы и запирающих устье рек. Силой прибоя на крутых берегах озер могут образоваться *береговые террасы*, вызываемые тем, что течения и волнения вымывают под водой мелкий ограниченный сзади крутым обрывом уступ, полого падающий к середине озера. Такие береговые террасы свидетельствуют после падения уровня воды озера об его былой высоте.

Отложения, образующиеся при обмелении и затягивании озер, самые разнообразные. Каким образом более крупные валуны и галька передвигаются к середине озера в виде конусных наносов, сообщалось выше. Эти конусы встречаются в большинстве менее значительных озер лишь вблизи речных устьев; они обнаруживают ясную наклонную слоистость. Середина озерного дна заполняется илом, осаждающимся из мути озерной воды. Соединительным звеном между галечными и иловатыми отложениями являются песчаные.

На озерной террасе тонкие массы песка и ила могут оползать и угрожать целости прибрежных построек. Такие подводные оползни описаны Арнольдом Геймом; по его сообщению, в 1887 г. более 20 домов потонуло в илистом песке берега Цугского озера; песок этот ополз более чем на 1000 *м* от берега к середине озера потоком шириною в 25 *м*.

В ряду отложений соленых водоемов первое место занимает каменная соль (NaCl) и ее спутники (гипс, калийные и др. соли). В северной части Крыма, в Астраханской области и Казакстане имеется громадное число соленых озер, представляющих большое промышленное и курортное значение.

Геологическая деятельность морей является также отчасти созидающей, отчасти же разрушающей. Механическая деятельность морей наиболее заметна на морских берегах. В глубинах действие волнения все более ослабляется; уже на глубине 10 *м* более крупный песок почти не приводится в движение, а на глубине около 200 *м* уже не может быть замечено и движение ила. Механические разрушения берегов производятся прибоем морских волн.

Высота морской волны составляет обычно лишь несколько метров, не достигая более 12 *м*. Длина волны является кратным её высоты и составляет в большинстве 30—100 *м*, в исключительных случаях и больше (до 824 *м*). Скорость распространения морской волны достигает 6—10 *м* в секунду, достигая скорости пассажирского поезда, а иногда ее превышая при скорости 20—35 *м* в секунду.

Механическое действие прибоя возрастает с крутизной берега, и поэтому должно отличать береговой прибой на пологих берегах от прибоя на крутых берегах. Сила, с которой прибой ударяет о берег, может достичь 0,5 — 3 *кг/см*^{2}; действие таких сильных ударов увеличивается еще долбящей, сверлящей, истирающей и растачивающей работой твердых тел (песок, гальки, и т. д.), переносимых прибойной волной. Раз-

рушающая деятельность прибоя, подобно проточной воде, достигает своего наивысшего значения во время высокой воды (прилива).

На крутых берегах волны вытачивают сначала горизонтальный желоб — прибойное горло, медленно подрезающее береговые породы, которые, обрушаясь, и образуют крутые обрывы. Так как работа прибоя ослабляется по мере углубления, то перед такими береговыми обрывами образуется *волноприбойный уступ*, на котором набегающие волны из-за трения теряют тем более силы, чем шире с течением времени он становится. Таким образом достигается положение сравнительного покоя, во время которого до коренного берега докатываются лишь самые сильные прибойные волны, уже не могущие влиять на него разрушительно. В связи с медленным поднятием суши или опусканием уровня моря такие уступы могут возвышаться более или менее высоко над водой, определяя своим положением прежнюю высоту уровня моря.

Медленные опускания суши могут привести к постоянному расширению волноприбойного уступа. Следы такого древнего стачивания — сбривания *(абразии)* морем встречаются часто. Если гальки, которыми береговой уступ покрыт, в дальнейшем цементируются, то образуются конгломераты, составляющие начало перекрывающей первоначальную поверхность абразии свиты пластов, почему они и называются *базальными* или *основными конгломератами*.

К созидающей деятельности моря принадлежит так называемое *перемещение берегов*, состоящее в перенесении песчаных масс берега от одной точки берега к другой. Оно вызывается морскими волнами, набегающими на берег под косым углом к береговой линии, срывающими и уносящими при набегании песок и переносящими его в том направлении, в котором они отбрасываются от береговой линии, благодаря чему возникает постоянное береговое течение. Таким образом, например, песок вдоль южного берега Крыма, между Алуштой и Форосом, перемещается постоянно в направлении на запад.

Но морская вода проявляет не одну только механическую деятельность, она влияет также и растворяющим образом на породы, с которыми соприкасается. Выше уже упоминалось, что морская вода значительно скорее разлагает силикаты и силикатовые породы, чем пресная. Морская вода содержит в среднем, в тысячных долях:

Поваренную соль ($NaCl$)	26,862
Хлористый магний ($MgCl$)	3,239
Горькую соль ($MgSO_4$)	2,196
Гипс ($CaSO_4$)	1,350
Сильвин (KCl)	0,582
Карбонаты и т. п.	0,400

Поэтому необходимо при портовых сооружениях обращать особое внимание на надлежащий подбор строительных пород.

При выборе материала для устройства различных портовых сооружений — молов, жете, брекватеров и т. п., необходимо помнить, что различные части этих сооружений требуют различного материала.

Нужно различать части сооружений под водой и части, временно покрываемые водой. Выше уже было сказано, что влияние морской воды может быть двоякое — механическое и химическое. Правильная оценка первого относится к выбору конструкции сооружения, причем может быть весьма полезным предварительное знакомство с характером раз-

рушения смежных берегов под влиянием действия воды. Выбор облицовочного материала требует при этом главного внимания, в особенности при условиях нашего климата, где сооружения в зимнее время подвергаются значительному обмерзанию. Что касается химического влияния морской воды, то сравнительно недавно обращено внимание на вредное действие морской воды на бетонные сооружения и гидравлические цементы. [1]

По наблюдениям Михаэлиса, причиной непрочности в морской воде растворов из портландского цемента является избыток свободной извести (CaO) в цементе; этот избыток можно нейтрализовать примешиванием добавок, образующих с ним также твердеющее соединение. Он указал, что для этой цели наиболее пригодны в качестве добавок так называемые *трассы* и *пуццоланы*, как вещества, содержащие водный кремнезем и вообще водные силикаты.

Ле-Шателье указал, что главной причиной разложения цементов является присутствие в них глинозема (Al_2O_3) выше 4%, дающего с CaO цемента и сернокислыми солями ($CaSO_4$ и $MgSO_4$) морской воды весьма сложное соединение — сульфоалюминат извести ($Al_2O_3 \cdot 3CaO + 3CaSo_4 + 28{,}5H_2O$). Для предотвращения такого разложения он советует также добавление к гидравлическим растворам различных естественных продуктов, именно пуццоланы. По наблюдениям Бразье, разрушенный цемент и сметанообразное вещество, замечаемое при таком разложении, заключают магнезию (MgO) и углекислоту (CO_2), как следствия отложения MgO из морской воды известью цемента и поглощения известью CO_2. Практика несомненно показала, что употребление трасса, пуццоланы и санторинской земли в качестве прибавок к извести дает гидравлические растворы более устойчивые чем различные цементы. Громадная потребность в них делает их предметом промышленного значения. [2]

Помимо вопроса о строительных материалах, при строительстве портов и регулировании устья рек возникает еще ряд вопросов, из которых главнейшие следующие:

a) Разрушения берегов действием волн и приливов разные в различных геологических условиях (условия залегания, состав пород и пр.). Напор волн у крутых берегов достигает огромной величины 10 000 *кг* на квадратный метр (Шотландия), и даже в Черном море (в Туапсе) до 2 800 *кг*. При такой силе волны могут бросать в берег или искусственные сооружения, на нем расположенные, громадные глыбы, действующие при этом крайне разрушительно.

b) Отложения моря — образования баров, пересыпей, кос, стрелок, лагун, лиманов, борьба с нежелательными образованиями путем умелого направления береговых течений и, наоборот, использование их, например, для создания искусственным путем хороших пляжей там, где их нет. Последнее очень полезно, например, для всего курортного побережья Крыма (рис. 107).

---

[1] В. Черномский. Действие морской воды на гидравлические растворы в портовых сооружениях. Труды отдела торговых портов Главного управления торгового мореплавания и портов. Вып. I. 1904.

[2] Трассы и пуццоланы — продукты вулканические, они ввозились ранее преимущественно из Италии и Греции. СССР обладает достаточными запасами их в Крыму (Кара-Даг) и Армении, притом отличного качества.

c) Занесение устий рек движущимися песками — дюнами; борьба с ними и закрепление береговых дюн (богатый опыт Голландии и за последнюю мировую войну — работы в Бельгии).

d) Вертикальные колебания морских берегов — опускание и поднятие, достигающие местами больших амплитуд. Этот вопрос имеет громадное практическое значение: одни гавани, без всяких забот о них, сохраняют неизменную глубину, другие — ежегодно углубляются, при-



Рис. 107. Широкий морской пляж, образовавшийся под защитой двух мысов. Один из них, видный на фотографии, типичный большой лакколит (Аю-даг, бухта Партенит на Южном берегу Крыма). Фот. Сокорнова.

чем портовые сооружения и маяки затопляются, наконец третьи, наоборот, мелеют медленно или настолько быстро, что вообще всякая борьба с этим процессом техническими средствами обречена на заведомую неудачу и будет вести лишь к недопустимым затратам. Первые три категории вопросов сравнительно удачно разрешаются инженерным искусством, последняя же требует всесторонней глубокой геологической экспертизы, которая должна быть предпослана каждому новому проекту портовых сооружений или исправлений. Точные геодезические наблюдения последнего времени (Франция, Германия, Швеция, Норвегия, Япония и др.) доказывают, что иногда соседние части одного побережья, или противоположные берега одного моря (Северного) или материка и острова (Франция, Япония) находятся в состоянии противоположного движения в результате больших сложных тектонических процессов. Здесь более чем в каком-либо другом геологическом вопросе выступает абсолютная обязательность соблюдения обоих основных принципов:

1) самого тщательного и полного подбора мельчайших фактов в исследуемом районе и

2) широкого освещения их данными гораздо более крупного масштаба выводами региональной тектоники соответственного большого сектора земной коры.

В качестве небольшого конкретного примера можно привести один из вопросов, поставленных геологом проекту Черноморской железной дороги. В общежитии береговую полосу Черного моря называют «пляжем», но это неверно; береговая полоса между Туапсе и Сухумом представляет не пляж, а волноприбойную террасу.[1] Разница между этими формами в том, что первый — результат отлагающей работы моря, а вторая — результат разрушения прибоем волн. Вместе с тем на побережьи имеются признаки прогрессирующего наступания моря, выражающегося в заболачивании устьев многих рек. Ввиду всего этого, прежде чем проектировать железобетонную защиту полотна около уреза воды, следовало бы выяснить, может ли она противостоять работе волн наступающего моря, а не базироваться на том, что подобные защиты применяются на настоящих пляжах, находящихся в поднятии или в равновесии.

Несколько другого порядка будут изменения побережий внутренних водоемов, как например Каспия. Уровень его с 1880 г. понизился более чем на 1,7 *м*, причем лишь с 1917 по 1925 г. на 1 *м*, что весьма неблагоприятно отразилось на судоходстве и рыболовстве. Здесь мы имеем сложное сочетание двух причин — действительного понижения уровня моря вследствие уменьшения количества воды в нем и вероятных вертикальных движений некоторых частей побережий. Весьма важно систематическими наблюдениями установить характер и количественную долю каждой причины в общем процессе, тем более, что иногда эти причины могут действовать в одном смысле, а иногда различно.

Большое значение имеет образование горных пород морскими отложениями; последние представляют отчасти осадочные породы, образовавшиеся физико-химическим путем, отчасти же в их образовании участвуют также и органические существа (органические породы); они составляются также из остатков пород, разрушенных материалов суши, вулканических пеплов, перенесенных ветром, масс пыли и т. д. В зависимости от морской глубины, на которой они отлагаются, и их свойств, морские отложения разделяются на:

I. Прибрежные отложения:

1. Мелководные образования: а) береговые отложения; б) отложения материковой ступени от 20 до 200 *м*.

2. Более глубокие образования (прибрежные илы) — от 200 до 400 *м*: а) известковый; б) зеленый; в) темный ил.

II. Глубоководные отложения (от 700 до 9000 *м*):

1. Известковые глубоководные отложения: а) глобигериновый ил; б) птероподовый ил.

[1] Высота морских террас достигает над уровнем моря: в Вальпарайзо (Чили) — 400 *м*, на Черноморье (Сухум — Сочи) — 40 *м*.

2. Безызвестковые глубоководные отложения: а) красная глубоководная глина; б) инфузорный ил; в) кремнисто-водорослевый ил.

Подробнее классификация и описание осадочных горных пород в § 39.

§ 37. Гидротехническое строительство

Реки, расход воды которых подвержен сильным колебаниям, причиняют неприятности и беспокойства по двум причинам: во-первых, по обмелению, нарушающему судоходство или использование водной энергии силовыми установками, и во-вторых, обратно—наводнениями. Особенно последние причиняют подчас грандиозные убытки. Во всех таких случаях периодически или постоянно затрачивается масса средств на гидротехнические работы, далеко не всегда однако рационально. В СССР эти вопросы ввиду важности водных путей сообщения, плохой еще их оборудованности и неблагоприятного характера рек, страдающих половодьями, обмелением, дряхлостью, донным льдом и пр., имеют особо важное значение. Дать даже приблизительные общие указания здесь невозможно и следует лишь подчеркнуть неизбежность для соответственных техников более детального ознакомления с вопросами эрозии, жизни и механизма речного русла, влиянием геологического строения на сеть и конфигурацию речных долин, деятельность ледоходов, явления образования донного льда, процессы снеготаяния, занесения летучими песками, и пр., и пр. То же следует сказать и об озерах, в отношении которых практические вопросы сводятся к следующим:

1. Озера, как источники водоснабжения.

2. Большие судоходные озера возбуждают много тех же вопросов, как и морские побережья — в связи с изменением берегов, их разрушением, заносом и изменением дельт и т. п.

3. Зарастающие озера порождают болота, процесс формирования которых и режим весьма важны, как мы уже убедились.

Вопросы изучения рек и водоемов весьма многообразны и далеко выходят уже за рамки собственно геологии. Специально ими занимается Ленинградский гидрологический институт и др.; много ценных данных содержится в трудах Отдела земельных улучшений в связи с орошением Ср. Азии и Кавказа, в трудах Гидрометрической части и Управления водных путей сообщения, а также в целом ряде отдельных изданий и монографий.

К гидротехническому строительству принадлежит, между прочим, и регулирование течений рек, издавна преследовавшее самые разнообразные цели. Иногда оно производится в целях достижения или улучшения судоходности рек, иной раз стремятся обеспечить берега от разрушительного действия разлива, оградить луговые угодья от затопления половодьем, или же спасти низменные места от заноса и засорения щебнем, галькой, песком и т. д., добиваясь в то же время безвредного переноса валунов и галек вдоль по руслу реки.

Достичь указанной цели при регулировке речных русел в большинстве случаев наиболее легко, руководствуясь гидрологическими и лишь изредка геологическими рассуждениями и расчетами; последние потребуются главным образом при проектировании укрепления и плотин бурных потоков, количество переносимого щебня и валунов кото-

рых в большинстве случаев основано на геологических условиях области питания.

Важнейшей задачей гидротехники, могущей быть разрешенной лишь при участии геолога или петрографа, являются выбор и добыча соответствующих запросам гидротехники строительных материалов. Рухляковые, глинистые каменные породы, как то: глинистые мергели, известняки и мергелистые песчаники, принципиально должны быть исключены из числа применяемых в гидротехнических сооружениях строительных материалов, так как они размягчаются и разрыхляются под водой. Некоторые прочные, стойкие каменные породы, как то: стойкие на выветривание базальты кварциты и амфиболиты, мало пригодны для гидротехнического строительства лишь по той причине, что их строение не допускает добычи достаточно больших по размерам глыб, обычно требующихся для гидротехнических сооружений; подобные породы применяются лишь для одежды откосов, мощения берегов и т. п. Наиболее выгодны и пригодны для гидротехники большинство добываемых большими глыбами и лишь трудно выветривающихся разновидностей изверженных пород, как то: граниты, диориты, кварцевые порфиры и т. п., далее богатые кварцем песчаники, толстослоистые доломиты и очень прочно сцементированные конгломераты, брекчии и т. д. Менее пригодными в общем являются известняки и известковые песчаники.

В жесткой известковой воде в крайнем случае могут найти применение также пористые и ячеистые известняки, так как по опытным данным поры и полости их постепенно прочно заполняются осаждающейся из воды известью. В общем гидротехник-строитель должен стремиться к применению тяжелых каменных пород, потому что большой удельный вес их играет существеннейшую роль в сопротивлении прибою и напору воды.

Слишком мало обращают внимания на то обстоятельство, что всякая постройка, изменяющая поперечный или продольный разрез русла, неминуемо вызывает образование водоворотов, угрожающих целости всего сооружения. К этим явлениям принадлежат также и водовороты, образующиеся ниже плотин, порогов и т. п. Поэтому одной из существеннейших забот инженера всегда должно явиться обеспечение всего участка, находящегося даже ниже самого сооружения.

Далее, одним из слабых мест гидротехнического строительства является поперечное сечение участка, подлежащего регулированию. Если оно слишком велико, т. е. слишком широко, то следствием такой ошибки будет наводнение берегов и засорение их наносами, в то время как при слишком узком сечении сильное сжатие вод вызывает углубление и размывание русла, угрожающее целости всего регулирующего сооружения, или же требует применения дорого стоящих как при постройке, так и при эксплоатации защитных приспособлений. Во многих случаях рекомендуется пользоваться так называемыми двойными профилями, в которых для обычного количества воды имеется одно русло, врезанное в более широком русле, предназначенном для высокой воды.

При регулировке течения рек добиваются также выпрямления изгибов реки и стержня ее; этим достигается большая водоемкость поперечного сечения, лучшая обеспеченность берегов, но в то же время,

на что нередко не обращается должного внимания, вызывается увеличение уклона и, как следствие, большая скорость течения и увеличенное размывание реки.

При подобных одиночных прокопах извилин, щебень и галька, снесенные с выпрямленного участка, осаждаются ниже прокопа и вызывают обмеления, против чего необходимо принимать соответствующие меры. Такие и другие подобные им недостатки характерны для всякого частичного бесплановое регулирования рек; улучшение условий стока и переноса аллювия в одной части русла всегда влечет за собой ухудшение условий течения воды в участках русла, оставшихся неотрегулированными. Поэтому рекомендуется производить такое частичное регулирование русла лишь в виде частной работы в целой системе работ, предусматривающих регулирование реки на всем ее протяжении.

Постройка плотин—барражей

Барражи сооружаются для обезвреживания половодья, водоснабжения, питания гидросиловых установок и ирритации в целях достижения равномерного расхода воды в течение дня, месяца и года. Постройка их немыслима без предварительного производства подробных геологических изысканий, почему, например, в Австрии законом полагается представление подробной геологической экспертизы о проектированном барраже при выдаче разрешений на его постройку. Применением пневматического цементирования можно создавать *подземные барражи* для накопления запасов грунтовых вод, предотвращая бесполезное естественное расходование их (например в Ергенях, Калмыцкой степи), или подъем вод (в закрытых галечных руслах). Геологическое изыскание при этом не должно ограничиваться исследованием одного лишь места постройки самого барража, но должно охватывать весь бассейн запруды и распространяться также и на его ближайшие окрестности. Экономия при производстве предварительных геологических исследований при проектировании барражей часто еще более неблагоприятно отражается на дальнейшей работе, чем при постройке туннелей, так как при разрушении значительных запруд уже не раз погибало большое количество людей и опустошались целые долины. По этой же причине и ответственность геолога, дающего геологическое заключение о месте и проекте барража, чрезвычайно велика. Производимые геологические исследования состоят не только в исследовании имеющихся естественных обнажений, но должны заключать и целый ряд советов строителям, причем в сомнительных случаях данные естественных обнажений должны дополняться наблюдениями в искусственных обнажениях, шурфах и пробным бурением. Поэтому в общем за предварительным геологическим исследованием по окончании искусственных обнажений должна следовать подробная окончательная экспертиза, которая и ляжет в основу технического проекта.

Привлечение геолога при определении точных мест закладки шурфов и буровых скважин позволяет избежать лишних расходов, сэкономить время и достичь поставленной цели наиболее дешевым, быстрым и целесообразным способом. Искусственные обнажения, произведенные при изыскании и находящиеся вне самого места постройки

барража, должны вновь заделываться самым тщательным образом, чтобы не явиться в дальнейшем отправными точками для образования течи или мест просачивания и утечки воды из бассейна.

Бурение должно применяться лишь в особых случаях, например для определения мощности осыпей, аллювия в долинах и др. наносов, выяснения трассы штолен и для общей ориентировки. Гораздо важнее, однако, для полного определения геологических условий проведение шурфов и шахт, на достаточно большой поверхности стенок которых можно было бы наблюдать все взаимоотношения интересующих строительство слоев, характер пластования, складчатости, разломов, трещин, отдельностей, однородность пород и их состояние в отношении выветривания. Все места заложения оснований, быков и т. п. должны быть изучены только таким образом. Если плотина пересекает свиту пластов вкрест их простирания, и заведомо намечается значительное чередование материала основания, то проведение разведочных канав для ознакомления *со всеми* пластами *обязательно:* малейший неучтенный слабый пропласток может дать повод к большим неприятностям.

В ряде случаев применимы и геофизические методы разведок (сейсмические и гравиметрические — вариометром). Они дадут указание на смену весьма различных пород, глубину залегания коренного ложа долины и т. п., но, конечно, не качество пород. Например, уже упомянутая катастрофа с прорывом туннеля Летчберга, могла бы быть предотвращена такой разведкой, своевременно произведенной.

Но основными правилами рационально примененной геологической экспертизы и в гидротехническом, как и туннельном строительстве являются:

1. Привлечение геолога для предотвращения неудач, а не для исправления или разрешения конфликтов.
2. Участие геолога в самой первой стадии изысканий.
3. Участие геолога не только в изысканиях и составлении проекта, но и в течение всего времени постройки, так как только тогда многое выясняется во время земляных работ, а также многие факты исчезают после крепления, бетонирования и пр.

По Терцаги, «при расчете нагрузки на основания плотин, значение веса всего сооружения отступает на задний план по сравнению с разнообразным действием воды на основание, возникающим в связи с подпором у плотины. Статистика несчастных случаев показывает, повидимому, что наши предсказания относительно условий заложения плотин связаны часто с еще бо́льшими ошибками, чем наши предсказания относительно постройки высоких зданий. Кроме того, потери капитала и человеческих жизней при прорыве плотин, в среднем, далеко превосходят убытки, проистекающие от ошибок при постройке высоких зданий, поэтому геология оснований плотин заслуживает особого внимания.

Сравнение относительных значений расходов, из которых складывается стоимость плотин, приводит к следующему заключению: дешевле всего обходится геолотическое исследование древней истории долины, произведенное опытным специалистом на основании изучения естественных обнажений и существующих уже специальных геологических работ, касающихся местности, окружающей место постройки.

Дороже стоит разведочное бурение, но все-таки еще немного по сравнению с непредвиденными расходами по выемке грунта и возведению тела плотины, возникающими вследствие недостаточных предварительных изысканий. Однако, еще дороже обходится уничтожение последствий прорыва. При таких обстоятельствах самые тщательные предварительные изыскания представляются весьма обоснованными и безусловно оправдываются с хозяйственной точки зрения.

Участки речной долины, годные для возведения проектируемой плотины, определяются обычно чисто техническими и хозяйственными соображениями. Задача геологической экспертизы состоит в том, чтобы найти на указанных участках точку или точки, в которых условия сооружения плотины были бы самые благоприятные».

В своем заключении геологу придется в первую очередь обратить внимание на простирание и падение слоев горных пород в месте сооружения самой плотины. Крутое падение пластов в сторону одной из сторон (боков) долины, совпадение, следовательно, направлений простирания долины с одной стороны с простиранием слоев, составляющих ее подошву и склоны, считается неблагоприятным, ибо оно облегчает проникновение и выступание воды под фундамент барража и заставляет в то же время при быстрой смене различных пластов основывать все сооружение на породах с различными техническими свойствами. Чем более падение слоев согласуется с направлением уклона и дном долины, тем более благоприятны условия постройки, в особенности если пласты падают круто поперек оси долины; при этом падение слоев вверх по течению предпочтительнее падению вниз по течению, ибо первое представляет более прочный и удобный упор. Если слои отлого падают вниз по течению, то, при наличии в подпочве плоскости скольжения или даже только значительного различия в налегающих пластах, угрожает возможность оползания и перемещения всего сооружения, что в конечном результате может привести к его окончательному разрушению.

Серьезнейшее внимание должно быть также обращено на прохождение сбросов, так как последние часто сопровождаются значительной трещиноватостью и разрыхлением пород и опасны даже в том случае, если массив барража прорезается только одной, но открытой сбросовой трещиной. Закрывшиеся плоскости сброса сами по себе могут быть совершенно безопасны, если только породы в его ближайших окрестностях не обнаруживают заметного существенного нарушения своего строения. Если такой сброс, признанный безопасным, совпадает по своему направлению с продольной осью плотины, то последнюю лучше возвести на сброшенной нижней его глыбе. Сбросы же, по виду хоть и незначительные, но пересекающие продольную ось сооружения под тупым углом, всегда должны внушать опасения.

Важно также определение мощности выветрелого и растрескавшегося верхнего поверхностного слоя, покрывающего перекрытую им материнскую здоровую горную породу; плотина не должна основываться ни своей подошвой, ни своими оконечностями на подобной гнилой скале; тщательнейшим образом надлежит до начала самой строительной работы убрать без остатков всю мягкую, гнилую, рыхлую, трещиноватую и разлагающуюся породу. В областях, никогда не бывших покрытыми ледниками, мощность этой коры выветривания достигает, в особенности

в более теплых широтах, 5—6, а иногда и более метров. Более благоприятны области, в коих тысячелетняя работа ледников убрала весь мусор выветривания и сгладила поверхности скал.

Само собой разумеется, что минералогические свойства пород, подстилающих самое место сооружения плотины, требуют с технической точки зрения подробнейшего освещения. Здесь должна быть выяснена также и степень выветриваемости породы, с тем чтобы породы очень чувствительные в отношении выветривания и в то же время чрезвычайно прочные и стойкие при условии перекрытия, как некоторые базальты, трахиты, немедленно по обнажении застраивались соответствующим перекрытием.

О технических качествах пород позволяет также судить размывающая деятельность воды; узкие скалистые ущелья с крутыми склонами свидетельствуют о высокой сопротивляемости породы выветриванию, о стойкости ее, незначительной последующей обрушимости и значительном сопротивлении нагрузке. Что касается последнего, то оно не должно соответствовать требованиям предполагаемой нагрузки, но должно распространяться по всему сечению долины и по всей площади нагрузки вполне равномерно. Другими словами, для обеспеченности устойчивости всего сооружения полная неподвижность подошвы основания должна быть обязательной. Для этой же цели необходимо также исследовать частоту и силу землетрясений в данной области и расположение в ней эпицентров, а также установить, не угрожают ли существованию барража естественные или искусственные изменения в земной коре, будь то обвалы, подземные сооружения и т. п.

Требованиям, предъявляемым в отношении нагрузки, соответствует большинство коренных горных пород, за исключением легко размягчающихся в воде глинистых пород и рыхлых масс. Поэтому, например, определенно не рекомендуется возводить стены запруд на мокрых сланцевых глинах, мергелистых сланцах, лёссе, глинах, рыхлых песках и щебнях; но в то же время подобные породы вполне выдерживают сооружение не слишком высоких земляных насыпей. Богатые перегноем отложения, торф, болотные почвы не выдерживают даже нагрузки такой насыпью, так как в них беспрепятственно идут процессы разложения, приводящие, в связи с значительной разбухаемостью перегнойных веществ, к постоянным изменениям в объеме масс. Там, где не имеется по всей площади постройки требуемой однообразности качеств породы, часто возникают серьезнейшие опасения за целость всего сооружения; в особенности это наблюдается в случае пересечения продольной оси плотины плоскостью, разграничивающей породы различной прочности; но и в случае приблизительного совпадения направления такой разграничивающей породы плоскости с продольной осью плотины могут проявиться вредные перемещения подпочвы.

Сопротивляемость нагрузке не должна испытывать в течение времени никакого уменьшения, что было бы возможно, например, вследствие быстрого выветривания пород или же вследствие образования пустот и полостей в породах, растворяемых водой. В этом отношении опасно присутствие ключей, содержащих кислоты, или сильно щелочных источников, болотных вод и газовых источников. Но и обыкновен-

ная вода, циркулирующая в земных недрах, с достаточной скоростью растворяет ангидрит, гипс, каменную соль и чистые известняки.

Самое место постройки не должно также иметь доступа воды снизу к плоскости, отделяющей коренную породу от фундамента. Просачивание воды под плотиной может действовать разрушительно также и на земляные насыпи; там, где предположена насыпка земляного вала на более или менее рыхлых и бедных глиной щебнях или песках, и при наличии давления воды, превышающего одну атмосферу, вопрос о допустимости возведения такой насыпи чрезвычайно труден и разрешим часто лишь опытным путем. Но и скалистые породы могут оказаться проницаемыми для воды, находящейся под некоторым давлением; это применимо, между прочим, для некоторых легко растворимых известняков, для мергелей, для штоков гипса и каменной соли и, наконец, для всех пород, под влиянием тектонических нарушений претерпевших более или менее значительное ослабление их сцепления.[1]

По Терцаги — «Если исключить пористые доломиты и некоторые песчаники, то все плотные породы можно считать практически водонепроницаемыми». При заложении плотин в твердых коренных породах утечка запруженной воды происходит обычно исключительно через трещины в этих породах. Скорость фильтрации определяется размером трещин и разностью уровней воды в верхнем и нижнем бьефах.

При узких трещинах количество вытекающих через них воды возрастает прямо пропорционально гидравлическому градиенту, так же как в капиллярных трубках или в мелком песке; при более широких трещинах, так же как в открытых каналах, количество вытекающей воды возрастает как корень квадратный из разности уровней, т. е., если в этом случае увеличить высоту плотины в 4 раза, то количество утекающей воды удвоится.

При современном состоянии наших знаний, минимальное сечение трещин, в которых еще может действовать давление, направленное вверх, можно принять равным 200 μ (одна пятитысячная часть миллиметра). Ходы с таким сечением представляют собой едва заметные волосные трещины. В еще более узких трещинах вода обладает, согласно Терцаги, свойствами, гораздо более похожими на свойства аморфного твердого тела, чем на свойства жидкости.

Величина части поверхности фундамента, на которую действует гидростатическое давление, зависит от числа точек приложения этого давления на единицу поверхности, от величины давления, действующего в точке приложения, от модуля упругости соприкасающихся материалов тела плотины и породы, а также от радиуса кривизны соприкасающихся поверхностей. Если принять во внимание эти факты, то относительно действия давления, направленного вверх, можно сделать следующие выводы.

Если основание под плотиной состоит из чистого ничем не связанного песка, то часть поверхности фундамента, подвергающаяся гидростатическому давлению, достигает почти 100% общей поверхности.

[1] Новый интересный способ обоснования шлюзов на весьма тяжелом грунте, состоящем из плывунов с валунами, разработан и применен при постройке Беломорско-Балтийского канала; вообще постройка эта дала богатый опыт для технической геологии.

При мелкозернистых, обладающих некоторым сцеплением грунтах (пылевидный суглинок, глины), эта часть делается тем меньше, чем больше сцепление. Это соотношение между величиной сцепления грунта и величиной подвергающейся давлению части поверхности основания плотины сейчас нельзя еще выразить численно, однако весьма вероятно, что для плотных пластичных глин эта часть меньше 30%.

При неправильно или равномерно трещиноватых породах эта подверженная давлению часть фундамента не должна была бы превышать 30—40%. При не осушенном основании следует считать, что гидростатическое давление на фундамент со стороны верхнего бьефа равно полной высоте подпора, а со стороны нижнего бьефа равно половине высоты подпора. Если же было произведено полное осушение подземной части плотины, то давление со стороны, обращенной вниз по течению, можно принять равным нулю.

При горизонтальном напластовании пород можно рассчитывать на возможность того, что для целых участков основания плотины упомянутая выше часть фундамента достигает 100%. Главная опасность заключается, повидимому, в действии давления на части породы, лежащие непосредственно ниже плотины по течению, потому что здесь, вследствие меньшей нагрузки, сопротивление расширению трещин в породе будет наименьшим. Некоторые из самых тяжелых по последствиям прорывы плотин произошли, повидимому, от взрыва породы, залегающей у самого подножья стенки плотины в нижнем бьефе. Господствующую в САСШ привычку считать, независимо от каких-либо местных геологических условий, что подвергающаяся давлению часть основания равняется одной трети всей поверхности, при горизонтальном напластовании следует назвать ошибочной.

Если трещиноватость породы продолжается равномерно на большие глубины, то искусственное заполнение трещин в породе, доведенное до глубины 15 или 20 *м*, будет иметь лишь скромное влияние на общее количество просачивающейся воды. В большинстве же случаев, встречающихся на практике, однако, удается такими приемами искусственного заполнения трещин довести потери на просачивание до небольшой величины.

Само собой понятно, что на основании результатов геологической съемки местности можно лишь очень грубо оценить условия трещиноватости. Заключение геолога относительно этих условий можно рассматривать лишь как основу для выработки программы бурения. Однако и колонковое бурение выясняет в лучшем случае степень трещиноватости, но не поглощательную способность трещиноватых пород и тектонических разломов.

Поглощательную способность можно определить только на основании исследования относительной проницаемости стенок буровой скважины.

Величина потери воды, которую можно считать допустимой, зависит, во-первых, от соотношения между имеющимся запасом воды и количеством ее, которое потребуется для эксплоатации будущего гидротехнического сооружения. При нормальных условиях работы по заполнению трещин можно считать законченными, если при помощи инъекции цемента удалось уменьшить потерю воды в стенках буро-

вых скважин до 0,05 *л* в 1 мин. на 1 *м* глубины буровой скважины и на 1 *м* высоты давления.

При обсуждении влияния цементирования на гидростатические условия следует иметь в виду, что размеры частиц цемента обычно не меньше 0,05 *мм*. Так как сечение самых узких трещин, по которым еще передается гидростатическое давление, достигает приблизительно 0,0002 *см*, то фильтрация из верхнего бьефа не исчезает, несмотря на цементирование. Если грунт прорезан сильно поглощающими доступными для проникновения цемента трещинами, то последние с внешней стороны уплотненной зоны действуют как сборный дренаж, и присутствие их понижает гидростатическое давление под основанием плотины. Менее благоприятны условия гидростатического давления в породах с мелкими трещинами, мало или совсем недоступными для цемента. В этих случаях хорошо принимать в расчет гидростатическое давление даже тогда, когда опыты над проницаемостью стенок скважин указывают на плотные породы, но буровые колонки (керны) позволяют заключить о наличии большого количества трещин.

Грюнер (Базель) добавляет к этим рассуждениям свои опыты с инъекцией цемента.

Вообще необходимо указывать при закладке плотины на различные виды расселин и трещин. Следует подчеркнуть, что даже самая прочная и плотная порода претерпевает глубокие повреждения при подрывных работах. Большей частью нельзя заложить зуб настолько глубоко, чтобы можно было начать кладку вне этой нарушенной зоны, поэтому почти при всех постройках плотин необходимо предпринять инъекции. Самые инъекции нужно хорошо обдумать с физической точки зрения. Если инъекция производится сжатым воздухом, то воздух естественно стремится найти себе выход. Когда воздух давит на инъецированную воду или цемент, то в самом цементе образуются новые ходы. Иначе при гидравлической инъекции, здесь столб воды покоится на инъецированной массе и сдавливает ее. Поэтому в действительно критических случаях только гидравлическая инъекция приводит к удовлетворительным результатам.

Опасности, которые могут возникнуть для основания плотины, вследствие медленно идущих изменений, известны уже десятки лет. Тем замечательнее недостаток цифровых данных, полученных наблюдениями или опытным путем, для определения вида и размеров возможных изменений, так что даже опытный геолог может в лучшем случае высказать лишь предположения, а не положительные сведения. Изменения эти могут итти следующими путями: a) химические изменения вследствие обменного разложения или растворения, b) физические изменения объема, содержания воды и твердости пород, c) медленное изменение формы поверхности подземной части основания плотины под длительным влиянием изменения нагрузки, d) изменения сечения путей фильтрации благодаря механическому действию текущей воды.

Относительно химического действия воды на коренную породу Грюнер сообщает нам следующее:

«Здесь первое место занимает действие воды на ангидрит и гипс. Собственно говоря, следовало бы сказать, что закладывать плотину на гипсе или ангидрите невозможно. Тем не менее это уже случалось.

Так, в окрестностях Базеля на Бире была заложена плотина на триасовых сланцах. При постройке не обратили внимания на то, что под ними залегают пласты гипса. Вскоре в плотине обнаружились трещины, и произошло оседание ее. Эту опасность можно было устранить, подперев плотину снизу и опустив зуб ниже пластов гипса пневматическим способом.

Аналогичным случаем, но с катастрофическим исходом, является прорыв плотины Франсис у Лос Анжелоса.

Там в сланцах правого склона долины имелись прослойки гипса мощностью лишь в несколько сантиметров, все они были выщелочены просачивающейся водой. Кроме того, появилось общее размягчение пород, служащих основанием восточного плеча плотины. Плотина осела и прорвалась.

Дальнейшим следствием физического или химического воздействия является растворение известняка в воде.

В качестве примера в этом отношении упомянем плотину Camarra. Там выше плотины имелось несколько расселин в известняке, на которые руководители постройки обратили мало внимания. Вскоре после постройки утечка воды через расселины увеличилась и в настоящее время превышает 10 $м^3$ в секунду, причем уплотнение не удалось».

При налегании над коренной породой сплошного выветрелого покрова с богатым содержанием глины и толщиной в 1—1,5 *м*, утечки воды опасаться не приходится. В противном же случае, если материнская порода перекрыта незначительным по мощности или бедным глиной покровом из продуктов выветривания, отношение породы к воде должно быть определено для каждой разновидности горных пород в отдельности. При этом надлежит обращать столь же серьезное внимание на залежи легко растворимых пород, как то: гипса, ангидрита, каменной соли, чистых известняков и т. д., прохождение через породы открытых сбросовых трещин и целых сетей линий нарушений, зон разрыхления, как и на наличие подземных каналов, пещер, гротов и т. д. Заполненные суглинками или закрытые плоскости сбросов в известных условиях не нарушают водонепроницаемости бассейна запруды. Какие именно нарушения в строении гор могут угрожать водонепроницаемости бассейна, нередко может быть установлено лишь в результате самого подробного геологического исследования всей местности.

По Терцаги — «Выветрелый слой может пропускать воду — например продукт выветривания гранита, состоящий из смеси зерен кварца, слюды и полуразрушенного полевого шпата. При закладке плотины в Испании (на Сьерра-Градо) такой слой пришлось пройти до глубины 12 и 15 *м*, пока встретили надежную для фундамента породу. В Тоскане начали постройку запруды, при которой на 30 *м* еще не достигли надежной для закладки фундамента породы.

Гнейсы и кристаллические сланцы могут обратиться и в совершенно непроницаемую массу. В таких случаях иногда возможно основать плотину на выветрелых породах. Такой запрудой является плотина Кала. У ее внешних плечей основание оказалось надежным и не пропускающим воду, однако такая выветрелая порода представляет мало сопротивления действию воды. Породы, залегавшие ниже водослива плотины Кала, были смыты уже через несколько часов, и

только залегающие в скале пласты диорита представляли еще твердый остов.

Бывают случаи, когда на коренной породе лежит выветрелый слой, который затем перекрыт более молодыми отложениями.

Примером такого рода служит разрез в районе одной европейской запруды.

Слой глины, лежащей на мелафире, постепенно вымывается, и вода выступает ниже плотины уже под давлением. Здесь ничего больше не остается, как опустить зуб до самого мелафира.

Физические изменения, которые может претерпеть порода в области потока просачивающейся воды, хорошо выражаются словами «разбухание» (глины, мергели и т. д.) и «размягчение» (прослойки глины). Оба слова, в сущности говоря, обозначают то же самое, потому что размягчение физически невозможно без одновременного увеличения содержания воды.

Изменения, которые претерпевает порода основания под действием искусственно увеличенной нагрузки, зависят при прочих равных условиях от модуля упругости породы. Модуль упругости (т. е. частное от деления величины давления на единицу поверхности на вызванное им сжатие на единицу длины) для твердых водоупорных пород (гранит, плотный известняк и т. д.) равняется, так же как и для бетона или кирпичной кладки, от 100 000 до 300 000 *кг* на 1 *см*^{2}. Модуль упругости плотной жирной глины лежит между 50 и 100 *кг* на 1 *см*^{2}. Между этими пределами находится большое число пород средней крепости (мергель, глинистые сланцы и т. д.), про упругость и прочность которых до сих пор очень мало известно. Деформации, которые происходят в породах такого рода под влиянием местной длительной нагрузки и особенно под влиянием переменной нагрузки, вероятно, с течением времени возрастают, так же как и деформация глины. Большая разница между прочностью этих пород в сухом и насыщенном водой состоянии (для глинистых сланцев около 60%), вероятно, проявляется, так же как и для глины, в соответствующей разнице между модулями упругости сухого и насыщенного водой материала. Это заставляет думать, что ток просачивающейся воды, направленный вверх, в пределах воздушной стороны стенки плотины не остается без влияния на прочность этих пород.

Значение этих обстоятельств для сооружения плотин очевидно. Если плотина выстроена на породе с модулем упругости, близким к модулю материала кладки, то предположения, сделанные при расчете плотины, почти вполне оправдываются.

Если же модуль упругости породы в основании значительно меньше, чем модуль материала плотины, и, кроме того, грунт претерпевает деформации, величина которых возрастает со временем, то в теле плотины появляются вторичные напряжения, приводящие с течением времени к дряблости и образованию трещин.

Чисто механическое вымывание трещин, заполненных песком и рыхлым передвигающимся или выветрелым материалом, понятно без дальнейших объяснений. Труднее понять расширение пустот, вполне или частью заполненных глиной. Опыт учит, что такие глины даже в мягком пластичном состоянии прекрасно противостоят механическому воздействию воды, и нет причины предполагать, что глина в со-

прикосновении с током просачивающейся воды будет вести себя иначе. Если же вода в трещине несет с собой грубый материал, то она может промыть и расширить себе пути в глине, постепенно стирая открытую поверхность глины, соприкасающуюся с током воды, аналогично тому, как действует струя песка.

Вообще говоря, молодые сбросы в слабо нарушенной области, по-видимому, вызывают больше опасений, чем сбросы в сильно пересеченной горной области, возникшие в то время, когда массы пород еще находились под давлением мощного покрова. Недопустимо возведение плотин на сбросах, в которых еще сейчас происходят медленные перемещения, обусловленные сейсмическими явлениями.

Горизонтальное расположение трещин между пластами благоприятствует разрушению сооружения вследствие скольжения. Некоторые из самых тяжелых по последствиям катастроф при прорыве плотин произошли на коренных породах такого характера.

Несчастные случаи, имеющие место при горизонтальном залегании пород, заставляют обратить внимание на опасность, возникающую под влиянием гидростатического давления в нижнем бьефе у подошвы плотины и выражающуюся нередко нарушением, выпиранием и размывом в этом месте пластов горных пород.

Известняк относится к горным породам, наименее поддающимся расчету в отношении трещиноватости. Местами практически водонепроницаемый, он может на соседнем участке обладать весьма повышенной поглощательной способностью, обусловленной местным растворением породы и образованием пустот (карстовые явления). Подземные водные пути приурочены преимущественно к геологическим зонам нарушения. Эти зоны могут соединяться между собой системами трещин и пещер, о направлении которых ничего нельзя сказать при наблюдениях над дневной поверхностью. Если запрудить русло реки в трещиноватых известковых породах, то тонкий слой выветривания глины, покрывающий дно, скоро прорывается в отдельных местах, и вода устремляется через трещины вниз. Если удастся найти эти места и их закрыть, то обычно непроницаемый почвенный слой прорывается где-нибудь в других местах, так как закрытие отсасывающих отверстий исключает противоположное гидростатическое давление, которое до тех пор удерживало соседние участки покрова в целости. Таким образом уплотнение запруженного бассейна в области развития карстовых известняков представляет собою дорого стоящую и часто даже неразрешимую задачу. Надежные сведения относительно свойств породы можно обычно получить лишь глубоким бурением и опытами над давлением воды. Не следует забывать и химическое растворяющее действие воды на известняк.

Если по техническим или хозяйственным соображениям невозможно опереть плотину снизу хотя бы при помощи зуба на коренную породу, то прежде всего возникает опасность разрушения плотины вследствие прорыва основания (размывание) и затем опасность значительной утечки воды. При одинаковой ширине долины и при одинаковой конструкции плотины размеры обеих опасностей зависят в большой степени от условий залегания несцементированного заполнения долины (наносов).

Чтобы оценить влияние строительного грунта на опасность прорыва,

нужно прежде всего выяснить те явления, которые приводят к прорыву в простейшем случае, т. е. при вполне плоской поверхности фундамента и при совершенно однородном, равномерно пропускающем воду наносе. Эти явления были изучены Терцаги как экспериментально, так и теоретически и представлены математически. Согласно результатам этих работ, окончательная причина прорыва основания состоит в том, что давление потока просачивающейся воды направлено вверх и действует против силы тяжести. В тот момент, когда это наступит, плотное или наполовину плотное залегание зерен наноса переходит в местах преодоления силы тяжести в самое рыхлое, и материал становится подвижным, начиная с места первого разрыхления и распространяясь постепенно под основанием плотины вверх по течению.

Существующая при неравномерном грунте возможность постепенного изменения структуры наноса и условий проницаемости, благодаря перемещению и осаждению материала, является обстоятельством, имеющим очень большое значение. Вполне однородный, например состоящий из песка, грунт, плотно прилегающий к нижней поверхности фундамента плотины, при данной высоте запруды пропускает воду, не испытывая с течением времени ни малейшего изменения, или же немедленно после достижения высоты критического подпора уносится из-под плотины.

В противоположность этому структура и проницаемость грунта, состоящего из различных наносов, меняется с течением времени, причем поверхности, разграничивающие отдельные пласты наносов, являются поверхностями наибольшего перемещения материала. Грунт становится или лучше или хуже, по крайней мере в течение первых лет действия плотины, и стационарное состояние устанавливается только постепенно».

Ввиду большой неопределенности наших расчетов степени благонадежности в отношении прорыва грунта, проистекающей от невозможности точного предварительного определения условий залегания и проницаемости грунта, всякий катастрофический прорыв основания прибавляет ценный вклад к нашему запасу знаний в этой области. Терцаги дает сводку поучительных случаев.

Степень благонадежности двух идентичных плотин, выстроенных на геологически как будто подобных грунтах, может быть весьма различна. Составление проекта должно производиться на основании самых неблагоприятных возможностей, вытекающих из данных геологических условий. Для оценки этих возможностей необходимо, во-первых, основательное знакомство с теориями давления токов воды и прорыва грунта, а во-вторых, производство обширных изысканий при помощи бурения и опытов над нагнетанием воды.

Большое значение имеет также выяснение вероятных сроков обмеления бассейна, благодаря занесению наносами и осаждению переносимых водой взвешенных частиц. В первые годы после сооружения барража приток некоторого количества таких взвешенных частиц в большинстве случаев очень желателен, так как частицами этими закрывается ряд имеющихся в породах трещин и повышается естественная водонепроницаемость бассейна. Оценка количества наноса может быть, при отсутствии достаточного числа ранее сделанных наблюдений, произведена лишь после подробного исследования бассейнов.

питающих водохранилище, причем особое внимание должно быть обращено на их валунные и щебенные очаги. Там, где приходится ожидать более значительных количеств наносов, как например в большинстве туркестанских и альпийских рек, геолог обязан внести предложение способов обезвреживания валунных очагов и уменьшения переносимых количеств взвешенных и осаждающихся в бассейне частиц.

Наполнение водохранилища вызывает затопление земельных участков, до тех пор бывших более или менее сухими. Так как пропитывание водой уменьшает величину трения горных пород, то тем самым для некоторых затопленных рыхлых пород создаются благоприятные условия для оползания или другого рода движения. Такие оползни в пределах водохранилища часто очень невыгодны в смысле уменьшения подлежащего использованию объема бассейна, но в то же время они могут при распространении на более мощные отложения охватить более значительные участки берегов пруда и нанести тем самым огромный вред пахотной земле. Эти вопросы, касающиеся общественных интересов, также должны изучаться геологом.

Часто имевший место способ затоплять на берегах бассейна весь мелкий лес, неудобный для рубки, не должен допускаться не только в видах красоты и гигиены, но также и по той причине, что возникающими сильными процессами гниения в воду примешиваются вещества, увеличивающие ее растворяющие свойства; в известковых горах это обстоятельство может сыграть существенную роль.

С большой тщательностью следует также разрешать вопрос о добыче соответствующих строительных материалов. При этом надлежит в первую голову иметь в виду добычу строительных материалов по возможности в близких к месту постройки ломках, допуская использование привозных материалов лишь в том случае, если необходимых материалов не имеется поблизости. Выбор того или иного строительного камня должен зависеть от геологического строения местности, а также должен предусматривать сопротивление действию воды, содержащей различные соли, углекислоту, азотную кислоту и так называемые кислые перегнойные вещества (из болотных ручьев и богатых перегноем лесов). Более подробные данные по этому вопросу можно найти в превосходном труде Леппла.[1]

Гидросиловые сооружения

Гидросиловые сооружения требуют в геологическом отношении следующих условий:

1. Водонепроницаемость водосборного бассейна и устойчивость склонов, его окружающих.
2. Непроницаемость и устойчивость плотины.
3. Непроницаемость и устойчивость каналов и штолен, подводящих воду.
4. Плотное соединение напорной трубы с напорной башней.
5. Морфологически подходящая местность для расположения гидросиловой станции.

---

[1] Leppla, Geologische Vorbedingungen der Staubecken. Zentralblatt für Wasserbau und Wasserwirtschaft. 1908.

6. Нахождение подходящих строительных материалов.

При геологической экспертизе гидросиловых установок в большинстве случаев рассматриваются три главнейших части таких сооружений: плотина, или область питания с осадочным бассейном, подводящий водопровод и самая силовая установка с напорным водопроводом и водяной башней. Вода для силовой установки берется обыкновенно либо непосредственно от барража, либо при помощи водосливного шлюза.

В месте водоема обязательно должно быть предусмотрено фильтрующее приспособление, не допускающее попадание в турбины тяжелых частиц с диаметром более ½ *мм*. При определении размеров водоочистительного бассейна приходится руководствоваться наблюдениями о количестве переносимых валунов и взвешенных частиц, причем данные эти тем более ценны, чем дольше и чаще производились соответствующие наблюдения. Особенно нуждаются в подробном исследовании и измерении реки горных стран. Канал, подводящий воду в водоочистительный бассейн, не должен обладать изменениями площади поперечного сечения и изгибами, ибо таковые вызывают образование щебенных или валунных отмелей.

К стенам и подошве надземного водоподводящего канала предъявляются требования обязательной и безусловной водонепроницаемости, имея в виду обеспеченность от утечки воды, а при наличии высоких берегов также и безопасность от прорыва.

Водонепроницаемость имеется налицо, если канал проложен по отложениям суглинистым, мергелистым, глинистым или же содержащим по меньшей мере значительное количество глинистых частиц. Галечные наносы долинных равнин всегда представляют некоторую опасность в отношении водопроницаемости, которая должна быть устранена искусственными мероприятиями. Для этой цели в общем достаточно устройство плотного глиняного покрова толщиной в 50 *см*, если желают обойтись без бетонной одежды. Там, где уже действующие наземные каналы потеют, необходимы детальные исследования для определения причины этого явления, там, где русло врезано не в глинистых, легко размягчающихся и имеющих склонность к оползанию массах, просачивание небольшого количества воды через песчано-щебневые отложения приносит лишь незначительный ущерб; канал гидроэлектрической станции города Брук на Муре имеет течь уже в течение ряда лет без вредных последствий, заделка же течи вызвала бы приостановку станции на значительный срок и потребовала бы к тому же больших расходов.

Где прокладка канала производится вдоль более или менее крутых склонов, необходимо исследовать возможность опасных для всего сооружения оползней. При этом большое значение имеет количество воды в склонах. На сухих склонах можно сооружать водяные каналы, совершенно водонепроницаемые даже при наличии сравнительно крутого уклона. Сырые же склоны, при некоторой крутизне, прорезанные водопроводными каналами, представляют уже значительную опасность, почему и должны быть осушены предварительно, т. е. до начала работ по прорытию канала. Этим вопросам надлежит уделять серьезнейшее внимание как при геологической экспертизе, так и при выдаче разрешения на постройку, ибо оползни, обусловленные неосторожной про-

кладкой поверхностных водоподводящих каналов, могут вредно отозваться на общественных интересах.

К определению свойств и качеств горных пород должно подойти с еще более строгим масштабом, если речь идет о сооружении напорной штольни, чем это допустимо в штольне с открытой поверхностью воды. Малейшее медленное движение горного массива вызывает в напорных штольнях образование трещин и щелей, обусловливающих просачивание воды через стены трубы и могущих иметь самые неприятные последствия, ибо они не только благоприятствуют утечке воды, но изменяют также физические свойства до сих пор сухих смежных пород. Чувствительность напорных штолен к перемещениям среды, в которой они залегают, может быть уменьшена путем сооружения их стен из железобетона, но такие случаи должны быть предусмотрены геологом, по возможности, еще до начала работ, в период изысканий и проектирования.

Основание водонапорной башни, по возможности, должно быть возведено на твердой коренной породе. На коренных же породах должны быть, по возможности, проложены напорные водопроводные трубы. Большое значение имеет расположение машинного здания: оно должно быть обеспечено, равно как и место водоема, от лавин, каменных обвалов, муровых потоков и оползней.

§ 38. Геологическая деятельность организмов

Если геологическая деятельность живых организмов и не бросается в глаза наблюдателя в той сильной степени, в какой проявляется деятельность воды в ее разнообразных видах, то все же результаты этой деятельности в течение более длительного промежутка времени весьма значительны; деятельность живых организмов проявляется также отчасти в созидании нового, отчасти же в разрушении уже существующего.

Разрушения, производимые животными, распространяются как на море, так и на сушу. На последней в особенности имеют значение животные, живущие в почве или же разрывающие ее; разрывая почву или же пожирая ее и пропуская через свои кишки, они размельчают и разрыхляют почву, облегчают проникновение в нее корней растений и кислорода воздуха, открывают ветру, морозу, воде новые пути проникновения и содействуют превращению растительных остатков в перегнойные вещества и смешиванию последних с неорганическими. Разрыхляющей почву и улучшающей ее физические качества деятельности дождевых червей большое значение приписывал, между прочим, Дарвин; к числу других копающих и разрывающих почву животных принадлежат свиньи, мыши, крысы, кролики, кроты, суслики, муравьи, насекомые, личинки и т. п. Человек также нередко развивает разрушительную деятельность: ему можно приписать первый толчок к образованию многочисленных, часто глубоких, оврагов, он нарушает своими сооружениями правильный ход размывания, поощряя с другой стороны ход денудационных процессов уничтожением покрова сплошными вырубками (черноморские побережья Крыма, Кавказа), нерациональным распахиванием склонов (Украина, ЦЧО, Поволжье, Донбасс) и пр.

В ряду производимых растительным миром новообразований наиболее существенное значение принадлежит минеральным углям.

Распад мертвых организмов происходит самыми разнообразными путями. Разложение происходит при условии свободного доступа кислорода воздуха и влаги; оно представляет не что иное как медленное, происходящее при помощи микроорганизмов, сгорание вещества и приводит в конечном результате к образованию двуокиси углерода, аммиака или азотной кислоты и воды, не оставляя никаких содержащих углерод горючих остатков. Распад веществ без доступа воздуха или же при помощи нелюбящих кислород бактерий называется гниением. Конечным результатом этого процесса между прочим являются различные илы гниения *(сапропели)*, т. е. битуминозные, более бедные углеродом члены жировых групп. В противоположность этому процессу истлевание и оторфование являются процессами обугливания, в которых, подобно сухой без доступа воздуха перегонке, образуются богатые углеродом соединения, в то время как вода, двуокись углерода и метан (болотный газ) совсем освобождаются.

Во время этого обугливания, приводящего к образованию торфа, бурого и каменного угля и антрацита, выделяется вместе с прочими углеводородами метан (CH_4), вызывающий в копях опасные взрывы гремучего рудничного таза, далее выделяется кислород и водород, в то время как остаток обогащается углеродом все больше и больше, пока, наконец, антрацит не станет состоящим чуть ли не из одного углерода.

В среднем содержат (при исчислении без золы):

	Дерево	Торф	Бурый уголь	Каменный уголь	Антрацит
Углерода	50%	60%	70%	82%	94%
Водорода	6%	6%	5%	5%	3%
Кислорода . . .	43%	32%	24%	12%	3%
Азота	1%	2%	1%	1%	следы

Количество углерода зависит до известной степени от геологического возраста угля, но это правило лишь условно и обнаруживает ряд исключений.

Угли обычно загрязнены несгораемыми веществами, называемыми *золою*. Количество входящей в угли золы меняется в зависимости от происхождения угля, его возраста, прослойков пустой породы и других обстоятельств и колеблется от $^1/_4$ до 30%. Зола лишь частично происходит из первоначальных веществ (1—4%), остальное же ее количество образуется за счет механических примесей. Наиболее вредной из примесей является серный колчедан, образующий при сжигании угля сернистую кислоту, разъедающую топки котлов; она же вызывает порчу растительности и ускоряет в строительных камнях опасные процессы выветривания.

При прогрессирующем обугливании возрастает также и удельный вес, а именно:

Бурого угля	до 1,2 —1,4
Каменного угля	» 1,25—1,5
Антрацита	» 1,5 —1,7

Сила горения угля определяется теплопроизводительностью и выражается в единицах тепла. Если, например, говорят, что некоторый вид бурого угля имеет теплопроизводительность в 6000 единиц тепла (калорий), то это означает, что 1 *кг* такого угля в состоянии нагреть 6000 *л* воды от 0° до 1°.

Использование углей в качестве горючего материала и источника энергии, для добычи светильного газа, угольной смеси и ее производных достаточно известно.

Различают следующие виды ископаемого топлива: торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит и др.

Торф

Торфяные залежи образуются преимущественно в умеренных и холодных широтах; в жарких же лишь при наличии большой влажности. Они состоят из отмерших остатков вереска, торфяных мхов (сфагнума), пухоносов (Eriophorum), осоки (Carex), кустарников, деревьев (береза, сосна и т. д.).

В зависимости от условий образования отличают плоские (низменные) болота от возвышенных болот. Первые имеют ровную поверхность и образуются в большинстве случаев при окончании обмеления частей озер, отрезанных речных изгибов и т. п. В таких стоячих водоемах растительность медленно продвигается от берегов к середине водоема, пока растения не захватывают, наконец, всей площади и бассейн становится слепым. Растительность таких низменных болот состоит преимущественно из осок, называемых также вейником или очеретником, камышей, пухоносов, тростника, мхов и одиночных лиственных деревьев, между которыми преобладают ольхи, ивы и березы. Их торф в большинстве случаев богат золою. Возвышенные болота обнаруживают в середине выпуклость, подобно стеклу карманных часов, и обладают поэтому некоторым скатом в сторону краев. Они чрезвычайно бедны питательными солями и покрыты растительностью, состоящей преимущественно из торфяных мхов, пухоносов и вереска. Торф их имеет лишь незначительное содержание золы, почему и представляет более хорошее горючее.

Жилковатый торф обладает светлой желтоватой до коричневатой окраской и занимает верхние слои торфяных болот. Темный тяжелый смолистый торф встречается в более глубоких пластах. Он кажется почти совершенно однообразным, сильно измененные части растений опознаются лишь с трудом или даже вообще не поддаются определению. Торфяная масса выглядит в сухом состоянии почти как смолистый уголь, плоскости разреза блестят наподобие воска. Дерновой торф в большинстве рыхлый, легкий, желтовато-коричневого до деревянно-коричневого цвета и состоит из хорошо различимых растительных остатков. Землистый торф легко растирается и содержит трудно различимые растительные остатки. «Бумажный» торф очень легок, деревянно- до орехово-коричневого цвета, состоит из тонких слоев несовершенно разложенных растительных остатков, в большинстве из листьев травы и осоки. легко отделяющихся друг от друга.

В зависимости от образующих торф растений, различают торф моховой, луговой, вересковый, древесный и т. п. — все наименования, не требующие дальнейшего разъяснения. Торф применяется в качестве

горючего материала, дезинфекционного средства, подстилки и т. д.; некоторые сорта, как например пуховой торф, идут даже в качестве сырья для тканей; теплопроизводительность его колеблется в зависимости от степени обугливания и содержания золы между 3500 и 5000 калорий.

Болотные почвы представляют очень ненадежный строительный грунт, обладающий чрезвычайно незначительной прочностью. Более высокие постройки должны сооружаться на ростверках (свайных фундаментах); при дорожных и железнодорожных сооружениях, по возможности, вовсе избегают болотистых мест. Недооценка предупреждений об опасностях, внушаемых болотистыми почвами, нередко приводила к оползанию плотин и другим разрушениям. После продолжительных дождей покров возвышенного болота, пересыщенный влагой, может на краю болота прорваться и открыть дорогу болотной муре, скатывающейся с выпуклой середины болота под гидростатическим давлением на окраины болота и производящей в некоторых случаях серьезнейшие разрушения.

По этому вопросу Терцаги говорит: «К малой способности выдерживать нагрузку в случае торфяников присоединяется еще опасность вредного действия болотной воды на бетон».

Благодаря однообразию причин образования, торфяники в различных зонах и странах настолько схожи по своим физическим свойствам, что строительный опыт, накопленный в одной болотистой местности, можно перенести почти без изменений на все другие.

Классификация торфяных грунтов.

Для технических целей удобна классификация торфяных грунтов, предложенная Дахновским.

Кашеобразный торф. Образуется в стоячих водах (осадок с органическими частицами). Большею частью неслоистый, однако обладает большими колебаниями в составе. Содержание воды от 70 до 95% общего веса.

Волокнистый торф. Содержание воды от 85 до 95%. Часто слоистый. Переходы к кашеобразному торфу.

Древесный торф. Встречается слоями или образует целые залежи торфа значительной мощности. Все промежуточные члены между порошком, похожим на опилки, и до грубоволокнистых агрегатов, состоящих из ветвей. Образуется на влажных лесных почвах, периодически затопляемых водой. Иногда длительные периоды роста леса и образования торфа сменяют друг друга.

Озерный мел. Коллоидальный или мелкозернистый торфяник с колеблющимся содержанием богатых известью растений и остатков раковин.

Гнилой ил. Неслоистый, состоит по большей части из минеральных частиц, богатых кремневой кислотой, и из кизельгура. Серый до серо-синего, пластичный и липкий, высокое содержание воды.

Вследствие малой способности торфяников выдерживать нагрузку, даже невысокие насыпи вдавливаются глубоко в почву или совершенно выжимают пласт торфа, так что объем части насыпи, находящейся ниже первоначальной поверхности земли, обычно значительно превышает объем наземной части.

В качестве классического примера упомянем прекрасно описанные постройки дамб по обе стороны от Кильского канала. В Австрии также были собраны наблюдения в этой области. Данные о физических свойствах торфяников можно найти в отчетах шведской Геотехнической комиссии.

Торфяные отложения следует считать сравнительно водопроницаемыми, это значит, что затвердение торфа под давлением происходит в течение немногих лет, тогда как тот же процесс в глинах требует десятки лет или столетий. Однако, если сравнить торфяной грунт с мелким песком, то его можно назвать очень малопроницаемым. Поэтому осушка котлованов в торфяных грунтах не представляет никаких затруднений и во многих случаях может быть произведена ручными насосами.

При закладке фундамента сухого дока в Киле на глубине около 21 *м* ниже уровня воды встретились пласты торфа. Выемка продолжалась при помощи водолазного колокола. Ил, находящийся над торфом, представлял собою настолько непроницаемую для воздуха перегородку, что торф можно было копать по вертикали на 2 *м* ниже края колокола.

При закладке более значительных сооружений фундаменты безусловно нужно доводить до выдерживающего нагрузку дна торфяника. То же самое справедливо и относительно выдерживающих нагрузку грунтов, поскольку эти грунты содержат прослойки торфа.

Особенного внимания заслуживает заложение мостов на мощных торфяниках. Во избежание опасности последующего смещения забитых в торфяник свай для фундамента необходимо сначала произвести насыпку въездов на мост и продолжить насыпь через место постройки будущих устоев к середине моста, так чтобы выемка для устоев проходила сквозь насыпанный материал.

Несоблюдение этого важного правила послужило причиной происшедшего в 1916 г. в Мичигане провала мостового устоя, опиравшегося на сваи длиной в 15 *м* при 12 *м* ширины. Устои моста были сооружены до начала насыпных работ. Боковое давление, обусловленное весом насыпи, вызвало сначала значительное смещение фундаментов, а затем и их провал. Остатки исчезли в мягкой массе.

Вследствие своей неполной упругости органические виды почвы, так же как и глины, расширяются лишь очень незначительно после уплотнения от нагрузки или от испарения, даже если нагрузка исчезает или почва попадает под воду. По этой причине можно было, например, при постройке Рейнского канала в Голландии (20 *м* ширина дна, 3,3 *м* глубина воды) соорудить дамбы высотой до 4 *м* из материала, добытого на месте.

Способность уплотняться, присущая органическим почвам, иногда имеет место и при устройстве фундаментов для искусственных сооружений.

В Берлине пришлось устраивать газгольдер диаметром в 38 *м* на грунте, состоявшем сверху вниз из 1 *м* мелкого песка, от 3 до 6 *м* очень мелкого торфяника и, наконец, из остроугольного плотно залегающего песка. Грунт между сваями стал настолько плотным, что его с трудом можно было копать лопатой, тогда как до работ по уплотнению его можно было проткнуть зондом до песчаного дна.

Фундаменты для моста железной дороги Бреславль — Фрейбург

в долине р. Одер около Штеттина пришлось закладывать на «наполовину плывучем, отчасти торфяном болотном пласте» мощностью от 8 до 10 *м*, залегавшем на выдерживающем нагрузку песке. Во избежание опасности выдавливания в сторону свай, забитых через торф в песок, был придуман способ укрепления толщи торфа сваями из песка. Для этой цели в грунт ввинчивались железные трубки диаметром в 40 *см*; полученные таким образом отверстия после удаления трубок заполнялись песком. Число песочных свай зависело от сопротивления материала. Твердость пласта торфа после уплотнения стала такой, что больше уже нельзя было ввинчивать в него трубки.

Условия бывают более благоприятны, если природа уже до начала строительных работ позаботилась об уплотнении залежи торфа.

На месте постройки дамбы для одной рыбачьей гавани на острове Урк в Северном море грунт состоял из пласта торфа мощностью 4 *м*, подстилаемого песком и гравием. Торфяной пласт, залегающий ниже уровня воды, оказался настолько прочным, что не представилось никакой надобности снимать его землечерпательной машиной или вытеснять его песком. Уплотнение произошло, очевидно, вследствие высыхания в период временного поднятия почвы (Терцаги).

Бурый уголь

Цвет коричневый; уголь окрашивает горячий раствор едкого кали в коричневый цвет. Излом раковист, землист или же деревообразно волокнист. Плотность 1—1,4. Древесное строение часто выражено еще очень ясно (лигнит); смолистый уголь аморфен, более хрупок, совершенно черен, с восковым или жирным блеском, изламывается раковисто и обладает в ряду бурых углей наибольшей твердостью. Простой бурый уголь обнаруживает меньшую хрупкость и твердость, чем смолистый уголь, более матовый блеск, плоскораковистый или ровный излом, аморфный вид. Землистый бурый уголь образует растирающиеся массы из слабо связанных, порошкообразных частиц, с очень слабым блеском, землистым изломом и видом и желтовато-коричневым до черновато-бурого цветом. Иногда он применяется (в качестве кёльнской умбры) для производства красок. Содержание золы в бурых углях превышает таковое каменного угля, теплопроизводительность колеблется между 2500 и 6000 калорий.

Каменный уголь

Цвет черный; не дает с горячим раствором едкого кали бурой окраски. Плотность 1,25—1,5, твердость 2—2,5. Содержание золы меньше, чем в буром угле; также меньшие примеси водорода и кислорода. Теплопроизводительность 6000—8000 калорий, иногда и больше.

В техническом отношении различают *тощие угли*, более богатые углеродом и более бедные битумами, они сгорают коротким пламенем, без копоти и выделяют при нагревании лишь незначительное количество газов. *Жирные угли* коптят и спекаются при горении и выделении газов *(спекающиеся угли)*; к ним принадлежат кеннельские каменные угли. Не жирные *пламенные* каменные угли дают подобно жирным сортам большое количество газа, но спекаются при горении лишь в не-

значительной степени. Блестящие или смолистые утли обладают черной окраской и живым стеклянным блеском при значительной хрупкости; они хорошо раскалываются по слоистости, содержат мало золы и дают обычно много кокса. Матовый уголь вспучивается при сжигании.

Антрацит

Плотность 1,5—1,7, твердость 2,5. Обладает среди угольных сортов наивысшей теплопроизводительностью; черный цвет и черная черта; антрацит сгорает лишь при сильном притоке воздуха и без большого образования дыма и пламени.

Другие виды полезных ископаемых

Наряду с образованием из растительных остатков угля не должно забывать о другой минералообразующей деятельности некоторых растений, а именно выделении извести. Из числа пресноводных растений такую деятельность проявляют в особенности многочисленные виды некоторых харовых водорослей, а также сонного мха (гипнума), частью накопляющие известь в своем теле, частью же содействующие отложению извести с выделением углекислоты из растворенного в воде двууглекислого кальция ($CaHCO_3$) и использованием ее для собственного питания. Такие покрытые известью, любящие сырость растения, верхушки коих продолжают расти, в то время как другой конец отмирает, встречаются у многих известковых источников, где они принимают большое участие в образовании известковой накипи. В морской воде известковые водоросли также играют существенную роль при образовании углекислой извести. Остатки их мы встречаем в писчем мелу и в других третичных и меловых породах.

Новообразования, производимые животным миром, также имеют большое значение. В первую очередь надлежит напомнить о выделении морской извести при участии тех животных, твердые части тела которых состоят из извести. Если богатые известью остатки обитателей морей накопляются в значительном количестве, то происходит образование известковых и доломитовых пород. В ряду обитателей морей, выделяющих в своих жилищах известь, выдаются кораллы, кусты которых воздвигают целые острова — известные *коралловые рифы*. Эти маленькие колониальные организмы живут только в теплых морях, не охлаждающихся ниже 20°, и на небольших, не превышающих 40 *м* глубинах. Большую мощность живых коралловых рифов, а также образовавшихся в прошлом, объясняют постепенным опусканием морского дна, наравне с которым происходил прирост кораллов кверху (см. § 19).

Из органических остатков образовалась также и *нефть*. Нефть содержит почти только углеводороды метанового ряда (C_nH_{2n+2}) и ряда C_nH_{2n} (олефины), редко немного кислорода и следы азота и серы. Нефть представляет не смешивающуюся с водой маслянистую жидкость с плотностью в 0,79—0,95. Различают светлую легкую нефть, желтоватое «каменное масло» и более тягучую, коричневатую «гор-

ную смолу». Нефть можно подразделить на две группы: первая отличается преобладающим содержанием предельных углеводородов, вторая же, обратно, преобладанием нафтенов над углеводородами предельного ряда. СССР обладает богатейшими месторождениями самых разнообразных нефтей, как в старых районах (Баку, Майкоп, Грозный), так и в недавно открытых — Эмба, Ухта, Чусовая, Стерлитамак, Фергана, Сахалин и др.

Дестилляцией нефть можно разложить на более легкие и более тяжелые составные части: к первым принадлежит бензин (точка кипения между 60 и 80°) и немного более тяжелый керосин (точка кипения 130—300°), к последним — нефтяные остатки, употребляемые отчасти в качестве горючего, отчасти же перерабатываемые в смазочные масла или же в твердые углеводороды (парафины).

Горная смола (асфальт) представляет бурую, черную, жирно блестящую, легкую (уд. в. 1,1—1,2), расплавляющуюся уже при 100° массу, горящую коптящим пламенем и растворимую в нефти; она состоит из углерода, водорода, кислорода, азота, иногда серы и является, повидимому, нефтяными остатками, которые приняли при окислении вид и свойства смолы. Асфальт встречается в больших количествах на острове Тринидад (асфальтовое озеро Ла Брэа) и в Мертвом море, а также на Волге у Сызрани; древние египтяне пользовались асфальтом при бальзамировании трупов (мумийный асфальт), вавилоняне — в качестве строительного раствора. В виде примеси асфальт встречается в глинах, сланцевых глинах, глинистых сланцах и мергелистых сланцах (горючих сланцах), далее в известняках и мергелях.

Асфальтом пользуются для заливки тротуаров и проезжих частей улиц; он очень удобен для этой цели вследствие эластичности, гладкости, водонепроницаемости, а также вследствие легкой очистки. Кроме того, он применяется в производстве разных кровельных картонов, а также в качестве изолировочного средства для водонепроницаемых сооружений (для содержания в сухом виде стен, сводов, погребов и т. п.). За последнее время в СССР сильно развивается добыча и использование горючих сланцев как топлива, а их золы на цементное дело и другие строительные надобности.

Горный воск (озокерит) имеет желтоватую до буровато-зеленой окраску, воскообразен, легок (уд. в. = 0,95), мягок и плавится уже при 65° С. Он нередко сопровождает месторождения нефти (месторождения в Галиции). Озокерит перерабатывается в искусственный воск (церезин) и имеет большую ценность. В СССР хорошие месторождения озокерита на острове Челекене (в Каспийском море) и в Фергане.

Фосфориты представляют минеральные тела, состоящие главным образом из фтор-фосфорнокислого кальция — $Ca_5F(PO_4)_3$, к которому примешиваются различные посторонние тела в неодинаковом количестве. Содержание фтора в фосфоритах обнаруживает в отдельных случаях значительные колебания в одну или другую сторону. В фосфоритах присутствует карбонат кальция или в виде механической примеси, или связанный с фосфатом кальция. Кроме фосфата кальция, изредка и в небольшом количестве присутствуют фосфаты железа и алюминия. В качестве частых минеральных спутников следует назвать глауконит, пирит, зерна кварца, силикатов (особенно полевых шпатов), а также гидраты окиси железа, гипс. Обычно в фос-

форитах содержится некоторое количество органического вещества. Практическая ценность фосфоритов определяется содержанием в них P_2O_5 и отсутствием вредных для современных методов приготовления суперфосфата примесей, каковыми считаются полуторные окислы (Al_2O_3 и Fe_2O_3) и избыточное (больше 5%) содержание CO_2.

Фосфориты залегают в виде отдельных желваков или сплошной массы преимущественно в осадочных отложениях.

Фосфориты — важнейшая «агрономическая» руда для приготовления фосфорнокислых удобрений. Фосфориты в тонко измельченном виде (фосфоритовая мука) имеют только строго ограниченное применение в земледелии. Обычно же фосфориты служат сырьем для изготовления суперфосфата, гораздо реже — двойного суперфосфата и преципитата.

§ 39. Осадочные породы и их технические свойства

В главе IV были рассмотрены все внешние, денудационные процессы, действующие постоянно на поверхности земли.

Все они участвуют в создании *отложений* или тех или иных осадочных пород.

Осадочные породы представляют вид горных пород, образовавшихся механическим или химическим путем или же вследствие деятельности организмов из составных частей других, разрушенных пород. В истории их образования можно различить периоды разрушения (растворения, раздробления) более древней породы, переноса, осаждения или отложения твердых или растворенных продуктов разрушения и, наконец, преобразования (перерождения — диагенез) отложившихся масс в конечный вид вновь образовавшейся породы. Все осадочные породы произошли посредственно или непосредственно из разрушенных изверженных пород.

По способу образования осадочные породы можно подразделить следующим образом:

1. *Обломочные* (механические осадочные) породы. Они образовались из отделившихся от твердых масс породы обломков, перенесенных на другое место и вновь отложенных. Разрушение могло быть вызвано морозом, движением воды, ледников и т. д.

Средством передвижения продуктов разрушения горных пород почти всегда служит вода; из нее отложились на дне рек и морей ил, песок и глина, наносные массы долин и склонов, многие конгломераты и т. п. (см. выше §§ 35 и 36).

В других случаях перемещение и отложение горного мусора производится льдом; таким путем образовались и образуются и ныне у нас на глазах валунные глины, конечные морены и др. Иногда в качестве движущей силы выступает ветер, как например при образовании дюнного песка, лёсса, некоторых туфов и др. На крутых склонах гор перемещение масс выполняется непосредственно силой тяжести (щебень склонов, конусы выносов, обвальные отложения, делювий). В более редких случаях массы горного щебня остаются лежать на месте образования и слагают обломочные или валунные поля и т. п. Все эти разнообразные отложения встречаются как в рыхлом (песок, щебень), так и в отвердевшем состоянии (конгломераты, песчаники — рис. 108 и 109).

2. *Осадочные породы*, в тесном смысле (химические отложения); составляющее их вещество выщелачивалось из более древних пород, переносилось в растворе и выделялось вновь где-нибудь в другом виде. Примерами для образования таким путем пород служат: каменная

соль, калийные соли, гипс, ангидрит, известковая и кремневая накипь, некоторые руды.

3. *Органогенные породы.* Они состоят преимущественно из остатков животных или растительных организмов, как например угли и

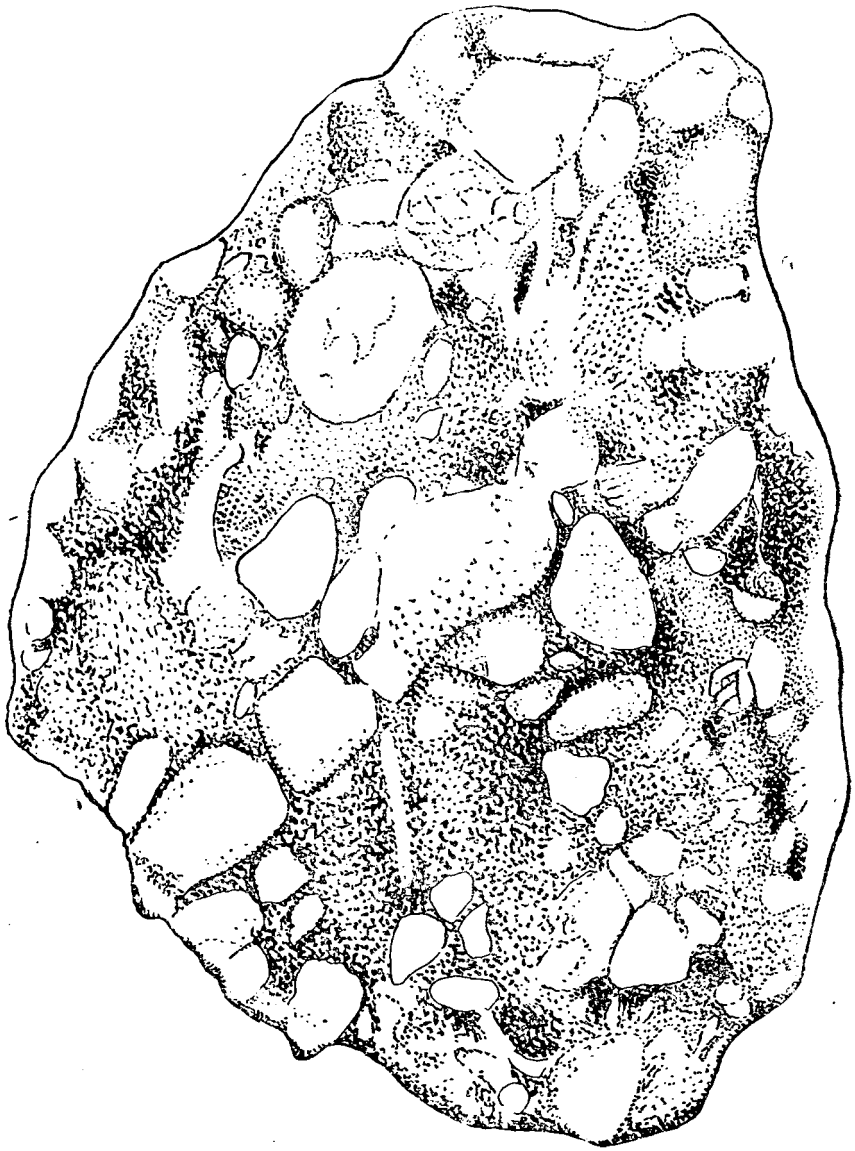


Рис. 108. Конгломерат (немного уменьшено).

подобные им породы, или же отлагались при существенном содействии живых организмов, как например некоторые известняки (рис. 110 и 111).

Вещественный состав свой осадочные породы переняли от тех пород, от разрушения которых они произошли. Поэтому они, в особен-

ности обломочные породы, не обнаруживают закономерного вещественного состава, какой встречается в изверженных породах. Их вещественный состав зависит от случая, сведшего в одно место отдельные обломки. Поэтому для слоистых пород отсутствуют обязательные правила совместного появления отдельных минеральных составных частей, а также и количественных пропорций.

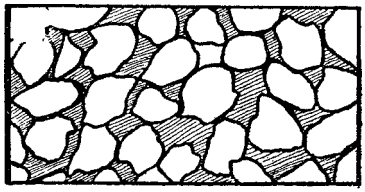


Рис. 109. Микроструктура песчаника с обильным цементом (заштрихован).

Так как образование осадочных пород есть результат процессов механической переработки материала, биохимических процессов и, наконец, для сравнительно небольшой группы пород, чисто химических, то при образовании осадков, таким образом, происходит отбор и разделение различных частей пород, бывших первоначальным материалом, из которого получился материал осадочных пород. Отделяются растворимые составные части от нерастворимых (химический отбор).

Химический состав материала, из которого образуется порода, изменяется при этих процессах, все более и более расходясь



Рис. 110. Фузулиновый известняк (состоящий из раковин мелких организмов — фузулин). Увел. в 5 раз.

в стороны крайних типов. Такими типами будут: 1) песчаники, состав которых может быть охарактеризован преобладанием кремнекислоты (SiO_2), представленной в форме наиболее прочного из обычных материалов — кварца; 2) сланцы, состоящие, главным образом, из алюмокислоты и ее солей (кислых); 3) известняки и доломиты, состоящие из карбонатов кальция и магния; 4) щелочные и известковые соли сильных кислот HCl и H_2SO_4, которые мы имеем в химических осадках. Последние имеют незначительное распространение.

Процессы того и другого рода могут участвовать в образовании породы совместно, что имеет место в переходных типах пород.

Средние химические составы основных типов (песчаники, сланцы и известняки) подсчитывались авторами. В таблице на стр. 265 приведены данные Кларка и Стокса.



Рис. 111. Мощные известняки, слагающие обрыв Яйлы на Южном берегу Крыма.

Глинистые сланцы являются породами, состав которых менее всего уклоняется от состава первичного материала, из которого образовались осадочные породы, — от состава изверженных пород. В других типах мы имеем уклонения в двух направлениях: 1) в песчаниках мы имеем концентрацию наиболее прочного механического материала SiO_2, 2) в известняках, наоборот, концентрируется вещество, легче растворимое и извлеченное из первоначального материала.

Хотя вследствие отсутствия таких определенных закономерностей в изменениях химического состава разных типов горных пород, какие имеются в группе пород изверженных, для систематики осадочных пород химический состав имеет гораздо меньше значения, однако в некоторых случаях он является почти единственным способом расчленения больших групп пород. Это те чрезвычайно тонкозернистые породы, состав которых не поддается микроскопическому анализу. Это то же самое затруднение, с каким мы встречаемся в изверженных породах стекловатых или криптокристаллических. Здесь по необходимости приходится основываться, главным образом, на химическом составе.

Среди осадочных пород подобное явление мы имеем в группе мергелей. Это породы тонкого строения, в которых минеральные составные части почти невозможно распознать под микроскопом. Структура их большею частью отвечает пелитовому типу; относительное количество глинистого вещества и известковистого, из которых состоит

Химический состав	Песчаники	Сланцы (частью мергелистые)	Известняки
SiO_2	78,7	60,1	5,2
TiO_2	0,2	0,8	0,1
Al_2O_3	4,8	16,5	0,8
Fe_2O_3	1,1	4,0	0,7
FeO	0,3	2,9	0,5
CaO	5,5	1,4	42,6
MgO	1,2	2,3	7,9
Na_2O	0,5	1,0	0,5
K_2O	1,3	3,6	—
H_2O	1,4	4,7	0,8
CO_2	5,0	1,5	41,6

мергель, микроскопическим наблюдением даже приблизительно установить невозможно, и здесь решающим является химический состав.

Номенклатура мергелистых пород довольно запутана и условна. Для избежания недоразумений мергелем следует называть породу лишь с приблизительно одинаковым содержанием глинистого и известковистого вещества. При преобладании того или другого следует употреблять термины: глинистый известняк или известковистый сланец (соответственно — глина). Термин мергелистый известняк или мергелистый сланец лучше изъять из обращения, или употреблять последний только в структурном смысле.

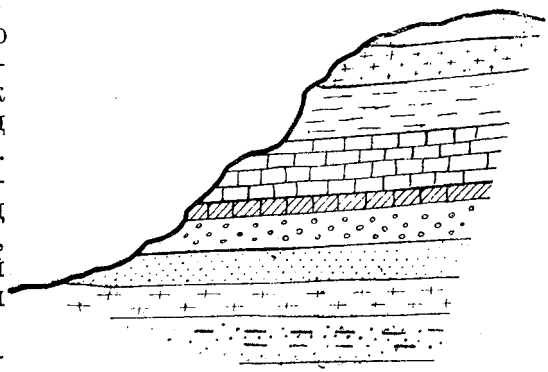


Рис. 112. Свита пластов осадочных пород, обнаженная в склоне,— „геологическое обнажение".

Все осадочные породы отложились по существу под непосредственным или посредственным воздействием силы тяжести и залегают всюду на чуждой им породе, ими не прорываемой. Они нигде не поднялись из недр Земли, а двигались всегда сверху вниз и не имеют поэтому никакого продолжения в глубину толщи земной коры, как это наблюдается у изверженных пород, происходящих из земных недр и имеющих в них свои корни.

При отложении осадочных пород образуются плитообразные массы, называемые *слоями* (рис. 112) или *пластами*. Слои соответствуют периодам отложения и представляли когда-то временно часть земной поверхности. При отложении на уже готовых пластах новых и образуются целые свиты пластов, в которых более молодые слои представляют *висячий бок* (кровля) более древних пластов, составляющих их *лежачий бок* (постель, почва, рис. 113). Перпендикулярное расстояние

между ограничивающими каждый слой плоскостями, так называемыми плоскостями наслоения, определяет толщину или *мощность пласта*. Очень тонкие пласты называются также *прослойками*. Положение пласта в пространстве определяется данными об его *простирании* и *падении*. Линия простирания образуется пересечением плоскости наслоения с любой воображаемой горизонтальной плоскостью, а простирание определяется углом, составляемым этой прямой с астрономическим меридианом. Величина падения определяется углом, образуемым плоскостью наслоения пород с горизонтальной плоскостью, а азимут падения — углом, составляемым линией наибольшего падения на плоскости наслоения с меридианом.

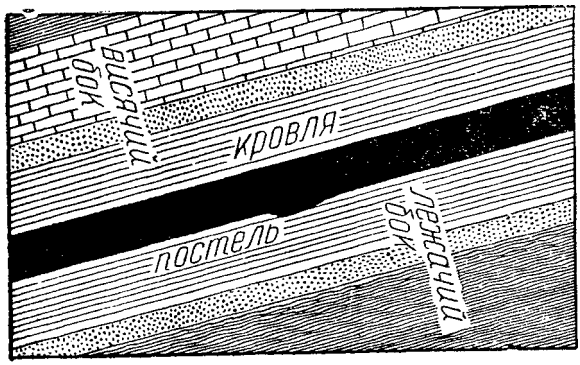


Рис. 113. Пласт угля (черный) между „кровлей" и „почвой".

Для определения простирания и падения применяют так называемый *геологический* или *горный компас* (см. Приложения).

Наслоение обнаруживается иногда чередованием различных пород (так например обломочных масс с химическими осадками, вкраплением слоев глины в песчаниках, известняках и т. д.), изменением окраски пород — бурые, железистые, песчаниковые пласты среди безжелезистых слоев зеленого песчаника, оторочкой и тонкими прослойками чешуйчатых минералов, как например слюды, вкрапленностями и включениями животных и растительных остатков и т. п. Начинающееся выветривание в большинстве случаев значительно повышает заметность наслоения.

Параллельные слои и обусловленное ими различие плоскостей излома перпендикулярно плоскости наслоения (поперечный излом) и параллельно ей (главный излом) характеризует слоистое сложение, обычно присущее осадочным породам, от которого они и получили свое второе наименование — *слоистые породы*. Противоположность между главным и продольным изломом тем более бросается в глаза, чем совершеннее слоистость и чем больше порода делится на отдельные прослойки.

Такие породы называются обычно легко вводящим в заблуждение наименованием «сланцы» (глинистые, мергелистые, известковые и др. сланцы, в то время как здесь несомненно имеет место первоначальная слоистость, соответствующая плоскостям наименьшего сцепления породы и усиленная еще давлением налегающих масс. *Сланцеватостью* же в собственном смысле слова является более легкая делимость породы в параллельных друг другу направлениях, приобретенная породой лишь в дальнейшем под действием горного давления (см. §§ 24 и 25 и рис. 39 и 41) и не основанная на первоначальном распределении равных или неравных зерен в одной плоскости.

Ленточное (полосчатое) сложение образуется чередованием параллельных слоев с различной окраской.

Шарообразное сложение характерно для так называемых *оолитовых* пород.

Последние слагаются из бесчисленного множества мелких, величиною с крупинку или горошину, шариков, состоящих, в свою очередь, из минеральных частиц, расположенных радиально-лучисто или же концентрическими слоями.

Строение осадочных пород, в соответствии с сильно отличающимся способом образования, резко отличается от строения изверженных пород. Только немногие породы, как например мраморы, обнаруживают равномернозернистую структуру, подобную строению глубинных пород. Новыми зато являются *строения илистое* (пелитовое), *песчаниковое* (псаммитовое, рис. 109), *конгломератовое* (рис. 108) и *брекчиевое*.

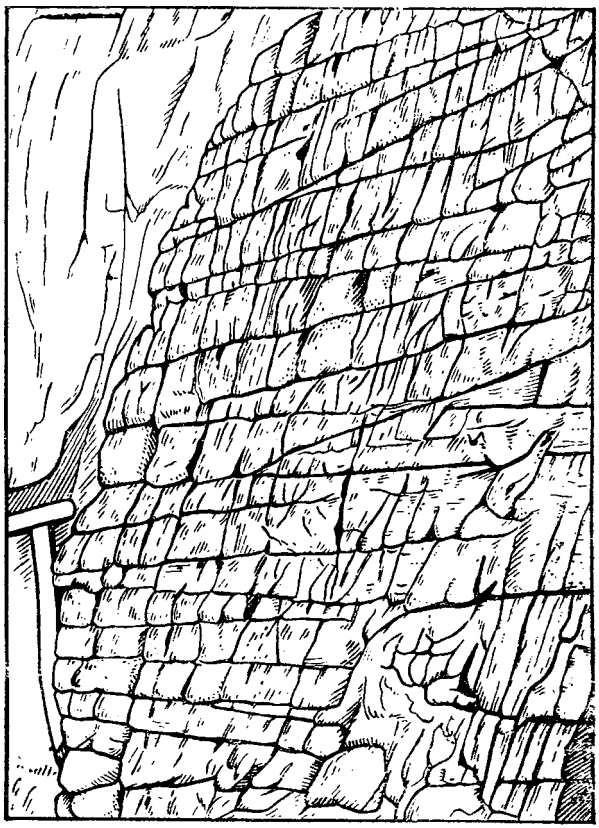


Рис. 114. Пересекающиеся плоскости отдельности.

В то время как отдельность изверженных пород происходит в силу образовавшихся при остывании натяжений, *отдельность осадочных пород* вызвана процессами, происходящими во время их поверхностного высыхания.

К плоскостям плитняковой отдельности, залегающим в ненарушенных областях почти что всегда горизонтально и совпадающим с плоскостями наслоения, присоединяются иногда еще и вертикальные трещины, в особенности в глинистых породах. Скрытая отдельность вдоль тончайших вертикальных трещин, вызываемая тонкотрубчатым сложением, наблюдается в лёссе; здесь плитняковая отдельность отсутствует совершенно. Соединение четыреугольно-столбчатой отдельности с плитняковой приводит к глыбовому расчленению масс осадочных пород (рис. 114).

Чашечная отдельность (скорлуповатая) встречается иногда в богатых железом глинистых породах. В слоистых породах настоящие

плоскости отдельности часто еще более трудно отличимы, чем в изверженных породах.

Для каменных ломок плоскости наслоения и трещины отдельности имеют большое значение. Расстояние между ними определяет применимость породы для всех целей, требующих определенных, установленных размеров. Наличие их облегчает расчленение и добычу каменной породы. С другой стороны, техник требует от осадочных пород, так же как и от изверженных пород, по возможности, равномерного образования, в особенности если порода предназначена к выделке жерновов или точильных камней; в последнем случае требуется отсутствие более значительных одиночных вкрапленностей, более твердых или мягких сращений, значительных пор, многочисленных окаменелостей и т. п.

Оторочки из глины или вкрапленные листочки слюды всегда уменьшают ценность осадочной породы, так как по их плоскостям в породу может проникнуть атмосферная влага, действуя разрушающим образом выщелачиванием и замерзанием. Расчленение породы на тонкие пластины для строительных целей в большинстве случаев нежелательно; оно удобно лишь в случае разработки пластин для шиферных кровель.

Осадочные породы принято называть также по геологическому летоисчислению, в зависимости от периода их образования; так, говорят о сарматском песчанике, третичном известняке, юрском угле и др. По этому принципу и составлено большинство геологических карт, не дающих непосредственно литологической характеристики района, т. е. распределения в нем тех или иных пород. Изучением времени, последовательности и условий образования осадочных свит занимается историческая геология — стратиграфия. Кратко перечислим лишь главнейшие ее основания и выводы.

Взаимные отношения осадочных свит и стратиграфия

1. Осадки, располагающиеся на дне какого-либо бассейна параллельными слоями, образуют *согласно залегающую свиту* пластов (рис. 112 и 113), иногда лишь они *косослоисты* (рис. 115).

2. Если образовавшаяся таким образом свита выходит из-под уровня воды, осушается и после известной денудации поверхностными агентами, снова погрузившись, покрывается осадками, то эти последние, располагаясь уже на неровной, размытой поверхности первой (старшей) свиты, будут лежать на ней *несогласно*; если первая свита к тому же до отложения второй испытает наклон или складкообразование, то несогласие будет еще заметнее и более несомненно (рис. 116).

3. Несогласие свидетельствует об изменении физических условий и более или менее длинном перерыве в процессе отложения, в течение которого должен был измениться и общий характер фауны бассейна, остатки которой являются в таком случае лучшими доказательствами происшедшего перерыва.

4. Остатки животных и растений, сохранившиеся в осадочных породах, называются *окаменелостями*.

5. Большая часть окаменелостей — раковины и другие морские организмы.

В большинстве пород, особенно в известняках и тонкозернистых породах, первоначальная раковина сохранилась; но в породах пористых она часто растворена, и имеется лишь внутренний или наружный отпечаток-слепок ее — или оба вместе.

6. Породами, по преимуществу содержащими окаменелости, являются известняки, глины, мергели и мелкозернистые песчаники.

7. Окаменелости *одновозрастны* (синхроничны) с отложениями, их заключающими, но иногда молодые свиты могут содержать куски пород с окаменелостями более древних периодов в так называемом уже *вторичном залегании*.

8. Изверженные породы не содержат окаменелостей, но куски осадочных пород с окаменелостями нередки среди обломочного материала, выбрасываемого вулканами, будучи оторваны от стенок кратера на различной глубине.

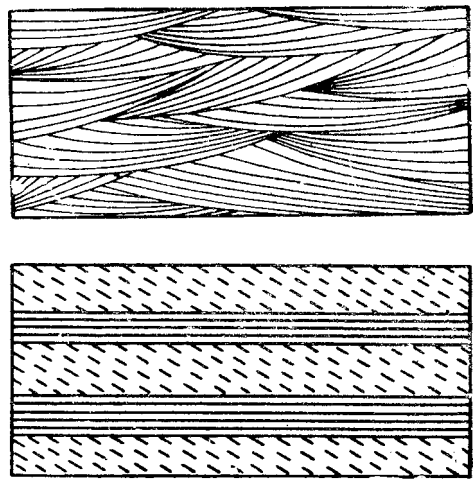


Рис. 115. Косая слоистость,
I — эоловая (дюн); *II* — временных потоков.

9. Важнейшими окаменелостями являются: из *фауны:* — простейшие фораминиферы, граптолиты, кораллы, морские лилии и ежи, брахиоподы, моллюски и рыбы; гораздо реже пресмыкающиеся, птицы и млекопитающие; из *флоры:* — хвощи, папоротники, цикадовые, хвойные и некоторые современные древесные породы.



Рис. 116. Двойное несогласное залегание. Ф. Акбура выше г. Ош, Фергана. Фот. Д. Мушкетова.

10. Хронология осадочных свит основана на последовательности налегания их, а присущие каждому горизонту характерные окаменелости играют важную роль документов, определяющих возраст пород в различных, иногда весьма удаленных областях, так как основной порядок развития органической жизни на земле является общим для всех ее частей.

11. Для возможности ориентироваться среди массы слагающих земную кору осадочных свит, исходя из изложенных оснований стратиграфии, все они разбиты и расклассифицированы

определенным образом: слои и пласты соединяются в *зоны, ярусы, отделы* и *системы*.

12. Для своего отложения каждой из этих групп требовалось определенное время, таким образом отдельным слоям соответствуют *века*, отделам — *эпохи*, системам (или формациям) — *периоды*, и, наконец, несколько периодов вместе соединяются в *эру*.

13. Вся жизнь Земли делится на пять последовательных эр: *допалеозойскую, первичную* или *палеозойскую, вторичную* или *мезозойскую, третичную* или *кенозойскую* и *четвертичную* или *современную*.

14. *Отложения допалеозойские* делятся на *архейские*, состоящие из гнейсов и кристаллических сланцев, и менее метаморфизованные *альгонкские*. Лишь в последних имеются первые следы органической жизни, хотя, вообще говоря, она должна была уже существовать, и отсутствие окаменелостей скорее объясняется здесь неблагоприятными условиями их сохранения.

15. Органическая жизнь на Земле распространилась значительно в первую эру, для которой наиболее характерными животными были ракообразные — трилобиты и брахиоподы, а из растений — тайнобрачные.

Отложения этой эры громадной мощности на большей части земной поверхности (север Европейской части СССР в этом отношении исключение) сильно перемяты и метаморфизованы.

16. Отложения вторичной эры всегда резко несогласны с первичными, отличаются от предыдущих отсутствием метаморфизаций (за исключением чисто местных) и вулканических явлений; наибольшего развития достигают пресмыкающиеся, головоногие моллюски — аммониты, папоротники и цикадовые растения.

17. Относительно спокойная вторичная эра сменилась третичной, в течение которой внутренняя деятельность Земли проявилась с большой силой вулканизмом и крупными движениями земной коры. В результате последних море занимает снова большие пространства, отлагая третичные свиты обычно несогласно на вторичных, и возникают величайшие складчатые хребты (Альпы, Кавказ, Тянь-Шань, Гималаи и пр.), определяющие основные черты современного рельефа.

Среди общего богатства и разнообразия животного мира выделяется развитие *млекопитающих* и появление *современных* растений.

18. Начало четвертичной эры совпадает с появлением *человека*. Ее характернейшим геологическим явлением было чрезвычайное развитие *ледникового покрова* в северо-западной половине Европы и северо-восточной половине Северной Америки и соответственного оледенения горных стран на всей Земле; эти оледенения оставили до сих пор неизгладимые черты как отрицательного (выпахивание), так и положительного (отложение) характера, которыми характеризуется целый ряд областей.

19. Несмотря на важность и необходимость определенной стратиграфической классификации и геологической хронологии, основанных на важнейших фактах истории Земли, совершенно резкие границы между всеми указанными подразделениями не всегда имеются, и следует считаться с непрерывностью и преемственностью геологических событий так же, как в истории человечества.

	Эпохи
I. *Эра допалеозойская*	
II. *Эра первичная—палеозойская*	1. Кембрийская 2. Силурийская 3. Девонская 4. Каменноугольная 5. Пермская
III. *Эра вторичная—мезозойская*	Триасовая
	Юрская: Лейас, Доггер, Мальм
	Меловая: Нижнемеловая, Верхнемеловая
IV. *Эра третичная—кенозойская*	Палеогеновая: Эоцен, Олигоцен
	Неогеновая: Миоцен, Плиоцен
V. *Эра четвертичная*	Плейстоцен Голоцен — современная

Попытки определения абсолютного возраста Земли, т. е. в годах, делавшиеся неоднократно, все еще весьма неточны. Одна из них, основанная на радиоактивности или, точнее, на содержании гелия в минералах, дает следующие величины длительности:

Допалеозойская эра	1 200—1 400	млн. лет
Палеозойская „	360— 540	„ „
Мезозойская „	135— 186	„ „
Кенозойская „	55— 65	„ „
Приблизительный возраст Земли	1 700—2 200	млн. лет

Следует подчеркнуть, что определение возраста осадочных пород для техника существенного значения не имеет. Вряд ли можно назвать хоть одну техническую особенность той или иной каменной породы, характерную исключительно для определенной геологической эпохи; ибо, с одной стороны, если окинуть взглядом наблюдателя весь земной шар, почти во всех эпохах встречаются все одни и те же осадочные породы, с другой же стороны, в пределах одной и той же эпохи меняется минеральный состав одного и того же слоя в зависимости от местонахождения. Быстрое чередование и изменение сортов породы в вертикальном и горизонтальном направлениях, с одной стороны, совпадение образований различных эпох, с другой стороны, не позволяют связать определенное понятие о породах с определенными эпохами истории Земли. Более благоприятными являются условия, если рассматривать ограниченные по площади районы; здесь удается приписать породам определенной эпохи определенные свойства. В общем же техник должен меньше стараться выяснять возраст породы, чем условия ее геологического залегания, состава и строения, от которых зависят ее технические свойства; известное исключение составляют отложения четвертичные, на которых мы далее остановимся подробнее.

§ 40. Четвертичные отложения

Изучение четвертичных отложений северной Европы особенно значительные успехи сделало в последнее десятилетие. Одновременно в разных странах, а особенно в Германии, накопился опыт по практическому использованию их. Интересные итоги этого были подведены на Международной конференции ассоциации по изучению четвертичных отложений, состоявшейся в Ленинграде осенью 1932 г., особенно в докладах берлинского геолога Вольфа и московского Мирчинка.

Заимствуем из них основные данные, дополняющие изложенное выше, подчеркивая лишь сумму технически важных условий и явлений, связанных с четвертичными отложениями, покрывающими весь север Европы (и СССР) пеленой в 50—100 и местами 200 *м* мощностью.

Ясно, что подавляющее большинство технических работ в этих странах имеет дело только с четвертичным покровом.

Четвертичные отложения широко распространены на территории СССР (см. рис. 63). Несмотря на это, к систематическому геологическому их картированию до сего времени еще почти не приступлено; если они и наносятся на карты, то неполно. Теперь, при широком развитии дорожного и железнодорожного строительства, при наличии крупных гражданских сооружений, основанием являются преимущественно четвертичные отложения. Из четвертичных отложений черпается, главным образом, сырье для строительных материалов; с ними приходится иметь дело при постройке каналов, крупных ирригационных сооружений, плотин и пр., они же являются во многих местах основным коллектором колодезных вод.

Поэтому в СССР в условиях социалистического строительства, когда мы должны подходить в плановом порядке к выбору мест для заложения карьеров строительных и дорожно-строительных материалов, к проведению каналов, возведению плотин, приобретает значение не только знание распространения каждого горизонта, каждого генетического типа четвертичных отложений, но и знание их химических и физико-механических свойств, изменения этих свойств в горизонтальном направлении в пределах одного и того же горизонта, изменения этих свойств под влиянием нагрузки, гидрологического режима и изменений климата. Каждый из этих факторов и изменения его имеют громадное значение при оценке того или иного грунта с точки зрения пригодности его как основания под сооружение, строительного сырья и как породы, в которой приходится вести работы при постройке дорог, каналов и плотин.

Рассмотрим значение главнейших типов четвертичных отложений.

---

[1] Четвертичное время делится следующим образом:

Постплиоцен	(Q_1)	Миндельское время Миндель-рисское время
Плейстоцен	(Q_2)	Рисское время Вюрмское время
Голоцен	(Q_3)	Позднеледниковое время Анциловое " Литориновое " Историческое "

Миндель, риссу, вюрму соответствуют оледенения.

Так, лёсс и лёссовые породы имеют громадное распространение на водоразделах на площади Европейской части СССР. Они охватывают почти всю Украину, прилежащую часть Центральной Черноземной области, отдельные участки Западной области и Белорусской Советской Социалистической Республики, все северо-кавказские степи, а равно и ергенинские возвышенности. Изменение их пористости весьма значительно; пористость же в этих породах обусловлена наличием многочисленных вертикальных трубочек, стенки которых инкрустированы солями $CaCO_3$.

Изменение гидрогеологического режима, например при длительном стоянии воды в котлованах, при неудовлетворительной работе канализационной и водопроводной сети, приводит к длительному просачиванию воды через породу и перемещению карбонатов; вследствие этого происходит ослабление стенок пор и значительная осадка породы, а вместе с тем неравномерная осадка возводимого сооружения, изменение профиля дна каналов и т. д. Такие явления могут происходить и происходят в лёссовых районах и естественным путем вследствие застаивания талых снежных вод в едва заметных понижениях на поверхности водоразделов. Происходит явление, известное под названием *лёссового карста*, с образованием лёссовых блюдец, особенно широко распространенных на севере Украины и на востоке Белоруссии и в прилежащей части Западной области.

Не следует, однако, думать, что свойства лёссовых пород остаются неизменными на всей территории распространения. Чем дальше мы двигаемся на север, тем чаще встречаемся с подчиненными лёссовым толщам водоносными горизонтами, насыщающими значительную часть толщи лёсса. Лёсс при этом теряет свои свойства, он становится менее порист, теряет способность давать вертикальные откосы в стенах, — словом, его инженерно-геологические свойства резко меняются.

При нормальных условиях лёсс в выемках ведет себя исключительно хорошо. Но как только в нем появляются водоносные горизонты, например вследствие появления в постели плотных водоупорных бурых или пестрых глин или появления водоносного горизонта на ископаемой почве, лёсс перестает держаться в откосах. Откосы приобретают исключительную способность к оплывам и оползням, в выемках появляются пучины. Поэтому при плохой способности лёссовых пород к дренажу следует в лёссовых районах подходить с бо́льшей осторожностью к устройству глубоких выемок, чем в других местах. Надо при этом иметь в виду, что степень насыщенности водой нижних горизонтов лёссовых пород возрастает в северном направлении, и поэтому отмеченные выше особенности являются более характерными для этих мест.

На карте четвертичных отложений[1] вырисовываются громадные площади древне-аллювиальных отложений. В основном это будут места, где слагающие древне-аллювиальные образования пески имеют небольшую мощность, в среднем 1—2 *м*. Таковы пески низины к северу от г. Дмитрова Московской области, бассейна р. Унечи Западной области и многих участков Белорусского Полесья, высокой террасы Днепра между Лоевом и Оршей. Пески эти, как правило, мелкозер-

[1] Издание ЦНИГРИ (Ленинград).

нисты, залегают на размытой поверхности большей части морены: в мало дренированных участках содержат близко от поверхности воду. Следовательно, выемки в большинстве этих мест будут мокрыми.

С другими условиями залегания и с другим значением четвертичных отложений в строительстве мы встречаемся в местах развития песчаных террас накопления, сложенных в средней части СССР сильно фильтрующими разностями песков; в южном направлении по основным речным артериям они постепенно становятся все более глинистыми.

В железнодорожном и грунтоводорожном деле повсеместно, за исключением горных областей, приходится иметь дело преимущественно с четвертичными образованиями и подходить к ним с двух точек зрения: с точки зрения грунтов, в которых приходится закладывать выемки, и с точки зрения оснований, на которых возводятся насыпи и сооружения. В северной половине СССР, за исключением мест развития дочетвертичных отложений, это будут морена и флювиогляциальные и древне-аллювиальные образования. Чем севернее местность и чем более значительна относительная влажность, тем более бывают насыщены водой песчаные и песчано-гравийные линзы в морене, что вызывает в соответственных местах образование оплывов и пучин. Районы высоких террас Белоруссии, северной Украины, Западной, Московской и Ивановской промышленной областей будут характеризоваться маломощным развитием древне-аллювиальных песчаных отложений, содержащих в основании воду. Постелью им служит чаще всего морена. Поэтому здесь даже при самых небольших работах приходится ставить вопрос о поверхностном дренаже.

Европейскую часть СССР можно разбить на ряд районов, характеризующихся различной степенью обеспеченности хорошим балластом.

Первую группу районов составляют районы распространения галечников в современных и древних речных отложениях (Приуралье, Предкавказье, предгорья Крыма и Приднестровье). Галечники эти дают хороший балласт, и поэтому эти районы следует считать сравнительно хорошо обеспеченными балластами.

Вторую группу районов составляют места развития древне-аллювиальных отложений в равнинной части СССР к юго-востоку от зоны конечных морен вюрмского времени. Здесь используются по необходимости, ввиду отсутствия других материалов, легко распыляемые древне-аллювиальные пески. Теперь при увеличивающемся грузообороте перед этими районами должен быть поставлен вопрос не о поисках новых месторождений песчано-гравийных балластов, а об изменении самого типа верхнего строения полотна.

Третья группа районов составляется из районов распространения щебенки выветривания кристаллических пород. Практически эти районы имеют ограниченное распространение на Украине, на Урале и на Кавказе и народнохозяйственно еще не освоены. Качество этих материалов гораздо лучше качества материалов предыдущей группы.

Четвертую группу составляют районы приустьевых конусов горных рек, перемываемых морским прибоем. Качество галечников очень высокое. Интересно, что запасы все время восполняются.

Худший материал дают карьеры *пятой группы*, закладываемые в приморских песчаных валах и ракушечниках.

Шестую группу районов составляет северо-западная часть Союза

с мощным развитием коренных и грубых флювиогляциальных образований (озы, камы, друмлины, зандры), дающих нередко весьма удовлетворительный балластовый материал. Запасы его далеко не освоены, и поэтому геологические исследования и поиски, соответственным образом поставленные, могут сильно увеличить эти запасы.

Такую же зависимость между составом четвертичного покрова и качеством балластного материала можно отметить для Азиатской части нашего Союза.

Громадное значение имеют четвертичные отложения и в строительстве шоссейных дорог. Конечные моренны исключительно богаты валунным материалом, который легко может быть использован для строительства. Те же ледниковые образования южнее становятся настолько бедными валунным материалом, что его добыча становится нерентабельной. В то же время и дочетвертичные отложения дают в этом отношении мало сырья. Поэтому перед нами для ЦЧО, северной Украины, отчасти для Нижне-Волжского и Средне-Волжского края во весь рост встает вопрос о замене этого сырья другим типом. В частности здесь необходимо обратить самое серьезное внимание на изучение разных типов четвертичных суглинков с целью выяснения возможности их использования для изготовления клинкера.

Наконец, четвертичные отложения в местах мощного своего развития являются коллекторами вод, которыми пользуются жители мелких населенных пунктов, и на которых иногда строится водоснабжение даже крупных городов (Смоленск, Минск). С этой точки зрения заслуживают внимания весь северо-запад СССР и Полесье, где значительные массы воды скопляются в межморенных и древне-аллювиальных образованиях. В среднем Приднепровьи имеется выдержанный водоносный горизонт в нижнем горизонте лёсса. В районе высокой террасы Днепра, в среднем же Приднепровьи, обильные воды известны из миндельских флювио-гляциальных образований; то же следует сказать о флювио-гляциальных миндельских и рисских образованиях среднего течения Дона, древне-аллювиальных образованиях левобережья Волги, Горьковского края, Татреспублики, Средне-Волжского и Нижне-Волжского края. Широким развитием пользуются воды в галечниковых отложениях кавказских степей.

Можно рассматривать несколько основных групп работ, связанных с четвертичными отложениями.

1. Над большими поверхностями, когда наряду с природой почвы имеет особое значение и форма местности (постройка дорог, каналов, плотин, защита берегов). При железнодорожном строительстве дело главным образом касается устойчивости откосов и подпочвы. Незаметные трясины, образовавшиеся от осушения малых озер, под твердым покровом в 2—3 *м* содержат ил до 20 *м* мощности (пучины). Особенно это опасно под устоями мостов. Часты повреждения откосов вследствие чередования слоев глины и песка. У плывунов при сотрясении сопротивление нагрузке сильно понижается, тогда как в спокойном состоянии происходит лишь осадка. В таких местах *необходимо бурение.* Место постройки плотины следует очищать от крупного гравия, а ее самую делать тяжелой, материал же засыпки плотины лучший из крупного песка с незначительным капиллярным подъемом.

2. Мокрый песок, даже мелкозернистый, обладает высокой грузоподъемностью при абсолютно спокойных грузах или правильно, спокойно вращающихся турбинах, генераторах, но толчки, например рядом, дают осадку полов отдельно от стен.

Достаточно даже стучащих вентилей больших насосов, чтобы вызвать поломку фундаментной плиты на мелком песке, книзу влажном.

Сухие делювиальные пески и мощные глины дают хороший фундамент. Однако, нарушения залегания их, обязанные давлению льда, складки и особенно чешуи мешают. Вследствие мелкости этих нарушений, их можно устанавливать лишь очень частым бурением или шурфовкой. Между тем, чередование, из-за чешуй, слоев песка, глины, мергеля может причинить при производстве выемок неожиданные затруднения, непредвиденные проектом, и вызвать нарекания и споры, вклиненные массы глин среди песчаных могут сделать почти невозможным рытье (экскаваторами) или вычерпывание и высасывание.

Во многих случаях подземные сооружения и основания надземных могут быть возведены только посредством искусственного понижения грунтовых вод (подземные железные дороги в четвертичных отложениях). Однако в почвах, богатых коллоидами, это вызывает значительную осадку почвы, которая после восстановления прежнего уровня грунтовых вод не исчезает, и тогда наступит заболачивание, а строения пострадают от сырости. Но и внезапное сильное понижение открытых вод причиняет вред. Например, ледниковые глины сползли с коренных пород берега озера (Вальхензее), превращенного в запасный резервуар и испытавшего резкие колебания уровня более 3 *м*. В больших городах колебания грунтовых вод очень часты, вследствие понижения их водопроводами, канализациями, метро и т. д. Это особенно опасно, когда здания стоят на свайных основаниях в аллювиальном неустойчивом грунте (Майнцский собор, некоторые здания Берлина, перекашивание Исаакиевского собора в Ленинграде в связи с устройством канализации). Понижение уровня вод погубило старые деревья на Васильевском острове в Ленинграде. Сваи при понижении уровня вод попадают верхними частями в сферу грунтового воздуха, в которой загнивают — это вызывает большие повреждения. Дороги, пропитанные водой или богатые коллоидной (например болотистой) подпочвой, особенно сильно разрушаются движением грузовых автомобилей.

Особую группу в отношении строительной техники представляют аллювиальные прибрежные почвы, болотистые («марши»), которые иногда на 20 *м* в глубину состоят из наносной морской глины (ила), глинистого мелкого песка и подчиненных торфяных залежей. В них все тяжелые, даже статические грузы погружаются. Почва не только садится, но, сжимаясь, плывет в бока, к ненагруженным местам и особенно к выемкам естественным и искусственным. В этих случаях глубокое заложение фундамента бывает вредно, если сильно прорезать верхний сухой, плотный слой, еще могущий держать.

Употребляемый для бетона ледниковый гравий должен промываться, так как он и первично и от выветривания содержит глину и коллоид — гидрат окиси железа. Грубые и среднезернистые ледниковые пески хороши для каменных кладок, а речные и дюнные для этого слишком «мягки» (окатаны).

В смысле водоснабжения, при общей меньшей правильности делювиальных отложений, наибольшие затруднения представляют конечные морены. Для небольших поселений они дают еще достаточные колодцы с небольшой глубины, но иногда приходится бурить свыше 100 *м*, что уже слишком дорого. Нередко целые города снабжаются водой из делювиальных песков, залегающих под моренным покровом (Киль). Иногда даже на берегу и в самой морской бухте извлекаются нижние грунтовые воды буровой скважиной (Фленсбург). Особенно неприятны «водяные мешки» в ледниковых отложениях, неправильного распределения, формы и объема, быстро опорожняемые. Нередко в моренных областях встречаются совершенно безводные мощные залежи гравия, лежащие глубоко под уровнем грунтовой воды.

Качество вод очень различно. В слабо водоносных аллювиальных областях верхняя часть грунтовых вод часто плоха вследствие большого содержания железных, азотных и марганцевых соединений. Моренные воды часто весьма жестки.

§ 41. Условия и формы залегания осадочных горных пород

Мы видели, что осадочные горные породы отлагались горизонтальными или близкими к горизонтали слоями; лишь части дюн (рис. 115), наносных холмов и вулканических насыпных образований с самого начала откладываются наклонно. Всюду, где слои земной коры залегают в основном своем первоначальном положении, они залегают «ненарушенными»; наоборот, там, где они встречаются в положениях, отличающихся от первоначального, их называют «нарушенными» *(дислоцированными)*. Тектонические процессы, приводящие к нарушениям в залегании слоев, действуют либо в горизонтальном — тангенциальном направлении, либо в вертикальном — радиальном (§ 18); силы первого рода вызывают образование *складок, перебросов, надвигов* и *сдвигов*, силы второго рода — образование *флексур* и *сбросов*.

Флексуры (моноклинальные складки)

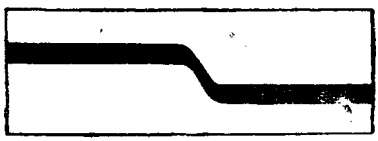


Рис. 117. Флексура.

Если часть пласта оттягивается вниз или поднимается, так что соединительный участок получает очертание латинского S, в то время как самый пласт сохраняет свое первоначальное горизонтальное положение, несмотря на происшедшее вертикальное перемещение, то получившееся нарушение называют *флексурой, моноклинальной* или *однобокой складкой* (рис. 117).

Сбросы

Перемещения с разрывом отдельных частей земной коры в вертикальном или близких к нему направлениях называются *сбросами* (рис. 118). Если края плоскости сброса зияют, то он называется сбрасывающей трещиной или просто сбрасывателем; в остальных же случаях говорят о плоскости сброса; в слове «сбрасыватель» при этом

применяется вводящее в заблуждение понятие, обозначающее двигающую силу, взамен понятия, обозначающего уже происшедшее образование. Обычно предполагают, что сброс образовался при перемещении одной глыбы, в то время как другая оставалась на месте; но в действительности же во многих случаях происходило одновременно сме-

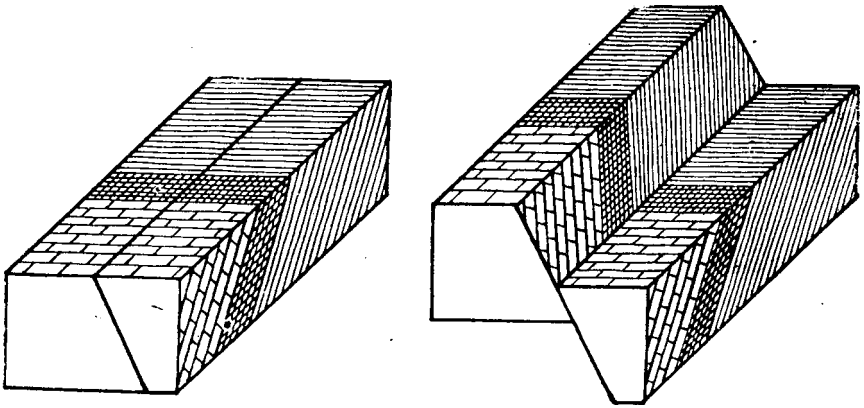


Рис. 118. Поперечный сброс.

щение обеих частей в отношении друг друга: в зависимости от направления плоскости перемещения по отношению к простиранию пласта различают *продольные* (рис. 122), *поперечные* (рис. 118) и *косые* или *диагональные сбросы*, образующие с простиранием пласта тупые или острые углы. Если же обе глыбы перемещаются в отношении друг друга совсем или приблизительно горизонтально, то образуется *сдвиг* (рис. 119).

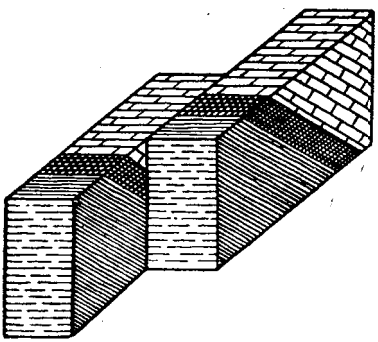


Рис. 119. Сдвиг.

Направление перемещения затронутой сбросом глыбы может быть определено самыми разнообразными способами с большей или меньшей вероятностью (определение положения плоскостей и сбросов, крыльев складок и т. п. горным компасом см. в Приложении).

Под действием давления, производимого в отношении друг друга глыбами во время движения, слои в непосредственной близости от плоскости перемещения более или менее значительно изгибаются или растягиваются. Направление движения при этом обнаруживается направлением изгибов. Если при сбросе из боков плоскости перемещения выламывались куски породы, последовавшие вслед за сброшенным крылом, то порода этих обломков, если только она отлична от новой смежной породы, позволяет также судить о направлении перемещения.

Часто плоскости перемещения от скольжения истирают и даже полируют друг друга, образуя в таком случае блестящие поверхности —

зеркала или *поверхности скольжения*. На их гладкой поверхности почти всегда наблюдаются бороздообразные углубления, называемые, в зависимости от их ширины и глубины, царапинами или бороздами скольжения; они пролегают прямолинейно и параллельно и появляются на волнистых боках сбросов всегда лишь на одной стороне возвышений, перевернутой в сторону перемещения, так что по ним можно определить направление перемещения. При трении обеих поверхностей перемещающихся глыб неровности их взаимно стираются и сглаживаются, образуя оболочку зеркала скольжения, в то время как более твердые частицы одной поверхности, вдавливаясь в поверхность другой, вызывают на ней образование борозд.

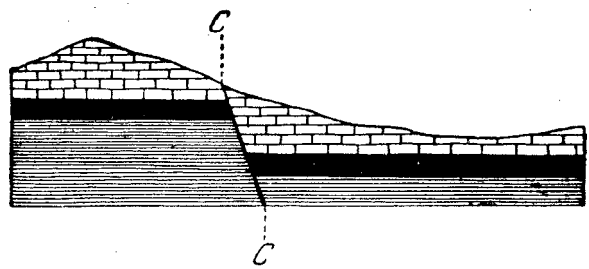
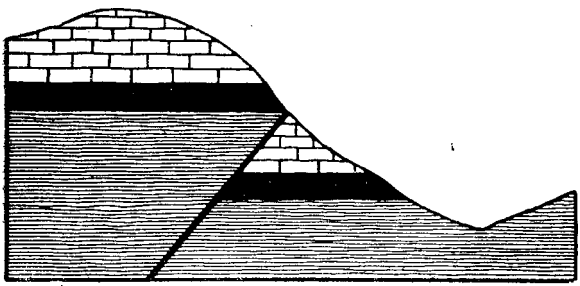


Рис. 120. Сброс (C — C).

Где направление перемещения не удается определить при помощи неровности поверхностей, оно в большинстве случаев легко устанавливается путем ощупывания рукой тщательно вымытой плоскости скольжения. По направлению перемещения она значительно глаже, чем против него. Часто верным признаком для определения направления движения является также то обстоятельство, что борозды скольжения в большинстве своем сначала мелкие и углубляются по мере скольжения сброса; нередко в конце бороздки находят зерно или иную твердую частицу, благодаря которой образовалась царапина. Если еще сырая оболочка поверхности зеркала скольжения при движении как бы прокатывается или растягивается, то направление движения определяется также по частичному ее выклиниванию.


Рис. 121. Взброс, надвиг.

Трещины образуются в земной коре при превышении напряжениями всякого рода прочности пород; с этой точки зрения различают трещины растяжения, трещины сжатия и трещины скручивания.

а) *Нормальные сбросы* падают в большинстве круто, под углом в 60—80° (рис. 120); если направление их падения соответствует падению пласта, перерезаемого ими, то плоскость перемещения называется согласно падающей, в обратном же случае — несогласно падающей. Горизонтальное расстояние между нарушенными слоями, измеренное по направлению движения, называется шириной сброса, вертикальное расстояние разорванных концов пласта — вертикальной высотою сброса, измеренное же в самой плоскости дислокации расстояние их — наклонной или истинной высотой сброса.

Взброс или *надвиг* надвигает более древнюю породу на более молодую; появление его связано преимущественно со складчатостью (рис. 121 и 122).

Сбросы и взбросы имеют существенное значение как с точки зрения горных выработок, так и для туннельной техники.

Вращательный сброс. Вращение глыб может происходить либо одновременно с первым сбросом, либо позже вдоль ранее образовавшихся плоскостей движения. Наряду с вращательным движением, часто проявляющимся самостоятельно, нередко наблюдаются также и поступательные движения. Вращательные сбросы опознаются яснее всего несовпадением простирания и падения слоев с обеих сторон плоскостей перемещения.

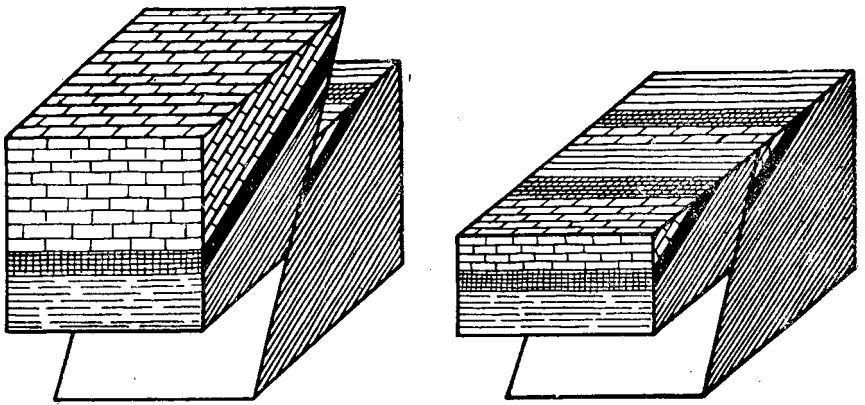


Рис. 122. Продольный сброс.

Вращательные сбросы встречаются не так редко, как обычно думают.

Сложные сбросы. Почти никогда сброс в какой-либо области не наблюдается единичным; группу приблизительно параллельных плоскостей сбросов называют сложным сбросом или поясом, или системой сбросов; самое значительное нарушение называется главным сбросом, смежные ему, менее значительные, называются сопровождающими или побочными сбросами. В пределах пояса сбросов порода часто изогнута самым спутанным образом, внутренне разрыхлена, растянута и прорезается тысячами трещин и расщелин; такие пояса сбросов, столь существенно меняющие свойства породы, часто выделяются термином — *пояс* или *зона нарушений* (рис. 123 и 124).

Техник в огромном большинстве случаев должен тщательно избегать пояса нарушений, где порода обнаруживает пониженные стойкость, твердость, сопротивление морозу и раздроблению. Выемки в таких поясах нарушений сильно страдают от незначительной стойкости и большой последующей способности обрушиваться смятой и расшатанной породы. На добычу хорошего качества строительного камня, соответствующих размеров, стойкости и прочности на выветривание, из определенно выраженных поясов нарушений и смятия можно рассчитывать лишь в исключительных случаях. Многочисленные трещины и расщелины представляют сотни выходов для взрывных газов, чем

сильно понижается сила действия взрывчатых веществ. К тому же плоскости перемещений поясов нарушений часто содержат воду и изливают ее нередко большими количествами в штольни, вызывая опасные рудничные наводнения. Лишь редко пояса нарушений приносят технику пользу. Это происходит в тех случаях, когда плоскость сброса содержит водные жилы, могущие питать проектированную водопроводную сеть, или если трещины сложного сброса заполнены брекчиями сжатия, представляющими при достаточно прочной цементировке удобный строительный материал. Определение и детальная съемка областей нарушения представляют поэтому важнейшую задачи инженера-геолога.

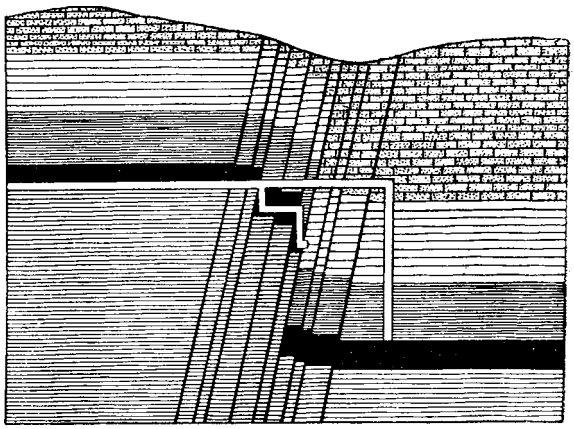


Рис. 123. Серия сбросов, в совокупности опустивших правую часть свиты пластов.

В зависимости от направления взаимного перемещения глыб различают *ступенчатые* или *террасовидные* сбросы, *горсты* и *грабены*.

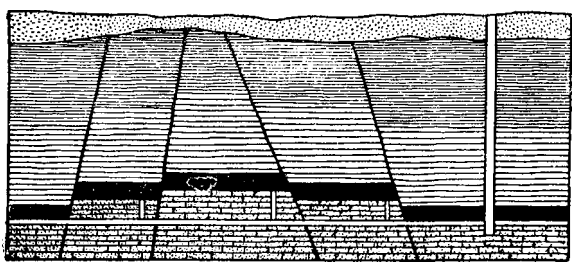


Рис. 124. Серия сбросов, опустивших левую и правую части свиты.

Ступенчатый сброс обусловливается тем, что в пределах всего пояса каждая следующая глыба, считая от нетронутой части коры, опустилась или осела больше, чем предыдущая. Иногда одна из опустившихся глыб отстает в степени опускания и производит впечатление, будто она поднята между соседними.

Ступенчатые сбросы вызывают часто повторение слоев; слои по несколько раз повторяются в одном и том же порядке. При проведении буровых скважин можно поэтому пройти один и тот же слой, например угольный пласт или рудную жилу, несколько раз, вследствие чего малоопытные разведчики нередко становятся жертвой ошибки.

Если опускание происходит от одной оставшейся на месте или менее опустившейся глыбы или массива — с двух противоположных сторон, то образуется *горст* (рис. 125).

Как бы зеркальным отражением горста является *грабен* (рис. 126). Здесь самая глубокая глыба лежит в середине поля нарушения, откуда следующие глыбы повышаются в обе стороны ступенями или терра-

гами. Известным примером для такого образования сложных сбросов является Рейнский грабен между Вогезами с одной и Шварцвальдом и Оденвальдом с другой стороны; ему соответствует широкая Верхнерейнская равнина. Опустилась ли средняя глыба грабена или поднялись ли в разной степени обе боковые глыбы — должно быть особо выяснено в каждом отдельном случае. Вполне допустимо также и соединение опускания средней и поднятия наружных глыб. Если свиты сбросов перекрещиваются, то получается сбросовая сеть; бассейны опускания с круглыми или яйцевидными

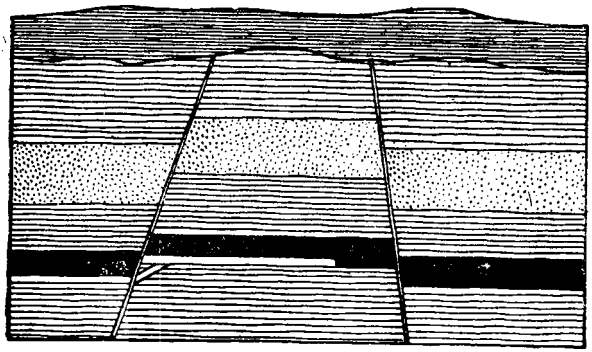


Рис. 125. Горст.

продолговатыми очертаниями называются также котлообразными провалами; трещины их частью следуют параллельно их очертаниям, частью же наискось к последним, особенно в направлении радиальном или диаметральном. Выше уже указывалось, что закрытые плоскости перемещения, как общее правило, воды не содержат. Они даже в большинстве действуют наподобие водонепроницаемого слоя, в особенности если их оторочки сильно глинисты. Открытые плоскости сбросов, напротив, могут быть заполнены водой, поднимающейся или опускающейся в них, в зависимости от геологических условий. В первом случае вода содержит значительные количества минеральных веществ, растворенных ею во время прохождения всего своего длинного пути, и тогда мы имеем дело с минеральным источником.

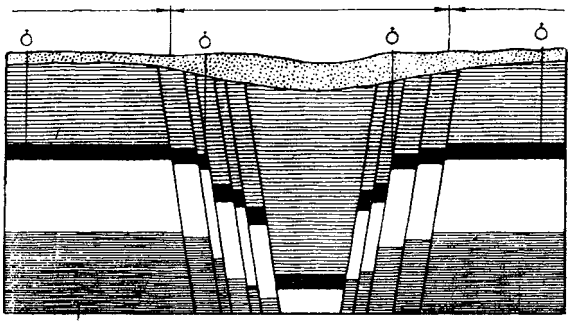


Рис. 126. Грабен, образованный серией ступенчатых сбросов.

Складчатость

Если благодаря поднятию слои составляют с горизонталью угол в 90°, залегание называется *вертикальным* (или стоящим на голове). Если слои образуют с горизонталью острый угол, тогда говорят о пологих слоях, превращающихся по мере возрастания образуемого угла в сильно падающие и крутые слои. Опрокинутым называется слой при поднятии из своего первоначального положения более чем до 90°; в та-

ком случае более молодые слои оказываются ниже более древних; отдельные слои следуют тут друг за другом обычно в обратном порядке, что при беглом осмотре может привести к ошибочным заключениям о древности той или иной породы.

Если мощные свиты пластов наклонены в одну сторону на большом протяжении, то они называются односторонне падающими или *моноклинальными*. Пересекая поперек или «вкрест» приподнятые слои, нередко можно обнаружить, что угол их наклонения к горизонтам меняется, и направление падения местами перегибается, превращаясь в противоположное. При повторении изменения угла и направления падения закономерным образом, мы имеем *складки;* они выводят составляющие их слои (1, 2, 3 и 4) в правильном повторении — по схеме 1 234 321 234 321 и т. д. — на поверхность. Каждая складка (рис. 127) состоит из выгнутой вверх части — *антиклинали* или *седла* — и изогнутой вниз части — *синклинали, мульды* или котловины; соединяющая седло и мульду часть складки называется средним *крылом*; внутренняя часть седла называется *ядром*, наружная — *перегибом* седла; в котловине этим выражениям соответствуют ядро мульды и мульдовый перегиб. Если перегибы сводов размыты, то получаются *воздушные седла*. Перпендикуляр, опущенный из седла на основание складки, называется ее высотой. В зависимости от положения этой линии создаются различные виды складок.

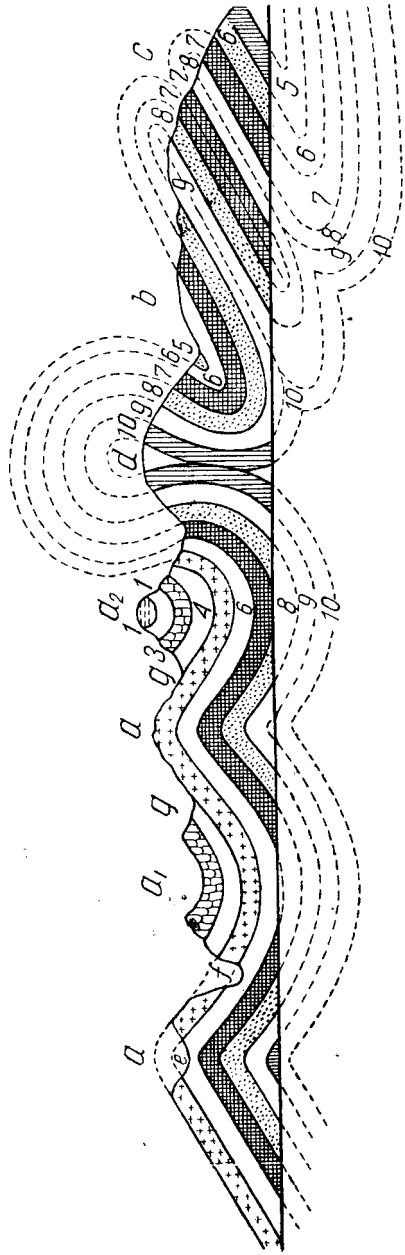


Рис. 127. Различные виды складок.

a — антиклиналь нормальная; *d* — веерообразная; *c* — изоклинали; a_1 и a_2 — синклинали *b* — синклиналь опрокинутая.

Обыкновенными или правильными складками называются такие, седла или мульды коих имеют по два спадающих или поднимающихся к центру складки крыла; если при этом биссектриса угла, образуемого крыльями складки, более или менее отвесна, тогда складка называется *прямой* или стоячей (рис. 128 *a*); *наклонные* или *косые* складки имеют наклонную биссектрису (рис. 128 *b* и *c*). В *опрокину-*

той складке биссектриса ее представляет также наклонную линию, но крылья ее падают в одну сторону (рис. 128 *е*). Биссектриса *лежачей* складки совсем полога или даже горизонтальна, крылья падают в одну сторону (рис. 128 *d*).

Крылья *изоклинальной* складки залегают приблизительно параллельно. В зависимости от положения биссектрисы различают опять-

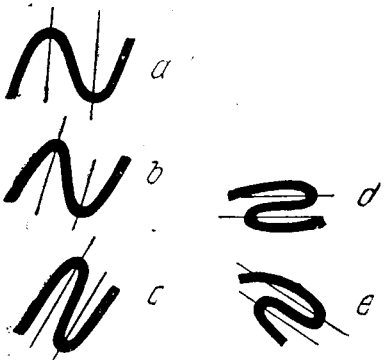


Рис. 128. Различные типы складок (схематически).

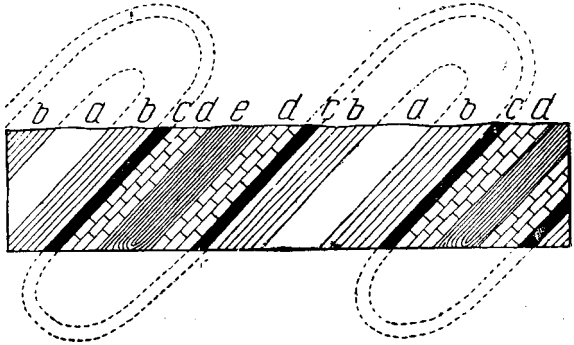


Рис. 129. Изоклинальные наклонные складки.

таки стоячие, косые или опрокинутые и лежачие изоклинальные складки. Изоклинальные складки образовались под действием особо сильного бокового давления и встречаются поэтому особенно часто

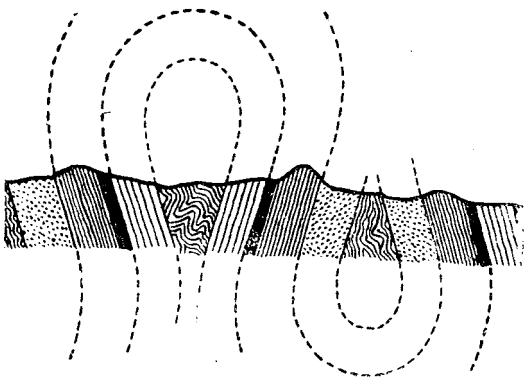


Рис. 130. Веерообразные складки.

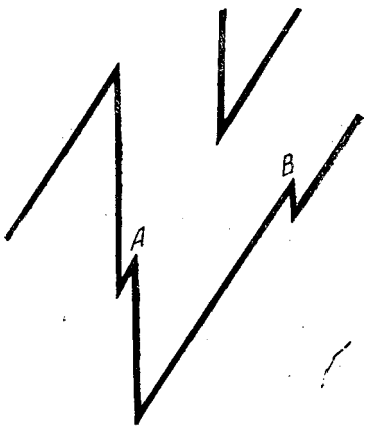


Рис. 131. Остроугольные складки.

в областях распространения кристаллических сланцев. Нередко их принимают за моноклинальное напластование, но при более тщательном обследовании они распознаются характерным для складчатости повторением слоев, несвойственным моноклинальному залеганию (рис. 129).

Веерообразные складки обладают крыльями с явно S-образным изгибом; нижние или мульдовые крылья падают от мульдовой биссектрисы, верхние или же сводовые крылья — к биссектрисе седла (рис. 130).

Пласты располагаются в сторону места перегиба кустообразно или всерообразно, отчего эта складка и получила свое название; она опять-таки разделяется на стоячие или прямые, косые или наклонные и лежачие разновидности.

От перечисленных выше закругленных складок *зигзагообразные* отличаются резким изломом *мест* перегиба: они часто встречаются в более хрупких, менее легко поддающихся изгибу породах (рис. 131).

Выяснение складчатости в равнине и холмистых странах, небогатых обнажениями, часто очень затруднительно. Значительно легче выявить строение высоких гор, где действие внешних геологических процессов сильнее и *обнаженность коренных пород* гораздо больше.

Значительно сложнее строение гор, сложенных из многих пакетов и серий складок, надвинутых горизонтально друг на друга *(шарриаж* или покровное залегание), однако, здесь мы не можем входить в рассмотрение всех сложных форм зале-тания. Они изложены в боль шихруководствах по геологии.

§ 42. Некоторые, технически более важные, разновидности осадочных пород

Каменный щебень, отделяемый выветриванием, смывом и лавинами крутых скалистых стен, падает и скопляется у подножия крутых склонов и областей стоков каменных обвалов в виде конусов, *осыпей* и каменных полян.

На менее крутых склонах и на высокогорных плато продукты выветривания остаются лежать на месте образования и покрывают скалистый скелет более или менее толстым покровом неподвижного горного мусора.

Технику нередко приходится возводить на таких рыхлых обломочных отложениях различного рода сооружения. Разработка их средней трудности, они выдерживают вследствие острых ребер отдельных частей более крутые уклоны, чем галечные отложения, и обладают поэтому и меньшей дальнейшей обрушимостью; все же они требуют осторожного обращения при желании обеспечить себя от могущих произойти оползней. Такие обломочные образования, могущие ожидать дальнейшего прироста или уменьшения своего объема, можно назвать «живыми»; техник должны опасаться проявления сил, вызывающих движение. Со стороны же «замерших», вряд ли способных к перемещению обломочных отложений человек лишь редко может ожидать какой-либо опасности для своих сооружений, если только он не слишком нарушает их равновесие. Обломки таких отложений нередко могут быть использованы в качестве дорожного щебня без дальнейшей обработки; в качестве бетонного щебня они применимы часто лишь после тщательной промывки прилипшей к ним глины. В зависимости от величины частиц различают *дресву* (диаметр 2—40 *мм)* и горный щебень (более 40 *мм* диаметром). Уплотнение дресвы и щебня дает *брекчии.* Сцепление их часто незначительно; оно зависит меньше от количества, чем от качества промежуточной массы, называемой связующим веществом или цементом.

Техническое значение брекчий зависит от прочности цемента, а при использовании их для украшений также и от красивой окраски.

Кремнистые брекчии представляют чрезвычайно твердые, хрупкие породы; но высокой степени прочности достигают брекчии с доломитовыми и известковыми связующими веществами, в особенности в тех случаях, когда цемент — кальцит и не загрязнен мягкими, глинистыми примесями. При гармоничных сочетаниях цвета обломочной и связующей массы камнетесы называют также брекчии нередко «мрамором», так например крамзахский мрамор (Тироль), известный под наименованием «Brèches Kiefer», и мрамор из Алеппо в Сирии (Brèches d'Alep); из числа змеевиковых брекчий, спаянных известковым шпатом, наибольшим спросом пользуются фессалийский мрамор (Verde antico) из Греции, Verde di Genova от Pierto Lavezzara у Генуи и Verde di Pegli. Вследствие большой сцепляемости остроребериых обломков брекчии, при остальных равных условиях, в сильной степени превышают конгломераты в отношении прочности.

РЫХЛЫЕ И ТВЕРДЫЕ ГАЛЕЧНИКИ, АЛЛЮВИЙ, КОНГЛОМЕРАТЫ

Крупный речной песок, гравий, мелкая галька (0,2—4 *см* диаметром) и валуны (диаметром свыше 4 *см*) перемещаются, размельчаются и округляются водою (см. § 34). Если они свободны от глинистых и других вредных загрязнений, то находят применение в бетонных постройках, при настилке булыжных мостовых, в фильтрационных сооружениях, а также в дорожном строительстве. В качестве железнодорожного балласта они применяются лишь при отсутствии лучшего материала, ибо их округленные частицы легко перемещаются под влиянием железнодорожного движения, не обеспечивая прочного закрепления верхнего строения. Отложения известковых галек употребляются кое-где для обжига извести. Технически применимый речной аллювий делится на бетонный (величиною от ореха до кулака), грубый (величиною с человеческую голову), валунный (величиною больше человеческой головы) и глыбы (не могущие быть переносимыми одним человеком без помощи каких-либо приспособлений).

На севере Европейской части СССР применяются преимущественно булыжник и валуны диловиальные, т. е. перенесенные и отложенные ледниковым покровом (см. § 39) из Финляндии и Швеции, состоящие из кристаллических пород, слагающих эти страны. Недостатками валунного материала являются частая выветрелость его и неоднородность состава. Последнее вредно при замощении и шоссировании, так как разные части дороги изнашиваются с разной скоростью. Область распространения этих валунных ледниковых отложений включает в себя Ленинградскую область, Белоруссию, Центральный Промышленный район и северную половину Западной Сибирской равнины. Наиболее велики запасы в Калининском районе.

Уплотнением рыхлых галек и гравия образуются *конгломераты* (рис. 108). С брекчиями их связывает многочисленный ряд переходных ступеней, зависящий от степени округления ребер, в свою очередь зависящей при одной и той же каменной породе от пройденного при перемещении расстояния.

Аллювиальные (речные) и *диловиальные* (ледниковые) конгломераты часто еще мало затвердели и менее хорошо сопротивляются напряжениям, чем более древние конгломераты других геологических систем. Устойчивость их часто меньше ожидаемой и вынуждает по-

этому к устройству пологих откосов; обнажения и выемки в крутых стенах неоднократно имели очень неприятные последствия и вызывали, не считая нанесенного обрушением ущерба, сооружение дорого стоящих подпорных стен и других обеспечивающих прочность всей постройки мероприятий.

Твердость конгломератов (2—2,6) зависит от природы связующего, цементирующего вещества; наименее твердыми являются породы с глинистой промежуточной массой, легко размягчающейся и теряющей при первом морозе свою сцепляемость; наиболее стойкими на выветривание и наиболее прочными являются конгломераты с кремнистыми цементирующими веществами. Так называемый *пудинг* представляет богатый промежуточной массой кремнистый конгломерат с кремнистым цементом. Сопротивление конгломератов раздроблению в общем ниже сопротивления раздроблению брекчий.

РЫХЛЫЕ ПЕСКИ

Пески представляют рыхлые накопления мелких, диаметром меньше 2 *мм*, минеральных зерен. В соответствии с значительной сопротивляемостью кварца они состоят в большинстве из кварцевых зерен. Часто в таких кварцевых песках выделяются окись железа и гидраты окиси железа, образуя железистые пески; иногда песчаные частицы цементируются вышелоченными железистыми солями в виде целых слоев (ортштейн) или в виде плоских или кругловатых сращений. Сырой перегнойный покров почвы благоприятствует подвижности железа, его вымыванию из верхних и отложению в более глубоких слоях почвы. Чистые отложения кварцевого песка без глинистых и подобных вредных примесей разрабатываются для добычи строительного песка; песок для воздушных и гидравлических растворов, для бетонных работ и др. должен быть лучшего качества и на ощупь твердым, т. е. с острыми краями. Чистоту песка определяют растиранием пальцами, на которых от хороших песков не должно оставаться частиц глины, или же путем отмывки пробы песка в стакане воды: вода не должна становиться слишком мутной, если песок предназначен для строительных целей.

В техническом отношении надо отличать находящийся в первоначальном месте залегания горный песок (элювиальный) от наносного песка (аллювиального); зерна последнего тем более округлены и отшлифованы, чем большее расстояние они прошли с водой, в то время как горный песок обнаруживает остроребериые очертания. Технические свойства залежей песка обусловливаются, кроме формы и величины зерен, также сортом основной породы, степенью сохранности составных частей, отсутствием или присутствием примесей и способом отложения; пески, имеющие в качестве основной породы кварцит или гранит, всегда заслуживает предпочтения перед происшедшими из слюдяных сланцев или филлитов, так как они беднее содержанием слюдяных листочков, отмывание которых требует тщательной и дорого стоящей работы. В зависимости от величины зерен обычно различают:

	Диаметр
Очень крупный песок (для известковых растворов) .	1 —2 *мм*
Крупный песок	0,5 —1 „
Среднезернистый песок (штукатурный)	0,2 —0,5 „
Мелкий песок	0,05—0,2 „

Стойкость большинства песков очень незначительна: поэтому даже доброкачественные, не промоченные просачивающейся водой, песчаные отложения не должны раскапываться с более чем полуторным заложением и должны сейчас же засаживаться растительностью.

Наряду с кварцем часто в некоторых песках встречаются также зерна слюды, известняка, роговой обманки, полевого шпата, даже некоторых руд. При значительной примеси в таких случаях говорят о слюдяных, известковых, шпатовых, магнезитовых, титаново-железных и др. песках. Пески, содержащие драгоценные камни, платину или золото, называются *россыпями* (например золотые, платиновые, оловянные россыпи). Слюдяные пески плохо применимы для приготовления известковых растворов.

Применение *кварцевого песка* очень разнообразно, и в зависимости от целей применения изменяются и требования, предъявляемые к песку; различают следующие сорта:

1. *Литейный песок* — должен давать прочную форму, плотную и пластичную массу; в то же время масса должна быть достаточно пористая, чтобы дать проход выделяющимся газам; необходима высокая огнеупорность — вредны примеси извести и щелочей; зерна должны быть однородны по величине, и форма их должна быть остроребериая, в виде обломков, а не окатанно-круглая; необходимо содержание минимальных количеств глины для связи; песок должен быть чистым и не содержать пыли и посторонних включений. В зависимости от величины отливок меняется величина подходящих размеров зерна. Для тяжелых отливок нужно крупное зерно; для отливок легких, а также бронзовых, медных и др. сортов литья употребляется тонкий песок.

2. *Песок для стекла* — должен обладать высокой степенью чистоты химического состава (99% SiO_2); недопустимы железо (не более ½%), глина, слюда и пр.

3. *Огнеупорный песок* — не должен содержать примесей вроде окиси железа, глины, щелочей, понижающих его огнеупорность. Содержание извести до 2% желательно. Идет на приготовление разного рода огнеупорных изделий — кирпичей, посуды и т. п.

4. *Керамическая* промышленность потребляет кварцевый песок, как отощающий материал, при изготовлении разного рода керамиковых, фаянсовых, фарфоровых и др. масс. Предпочитают остроребериый песок. Безусловно недопустимо присутствие тяжелых металлов и их окислов. Кроме того, кварцевый песок является составной частью различных глазурей.

5. *Металлургия* пользуется кварцевым песком для прибавки его в виде составной части шихт, флюсов при плавке металлов и затем при набивке подов печей. Важны химический состав и, во втором случае, огнеупорность песка.

6. *Приготовление бетона* требует песок без глины (не более 2% ее, так же как и для железнодорожного балласта) и органических примесей.

7. Применение песка в качестве *абразивного материала* очень разнообразно: песочное дутье, приготовление искусственных точильных и полировальных инструментов, шлифовальная (стеклянная) бумага и др.

8. В *химической* промышленности кварцевый песок идет как составная часть краски, спичек, мыла и пр., или применяется в различных фильтровальных, нагревательных и др. устройствах.

9. Различные сорта песка находят себе широкое применение в *строительном деле.*

Залежи песка и *гравия* могут быть приурочены к трем разным геологическим группам и областям: 1) области великого древнего оледенения севера Европейской части СССР, 2) областям горных и 3) равнинных речных долин. Относительно первой см. § 28. Вторая же и третья различны между собою постольку, поскольку отличается режим соответствующих рек; как общая черта, в горных долинах материал аллювия грубее, мощнее, но расположен более узкими полосами. При поисках аллювиального песка и гравия вообще надо исходить из знания режима и законов эрозии и логических из них умозаключений в связи с условиями данного места. Можно наметить лишь несколько общих мыслей относительно мест, где вероятно нахождение песка в вообще бедных им долинах:

1. Река выходит из ущелья с большим падением в более широкий и пологий участок долины.

2. Река, несущая много грубого материала, впадает в другую с меньшим падением ложа, чем у первой.

3. На участках долин между каким-либо озером (через которое данная река протекает) и ближайшим вниз притоком, несущим наносы, нельзя ожидать встретить ни гравия, ни песка

4. В связи с историей жизни реки, т. е. углублением ее русла или, наоборот, самоподнятием, могут быть различные комбинации чередования грубых и мелких слоев аллювия; в первом случае мы будем видеть вскрытые самой рекой разрезы продольных террас и легко найдем нужное; во втором же придется бурить, имея вероятие находить вниз все более грубый материал.

5. Во всех случаях необходимо предугадать поперечный коренной профиль реки, дабы учесть величину аллювия и не тратиться на ненужные буровые, закладывая их лишь в нужных местах для контроля. То же относится и до уменья определять вероятный контур конуса выносов.

6. На пространстве Средне-русской равнины с ее старыми виляющими реками необходимо, исходя из истории образования их долин, уметь отличать старые русла, отмершие изгибы, «старицы», от настоящих озер, перекаты и вообще изменения русла (см. § 35).

ПЕСЧАНИКИ

Песчаники представляют более или менее сильно затвердевшие пески. При описании брекчий и конгломератов уже упоминалось о промежуточной массе, которая обусловливает сцепление массы породы и в песчаниках; от ее сопротивляемости зависит поэтому и прочность породы (рис. 109).

Промежуточная масса называется заполняющей, если она только заполняет промежутки между обломками породы, не цементируя их прочно и постоянно. Глина представляет такое заполняющее средство; в сухом состоянии она придает вложенным в нее зернам некоторую

связность, даже прочность; но как только она размягчается водой, то сцепление исчезает, и порода может расплыться.

Если же промежуточная масса придает породе постоянную более или менее значительную прочность, тогда ее называют связующим веществом или *цементом*. Такие цементирующие вещества образуются известняком, доломитом, опалом, халцедоном и др. Если цементирующее вещество присутствует в очень большом количестве, так что отдельные обломки породы плавают в нем, то говорят об основном цементе (рис. 109). Прочность, твердость и сопротивление на выветривание обломочной породы зависят поэтому существеннейшим образом от свойств и количества обволакивающего зерна цемента; наиболее благоприятными свойствами обладает кремнистый оболочный цемент.

После этих вводных замечаний обратимся к описанию песчаников.

В зависимости от природы промежуточной массы различают следующие виды песчаников:

1. *Кварциты* и *кремнистые песчаники*. Зерна кварцитов невооруженным глазом неразличимы, и строение породы представляется сливным. Кремнистые же песчаники, напротив, образуются более крупными, вполне различимыми простым глазом зернами. Промежуточная масса цемента и тех и других состоит из безводного кварцевого вещества (кварц, халцедон) или же из опаловой массы. Излом кварцитов неровен, угловат, занозист и блестящего цвета; твердость и хрупкость их в общем значительны.

В кремнистых песчаниках кварцевый цемент часто встречается в виде оболочек, охватывающих кварцевые осколки, первоначальные границы которых еще заметны; эти песчаники, очень крепкие и твердые, принадлежат к наилучшим из известных нам строительных камней.

Твердость, а также и прочность на выветривание кремнистых песчаников зависят существенно от количества кварцевого цемента, определяющего качества или степень сцепления зерен.

Кремнистые связующие вещества цементируют также так называемые *аркозы*, т. е. богатые полевым шпатом песчаники гранитного вида, представляющие, так сказать, вновь сложенную или спаянную гранитную или гнейсовую дресву. Полевые шпаты в большинстве уже сильно разложились (на глину и мусковит) и благоприятствуют выветриванию породы, применимость которой зависит главным образом от степени окремнения. Такие аркозы встречаются преимущественно вблизи гранитовых и гнейсовых массивов.

2. В *известковых песчаниках* цементирующим веществом служит обычно плотная или кристаллическая известь, часто загрязненная кислотой или магнезиальными карбонатами; если цемент содержит в значительной степени магнезиальный карбонат, то песчаник называется *доломитовым*. Чем больше количество цементирующего вещества и чем лучше в нем произошла кристаллизация, тем тверже в общем принадлежащие к этой группе песчаники; вхождение в состав цемента кремнистой кислоты также повышает качество породы.

3. Связующее вещество *мергелистых песчаников* глинисто-известковое (мергелистое); оно менее стойко на выветривание и менее крепко, чем цемент известковых песчаников. Частью к нему примешана желтая железная охра, иногда и кремневая кислота. Последняя повы-

шает ценность породы для технических целей, значительная же примесь глины ее понижает. Известковый цемент обнаруживается вскипанием с соляной кислотой; растворимость его в углекислой воде в техническом отношении крайне неудобна. Мергелистые песчаники в большинстве не выдерживают крутых откосов и обнаруживают в выемках склонность к последующей обрушимости.

4. *Глинистые песчаники* содержат в цементе преимущественно глинистые вещества с примесями окиси железа и бурого железняка; они тем крепче и стойче на выветривание, чем более кремнисто цементирующее вещество. Глинистые песчаники с бедным кремнеземом связующим веществом принадлежат к мягким, легко выветривающимся и малостойким на выветривание строительным камням. Вследствие богатого содержания глины они впитывают воду, размокают, обнаруживают похожие на осиные гнезда поверхностные разрушения и распадаются быстро на морозе, поэтому непригодны, в особенности для фундаментов и водных построек. Часто они содержат слюду, при увеличении количества которой порода становится тонкослоистой и даже сланцеватой (песчанистый сланец).

5. Бурожелезистый *лимонитовый песчаник*. Цемент состоит из бурого железняка, к которому часто примешаны глинистые или кремнистые вещества, количество которых и влияет положительно или отрицательно на качества строительного камня. Окраска колеблется между желтой, красной и коричневой.

6. *Битуминозные песчаники* содержат в известковом или глинистом цементе заполнения и обволакивания тонко распределенные углистые или битуминозные вещества. Значительное содержание битумов делает породы в общем нестойкими на выветривание, но они мало страдают от незначительной примеси углистых веществ в кремнистых цементах, как например в так называемых углистых песчаниках.

7. *Слюдистые песчаники* содержат глинистые связующие вещества в качестве основного цемента, в котором залегают в более или менее значительном количестве слюды и слюдоподобные минералы (тальк, хлорит). Эта примесь чешуек и листочков придает песчаникам более или менее ярко выраженное сланцеватое сложение; большинство из принадлежащих сюда пород легко расщепляются и представляют недоброкачественный строительный материал.

8. *Песчаники с гипсом* или тяжелым шпатом в качестве цемента встречаются редко, последние должны предпочитаться первым.

Применимость песчаников для технических целей определяется наряду с видом отдельности и сложением (сланцеватое сложение, плитняковая отдельность) главным образом природой промежуточной массы.

Определение отдельных промежуточных веществ производится на свежей плоскости излома под увеличительным стеклом и при помощи соляной кислоты и твердой острой стальной иглы. Первое исследование имеет целью определить количество промежуточной массы и решить вопрос, является ли она обволакивающим, основным или же только просто заполняющим поры цементом; при наличии обволакивающего цемента может быть также установлено, пустуют ли поры между отдельными обволоченными зернами или же они заполнены наполняющим поры веществом (мягким) или цементом (твердым). После

этого необходимо попытаться выяснить состав промежуточной массы. Кремнистые цементы не поддаются царапанию или отделению от породы при помощи стальной иглы и обнаруживают жирный блеск. Известковый цемент вскипает немедленно при соприкосновении с соляной кислотой, доломитовый — лишь после нагревания; при этом надлежит подробно устанавливать, выделяются ли пузырьки углекислоты только из заполнения пор, или из связующих зерна плоскостей, или же, наконец, из самих минеральных зерен. Глинистые промежуточные вещества обнаруживаются характерным для них запахом.

Месторождения песчаника в Европейской части СССР приурочены преимущественно к отложениям меловым и нижнетретичным южной половины. Исключением являются девонские песчаники и кварциты («шокшинские») западного побережья Онежского озера и каменноугольные песчаники — плитняки Донбасса. Палеозойские песчаники и кварциты Урала идут только на металлургические заводы.

Временное сопротивление раздавливанию олонецких песчаников от 1200 до 2200 *кг/см*^{2}, московских — 1900 до 2360, меловых и третичных южных от 94 (самарские), 280 (саратовские), 500 (северо-донецкие) до 1300 (украинские) и даже 2600.

Песчаники Кавказа, преимущественно меловые и третичные, также невысокого качества, рыхлые, нестойкие и разнообразные.

КРЕМНИСТЫЕ ПОРОДЫ

Кремнистыми породами обозначают все слоистые породы, состоящие преимущественно из кремнезема (кварц, халцедон, опал) и не имеющие обломочного строения, а осадившиеся из растворов или образовавшиеся при содействии живых организмов. Они опознаются главным образом по значительной твердости (6—7), по их хрупкости, по нерастворимости в соляной кислоте и по неплавкости перед паяльной трубкой.

Кремнистыми сланцами (лидитами) называются плотные, очень твердые породы, изламывающиеся в общем мелкораковисто, а в деталях занозисто, состоящие преимущественно из кварцевого вещества с халцедоном и опалом. Примесь углистых веществ окрашивает их в серый, даже черный цвет, бурый железняк в коричневатый и хлорит в зеленоватый цвет; иногда они обнаруживают ленточное сложение. В них часто, особенно на многочисленных щелях и трещинах, встречается серный колчедан; трещины в большинстве заполнены белой кварцевой массой. Во многих кремнистых сланцах удалось обнаружить присутствие коловраток (радиолярий), кремнистых водорослей (диатомей) и других выделяющих кремний обитателей морской глубины.

Наиболее тонкие разновидности применяются в качестве *пробирного камня* при пробах золотых и серебряных сплавов, более грубые — в производстве *огнеупорного камня*, в качестве щебня и при заготовке точильных камней. Хрупкость их, с одной стороны, и чрезвычайная затрудненность обработки допускают применение их для строительных целей лишь в виде исключения.

Полировальный сланец — трепел представляет тонкослоистую, в большинстве светлоокрашенную породу, жадно впитывающую воду

и распадающуюся в воде в чрезвычайно тонкий порошок, но он не мажется при этом и отличается от каолина тем, что в сыром виде непластичен (уд. в. 1,8—1,9). *Кизельгур* (инфузорная земля) обладает меньшей твердостью, чем полировальный сланец, более или менее землист, мелообразен, скрипит, в отличие от мела, на зубах, легко растирается между пальцами и тощ на ощупь. Часто он загрязнен песком, иногда и органическими веществами, и окрашен в последнем случае в темно-серый или черный цвет. СССР обладает многими месторождениями трепела и кизельгура, особенно богатыми на Кавказе. Трепел и кизельгур очень ценные технически вещества с многообразным применением, благодаря легкости и свойствам не проводить тепло, звук, а также противостоять кислотам.

Кремнистой накипью называются беловатые, желтоватые или коричневатые, то рыхлые, то плотные массы аморфного кремнезема, осаждающиеся из холодных и горячих источников. При достаточной твердости они представляют хороший, трудно поддающийся обработке строительный камень, но применяются обычно лишь в стеклянном и керамическом производствах.

УГЛЕКИСЛЫЕ ПОРОДЫ

Углекислые породы представляют осадки известкового шпата, доломита или механических смесей этих углекислых солей, содержащие в то же время часто значительные количества глины, песка, углистых веществ и т. п. Более ограниченно распространены *магнезит* и *железный шпат (сидерит)*, представляющие предмет горнозаводской разработки. Всем этим породам обща растворимость в кислотах, причем углекислота выделяется в форме пузырьков, вызывая тем самым впечатление вскипания. Последнее наблюдается у известняков уже тогда, когда капли соляной кислоты падают на образец породы; доломит же вскипает лишь при условии нагрева разбавленной кислоты или же при воздействии ее на размолотую в порошок породу.

Известняки

Известняки состоят преимущественно из известкового шпата ($CaCO_3$). Они часто загрязнены более или менее сильно примесями, как например магнезией, марганцем, глиной, углистыми веществами, железистыми соединениями и т. д. При растворении известняков в кислотах примеси остаются в виде осадков; таким примитивным способом можно приблизительно определять степень чистоты известняка, предположенного к использованию для технических целей.

Плотность чистых нетрещиноватых известняков равна 2,72. Примеси глины (уд. в. 2,50) понижают, а доломита (уд. в. 2,85—2,95) повышают ее.

Сложение известняков чаще ярко выраженное слоистое, реже массивное или сланцеватое. Строение иногда определенно кристаллически-зернистое (рис. 42) (*мраморы* в геологической терминологии), в большинстве же плотное. Сложение иногда мелкопористое, как например в так называемых ленистых известняках, образующихся вследствие выветривания оолитовых зернышек из породы или же в резуль-

тате деятельности известковых водорослей. Выщелачивание частиц породы вызывает образование пористого сложения; на стенках полостей часто осаждаются друзы известкового шпата, в связи с чем сложение становится друзовидно-пористым.

В зависимости от примесей и сложения отличают разнообразные виды известняков.

Доломитовые известняки содержат доломит в виде механической примеси; они обычно немного тверже и тяжелее обыкновенных известняков. *Глинистые известняки* содержат до 10% глины. Они являются переходной разновидностью к мергелистым известнякам (10—20% глины) и к мергелям (20—25% глины). При дыхании они пахнут глиной и оставляют при растворении илистый осадок. При обжиге образуются извести, лишь трудно поддающиеся в кусках гашению водой и являющиеся переходом к так называемым цементам (более 20% содержания глины), связывающимся лишь в мелко размолотом виде. *Кремнистые известняки* пропитаны безводной или же содержащей воду кремнекислотой, содержание которой иногда составляет до 50%; они отличаются твердостью, прочностью и стойкостью на выветривание. Даже полное выщелачивание извести не разрушает более богатых кремнекислотой известняков, ибо все же остается губчатая кремнистая порода. Так называемые *песчанистые известняки* содержат кремнекислоту в форме кварцевых зерен и переходят при уменьшении содержания извести и увеличении содержания кварца в смешанной породе в известковые песчаники. *Асфальтовые известняки* столь богато пропитаны битумами, что из них может добываться асфальт. *Фосфоритовые известняки* содержат фосфоритовые стяжения или тонко распределенный по породе фосфорнокислый кальций. *Железистые известняки* содержат значительное количество железа, причем последнее встречается в виде окиси железа, если известняки окрашены в красный цвет, и в виде гидрата окиси железа, если известняк окрашен в желтый или коричневый цвет. *Известковой накипью* (травертином, известковым туфом) называются известковые отложения из содержащих двуугленислый кальций вод и из горячих источников. Они часто пересекаются полостями, образовавшимися обволакиванием мхов, листьев, стеблей растений и др., и поэтому пористы и мало прочны на раздробление, в то же время легко поддаваясь обработке. К натечным образованиям принадлежат также упомянутые уже выше капельники-*сталактиты* (см. § 30). Название известковые туфы лучше избегать, чтобы не смешивать с туфами изверженных пород. Знамениты накипные отложения водопадов Анио у Тиволи невдалеке от Рима, представляющие главный строительный материал древнего и современного Рима. Более плотные известковые накипи ценятся в надземных постройках, дырчатые, напротив, служат часто для сооружения искусственных гротов, пещер, каменных групп, для украшения фонтанов, садов, для окаймления газонов, дорожек, могил и т. д. *Известковыми сланцами* называются тонкослоистые известняки, как например зольнгофские литографские известняки. *Мелом* называют землистые, мягкие, легко растирающиеся белые известковые породы, состоящие преимущественно из мельчайших панцырей простейших организмов (фузулины, рис. 110 и др.); кремнистые остатки, например остатки водорослей (диатомей), коловраток (радиолярий), и кремнистые губки также

встречаются в мелу и представляют материал для меньших и больших кремневых сращений. В промытом виде мел применяется как средство для чистки металлов, зубов и т. п., в качестве средства для писания и др.; в сыром виде — для обжига извести, в сельском хозяйстве в качестве удобрения и в цементном производстве. Англия обязана своим наименованием «Альбион» белым меловым скалам берегов канала Ла-Манш. Известны меловые горы в южной части СССР по р. С. Донец, у Белгорода и в других местах.

Наименование *мрамор* геолог распространяет только на разнообразные от мелко- до крупнозернистых, ясно кристаллические разновидности известняка, в то время как каменотес и строитель под ним подразумевают также и другие плотные известковые породы, при условии, если они поддаются полировке. В таком именно смысле говорят часто также и об оникосовых, раковистых, коралловых, брекчиевых и других мраморах. Крупнозернистые мраморы ясно обнаруживают зеркальные плоскости мелких известково-шпатовых ромбоэдров, мелкозернистые отдают мягким блеском на плоскостях излома. Чистый мрамор белого цвета. Мрамор окрашивается примесями: графитом и углистыми веществами — в сине-серые и серые цвета, железным блеском — в красный, бурым железняком — в желтоватый, коричневатый цвет, и т. д.; строение его плотное (объем полостей в массе каррарского мрамора составляет от 0,01 до 0,22% всего объема породы). *Чиполином* называются мраморы с тонкими слюдяными пленками на плоскостях наслоения; *офикальцитом* — мрамор, проросший зернами и полосами змеевика. Большинство мраморов образовалось путем преобразования (метаморфизма) известняков (см. § 24).

Выветривание чистых известняков вызывается меньше механическим распадом, чем растворением в углекислой воде и переносом в растворенном виде. Глинистые известняки, напротив, легко размачиваются в воде, вымерзают и обнаруживают склонность к распаду. Среди глинистых пород чистые известняки часто резко выделяются более крутыми очертаниями и пониженной плодородностью. Обширные массы известняка страдают вследствие трещиноватости недостатком воды, вследствие бедности питательными веществами — неплодородием и обнаруживают в соответствии с быстрым выщелачиванием известкового шпата осаждающейся влагой образование карр, карстовых воронок и т. д.; одним словом, они дают полную картину того, что принято называть карстовым ландшафтом (см. выше § 29).

Глинистые известняки не применимы в виде дорожного щебня, из числа же чистых известняков зернистые более пригодны, чем плотные. В общем известняк раньше считался хорошим щебенным материалом, так как он мало снашивает ободья колес и хорошо связывает проезжую часть. Но с возрастанием требований, предъявляемых современным автотранспортом к путям сообщения, известняк удовлетворить больше не в состоянии; нынешние сообщения требуют более твердого, менее снашивающегося щебня, в целях уменьшения пыли и грязи, а также для упрощения и удешевления эксплоатации шоссейных дорог.

В остальном применение известняка всем известно. Он служит для приготовления воздушного и гидравлического известковых растворов, для производства углекислоты, карбида кальция, стекла, в качестве флюса при различных плавильных процессах и т. п. Широкое при-

менение он находит в качестве поделочного строительного камня, для мощения полов и перекрытия крыш (известковый сланец) и т. д. Для водных сооружений наиболее пригодны кремнистые известняки; глинисто-мергелистым пользоваться ввиду его размягчаемости не рекомендуется. Сопротивление раздроблению мраморов в среднем принимается в 400—1200 *кг/см*^{2}; в плотных известняках оно колеблется между крайними значениями в 100 и 2700 *кг/см*^{2}.

Доломиты

Доломитами называются породы, состоящие преимущественно из минерала доломита. Загрязняющие примеси те же, что и в известняках, и обусловливают образование таких же разновидностей, как например железистые, глинистые, мергелистые, битуминозные (вонючие), кремнистые, песчаные, известковые доломиты; твердость ($3\frac{1}{2}$—$4\frac{1}{2}$) и плотность их (уд. в. 2,80—2,90) немного выше известняков. Обыкновенному известняку соответствует плотный доломит, известковому мрамору — зернистый доломитовый мрамор.

Доломит широко употребляется в качестве строительного камня, а при соответствующем содержании кремня также и в качестве щебня. В остальном он служит для добычи магнезиальных солей, в качестве флюса при плавке железных руд, в особенности в так называемом томасовском процессе, и т. д. Сопротивление его раздроблению превышает таковое же известняков.

Доломитовые породы часто, но не всегда, проявляют подобную же склонность к неплодородию и карстовым образованиям, как и чистые известняки. Доломитовые горы в то же время нередко отличаются лучшей растительностью от неплодородных известняков.

Известняк и доломит в их многоразличных видоизменениях являются главным строительным камнем в СССР как по структуре (от землистого мела до зернистого мрамора), так по химическому составу (магнезиальные, доломитизированные, железистые известняки и пр.) и механическим примесям (глинистые известняки или мергели, кремнистые, песчанистые и др.); есть и почти химически чистые известняки, т. е. чистая натуральная углекислая известь (например в Московском районе), и чистейший нормальный доломит, содержащий на 1 часть углекислой извести 1 часть углекислой магнезии (в Новгородском районе).

Такое же обилие видов известняки в СССР представляют и по окраске, прочности и стойкости в отношении выветривания, давая огромный выбор выдающихся по достоинству материалов непосредственно для стройки и для изготовления вяжущих веществ всех типов. В лучших образцах среднее временное сопротивление раздроблению наших известняков, как например стрелецкого, тульского, достигает, по определению проф. Белелюбского, 1502 *кг/см*^{2}, т. е. равняется прочности гранита.

Разнообразие свойств известковых пород, их повсеместное мощное распространение (трудно указать район, кроме Тобольского, где не было бы известняковых залежей, разрабатываемых в большей или меньшей степени) и сравнительная легкость добычи и обработки позволяют применять их ко всем потребностям строительного дела от бута до художественного орнамента.

МЕРГЕЛИ

Мергелистые породы представляют связующее звено между углекислыми и глинистыми породами. Большинство их легко выветривается, они нестойки в отношении мороза, обладают незначительною

прочностью, а поэтому и значительною последующей обрушимостью. Стойкость мергеля проще всего испытывается обливанием вырезанной из него колонки или кубика водой; если пробное тело распадается в течение короткого срока, то приходится рассчитывать на весьма незначительные прочность и стойкость на выветривание. В качестве строительного камня применимы лишь самые твердые сорта; более мягкие впитывают много воды, совершенно размягчаясь при этом, и подготовляют тем самым полный развал при наступлении мороза. В качестве щебня мергель вообще не должен применяться; он слишком мало сопротивляется при своей незначительной твердости давлению колес и доставляет, в конце концов, лишь много грязи. При сооружении высоких насыпей также надлежит избегать применения мергелей, так как они разбухают при промачивании, вызывая оползания и обвалы.

Главнейшее свое применение известковые мергели находят при производстве цемента; доломитовые же мергели для этого непригодны.

Гидравлические добавки (цемянки) суть естественные вещества, которые не могут самостоятельно отвердевать под водою, а лишь в смеси с известью, например пуццоланы, трасс, санторинская земля, обожженные глины. Смешанными цементами называются продукты, получаемые теснейшим смешением цемента с соответствующими добавками, при содержании последних свыше 2%. Мергели идут также и на искусственное удобрение.

Распространение и разнообразие мергелей в СССР чрезвычайно велико.

ГЛИНЫ

Наименование «глина» не объемлет точно ограниченного вещественного содержания, как например выражение «каолин», являясь чисто физическим понятием; оно объемлет все отложения, имеющие, не будучи при этом каолином, каолиноподобные, коллоидальные свойства, так например прилипание к губам, растираемость и отсутствие блеска в сухом состоянии, жадное впитывание воды, пластичность после увлажнения водой, разбухание с водой, склонность к оползанию, растрескивание при высыхании, высокую способность впитывать красящие вещества и микроорганизмы (бактерии и т. д.).

Глины иногда загрязнены песком, серным колчеданом, известковым шпатом, гипсом, каменной солью и другими в большей или меньшей степени. Плотность их в совершенно сухом состоянии равна приблизительно 2,5. В качестве окрашивающих веществ встречаются в большинстве окись железа (красный), бурый железняк (желтый, коричневый), углистые и перегнойные вещества (серые, сине-серые, черные цвета). Характерен глинистый запах, в особенности заметный при дыхании на глину.

Из числа разновидностей глины и родственных ей пород следует перечислить: *фарфоровая земля* или *каолин* ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), представляющий в большинстве конечный результат глубокого разложения богатых полевым шпатом пород, как то: гранита, порфира, липарита, андезита и т. п. Значительно медленнее, несовершеннее и менее полно происходит каолинизация таких пород при поверхностном выветривании; при последнем образуются преимущественно другие глинистые

вещества. Каолинизацию чрезвычайно ускоряет присутствие серного колчедана, выделяющего при выветривании серную кислоту, или же воздействие перегнойных (гумусных) коллоидов (болотная подпочва). Применение каолина известно. *Горшечная глина* представляет глину, загрязненную окисью железа, органическими веществами и кварцевым песком, идущую, как это уже указывается самим названием, на выделку глиняной посуды. *Битуминозные глины* богаты углистыми веществами и битумами и окрашены большею частью в темносерый цвет. *Соляная глина* пропитана хлорными соединениями натрия и магния, содержит также часто ангидрит, гипс и т. п. *Мергелистые глины* содержат от 50 до 80%, *известковые глины* — более 80% глины, в то время как остальная масса состоит из известкового шпата.

Сланцеватая глина отличается от обыкновенной более ясно выраженной, повторяющейся через небольшие промежутки слоистостью: вместе с этим возрастает немного и прочность, равняющаяся у глины в мокром состоянии почти что нулю. Желтые глины, содержащие значительное количество бурого железняка, часто переходят в так называемую железную или бурую *охру*.

Глины играют в технике значительную роль. С одной стороны они доставляют сырье для производства разного рода фарфора, глиняных изделий, огнеупорных и т. п., с другой же стороны из них состоит во многих местах почва. Всюду, где инженеру приходится иметь дело с глинистыми отложениями, он должен опасаться неприятных свойств глины в мокром состоянии. Будучи слабовлажными, глины отделяются без особых затруднений, выдерживают любую крутизну откоса и требуют в шахтах, ямах и т. д. лишь слабой обшивки или же позволяют обходиться совершенно без нее. Но если прибавляется вода в значительном количестве, то они разбухают и расширяются, стремясь закрыть с большой силой вырытые в них пустоты (шахты, котлованы и т. п.); изумительно большим, внезапно проявляющимся силам давления часто не в состоянии воспротивиться прочнейшая обшивка или крепь, что вынуждает применять в туннелях и важных участках штолен сооружение сплошных сводчатых креплений (см. ниже). Мостовые быки, установленные на глинистой почве, проявляют склонность к перемещениям в вертикальном и горизонтальном направлениях. Сооружение высоких насыпей и проведение выемок нарушают и так уже непрочное равновесие склонов, состоящих из глинистых пород. В результате происходят обвалы и оползни склонов. А раз пришедшие в движение глинистые почвы удается остановить лишь с большим трудом и при помощи дорого стоящего сооружения водоотводов, подпорных стен и т. д. Поэтому рекомендуется либо произвести на основании подробнейших геологических изысканий перенос трассы для обхода опасных мест, либо же, если первое средство по местным условиям не применимо, проделать необходимые работы по обезвоживанию опасного участка до приступа к самим работам по постройке сооружений. Особенно осторожно следует относиться к глинам, содержащим много серного колчедана, потому что выветривание его на сыром воздухе вызывает образование квасцов, сопровождаемое увеличением объема и уменьшением сцепления массы, что в свою очередь может повлечь за собой сильные явления разбухания и оползания.

Для сельского хозяйства глинистые почвы мало благоприятны. Они иногда бедны растительными, питательными веществами, всегда трудно обрабатываются вследствие комковатости и вязкости, плохо проветриваются, холодны, влажны, склонны к заболачиванию, а при сухости — к образованию трещин, причем нередко разрывают корни растений. Сооружение водоотводов (дренажей) и удобрение известняком или мергелем устраняют частично или даже полностью плохие качества глинистых почв и благоприятствуют разрыхлению (рассыпчатости), проветриванию и более легкому прогреванию почвы.

Охрой называется природное красящее вещество землистого вида, содержащее окислы тяжелых металлов. Весьма распространенные глинистые массы, окрашенные гидратами окиси железа в различные оттенки желтого и красного цвета, носят название *железных охр.* Вещества эти в большинстве случаев пластичны, легко растираются между пальцами, красят при прикосновении и прилипают к языку. Кроме главных составных частей глины и окиси железа, в них почти всегда имеются примеси извести, магнезии, марганца, фосфора, серы, органических веществ и др. Главным достоинством охры по сравнению с другими красками является ее стойкость по отношению к атмосферным влияниям и дешевизна. В воде она нерастворима, в кислотах и щелочах отчасти растворяется. Охра употребляется в огромном количестве как клеевая, масляная, грунтовая краска, при окраске стекла, фаянса, линолеума, тканей и пр. Техника требует, чтобы охра обладала высокой кроющей способностью, что связано с количеством окиси железе в продукте, ярким и чистым цветом, не была подкрашена, не содержала примесей, в особенности серы, фосфора и органических веществ, и при прокаливании теряла не более 9—10% своего первоначального веса.

Глины по своему происхождению разделяются на *первичные* — коренные и *вторичные*, возникшие от выветривания различных глиноземсодержащих пород. При поисках глин руководятся преимущественно признаками увлажнения и заболачивания поверхности. В противоположность мергелям, содержание извести в глинах наименее желательно; в случае, если известь заключается в виде больших желваков-конкреций, таковые возможно удалять ручным отбором при самой добыче. Мелкие конкреции величиною с горох так нельзя удалить, и при обжиге кирпичей они будут давать много брака — растрескивания; равномерно распределенная в глине известь менее вредна, хотя кирпичи из нее все-таки не годны для наружных стен. Подобно извести вредны примеси желваков или кристаллов гипса и стяжений серного колчедана (пирита), которые также следует отсортировывать при добыче. Наконец, к предварительным же исследованиям глины относится определение механическим анализом количества содержащихся грубых частиц — песчинок и т. п.

ГЛИНИСТЫЕ СЛАНЦЫ

Глинистые сланцы представляют прочные, не растирающиеся, хорошо слоистые, иногда также сланцеватые и поэтому бо́льшей частью великолепно разделяющиеся и расщепляющиеся породы; по плоскости главного излома они обнаруживают более или менее значительное ма-

товое мерцание, а часто и некоторый блеск, совершенно отсутствующий на плоскости поперечного излома.

Цвет их преимущественно серый и синевато-серый, иногда же вследствие углистых примесей почти что черный. Очень распространена в них тонкая складчатость плоскости главного излома, являющаяся следствием давления горных масс и вызывающая мягкий шелковистый блеск.

Из числа разновидностей более существенное значение имеют следующие.

Мергелистые сланцы представляют глинистые сланцы с примесью извести, содержащие иногда и битуминозные вещества. *Углистые сланцы* содержат значительное количество обугленных растительных остатков; некоторые подобные им породы еще столь мягки, что могут быть с успехом причислены к сланцеватым глинам. Глинистые сланцы, обнаруживающие очень плотное и тонкослоистое сложение и расщепляющиеся при этом отлично по плоскостям наслоения, называются соответственно их применению для покрытия крыш — *кровельными сланцами* (рис. 40). Своею совершенной расщепляемостью они обязаны почти всегда поперечной сланцеватости; поэтому они встречаются лишь в горах, образовавшихся вследствие сжатия и складчатости. Хороший кровельный сланец должен обладать следующими качествами: плотным строением, совершенно беспористым сложением, высокой твердостью, легкой пробиваемостью, не содержать железного колчедана и издавать при постукивании звонкий звук; присутствие углистых веществ, выдающих себя черной окраской, и значительного количества извести нежелательно; прожилки слюды должны быть по возможности беспрерывными, тонкими и не иметь волокнистых утолщений. В СССР кровельный сланец, к сожалению, еще очень мало используется, хотя месторождения его многочисленны. Наиболее пока известны в Карелии (Кондопога, Нигрозеро), Криворожском районе по р. Саксагань, Черноморском (Туапсе, Новороссийск), Сов. Кавказе (Ларс, Казбек), на Урале (ст. Азиатская, Миасс, Чебаркуль, Сара и др.) и в Казакстане. Кровельные сланцы, окрашенные в очень темный цвет, содержащие много извести, называются *аспидными сланцами* или *шифером*. Рисовальные сланцы содержат также большое количество углистых веществ; к тому же они очень мягки и позволяют в сыром или промытом виде применение в качестве *рисовального* угла. Если наряду с диагональной сланцеватостью сохранилась также и первоначальная слоистость, то получаются так называемые *грифельные сланцы*, легко раскалывающиеся в виде длинных тонких стеблей и служащие поэтому сырьем при выделке грифелей, употребляемых для писания на аспидных досках. *Точильные сланцы* отличаются плотной структурой, большой равномерностью массы и твердостью; последнею они обязаны примесям тончайших зерен кварца и силикатов.

Глинистые сланцы легко поддаются обработке, но зато обладают лишь незначительной стойкостью. Откосы их требуют в технических сооружениях либо очень пологого уклона, или же применения соответствующих технических креплений (замощение, подпорные стены и т. д.). Легкое их выветривание основано на легком размягчении при увлажнении, приводящем к механическому распаду и обостряющем действие мороза. В насыпных образованиях они обнаруживают пове-

дение, подобное некоторым мергелям, глинам и сланцевым глинам. Выемочные сооружения страдают от последующей обрушимости сланцев и требуют поэтому полной обшивки соответственной прочности. В качестве строительного или щебенного камня глинистые сланцы вряд ли пригодны; поэтому использование их в качестве кровельных листов, аспидных досок, грифелей, рисовальных углей и для подобных целей должно считаться единственной областью их более широкого технического применения.

Специальное назначение в строительной технике занимает далее *гипс* (не совсем правильно именуемый иногда промышленниками *алебастром*), разработка коего производится также в довольно большом числе пунктов. Месторождения промышленного гипса весьма распространены в СССР.

Лёсс — см. выше, § 27.

§ 43. Краткие сведения из геоморфологии

На границе географии и геологии, пользуясь достижениями и методами их обеих, в нашем веке возникла наука геоморфология. Она изучает, объясняет и систематизирует формы поверхности Земли. Геоморфологические исследования чрезвычайно важны в целом ряде технических изысканий, особенно путей сообщения и гидротехнических, и обязательно, в противоположность плохим прежним традициям, должны входить в эти изыскания составной частью.

Большие формы земной поверхности в значительно меньшей степени привлекают внимание техники, чем мелкие и мельчайшие формы рельефа (микрорельеф). Последние обнаруживают опытному глазу ряд фактов, технически имеющих большое значение, которые могут ускользнуть от поверхностного или неподготовленного наблюдателя.

Для удобства исследования все формы рельефа можно разделить на положительные и отрицательные.

Положительные формы рельефа

1. *Формы гор и вершин.* Разнообразие их очертаний очень велико и не может быть исчерпано даже подробнейшей классификацией.

В сельском и лесном хозяйстве для величины уклонов введен ряд определенных терминов; склоны с углом падения называются обычно:

0— 5° очень пологими	20—30° крутыми
5—10° пологими	30—45° очень крутыми
10—20° отлогими	более 45° обрывистыми

При превышении углом падения 20° правильная сельскохозяйственная обработка становится нерациональной; на склонах круче 35° прекращается также планомерное лесоводство; лес должен на таких крутых склонах использоваться лишь в качестве охранных насаждений или только выборочной рубкой.

Угол падения склонов находится в сильной зависимости от пород, слагающих данную возвышенность. Каждая горная порода обладает, вследствие обусловливаемой трещиноватостью, наслоением, раствори-

мостью и т. п. определенной степени выветривания, предельной крутизной склонов, которая не может превышаться, не вызывая обрушения, обвалов или оползней крутых участков склонов. Склоны гор стремятся таким образом, под влиянием действующих на них геологических сил, в особенности выветривания, достичь своей предельной крутизны. Твердые известняки выдерживают очень крутые склоны, рыхлые доломиты и известняки, напротив, склоны лишь средней крутизны; склоны, образуемые легко выветривающимися мергелями и рухляковыми песчаниками, являются часто полого падающими. Рыхлые массы обладают в общем более пологими склонами, чем твердые скалы и коренная порода, из которой они образовались; это может служить отчасти руководством при разрешении вопроса: состоит ли участок склона из коренной породы, или из продуктов разрушения. Гранит и другие массивные породы обнаруживают бо́льшую крутизну, чем легко обрушивающиеся сланцы.

Таким образом характер и крутизна склонов позволяют инженеру сделать ряд ценных выводов в отношении технических свойств слагающей их породы, и в особенности в отношении ее обрабатываемости, стойкости на выветривание и т. д.

Предельная крутизна имеет также большое влияние на формы гор, в особенности если нагорья образуются многочисленными разнообразными горными породами.

2. *Формы подножий гор, хребтов и гребней.* Подножие горы, нижней границы ее массива, в большинстве случаев покрыто мощным покровом горного мусора, что объясняется тем, что именно здесь, в месте перехода горного склона в долину или равнину, больше всего происходит отложение всякого рода продуктов выветривания и наносов (делювия и пролювия).

Среди водоразделов различают *хребты* с их мягко выпуклой или на небольшой ширине даже равнинной поверхностью и *гребни*, в которых оба склона пересекают друг друга в линии гребня, образуя более или менее острый угол.

3. *Формы обломочных образований.* Сюда принадлежат различные формы конусных наносов и валунных полей, моренных, обвальных и оползневых отложений. Большая часть этих образований легко определяется опытным глазом исследователя-специалиста; при этом рекомендуется, если только к тому представляется возможность, произвести обратную поверку, отыскивая отрицательную форму рельефа, давшую материал для отложения соответственных возвышенных форм. Далее, инженеру-практику очень важно представить себе первоначальный рельеф местности до образования на ней рыхлых отложений, что дает желательное представление о мощности обломочных масс в различных точках их толщи.

В большинстве случаев мощность отложений сильно переоценивается. Очень часты случаи, когда под рыхлыми образованиями встречаются скалистые выступы.

Технически важно отличать отложения обвалов от очень похожих иногда на них моренных холмов; довольно однообразные в общем отложения обвалов имеют вокруг главного, неправильно нагроможденного холма еще зону распыления; в этой внешней полосе отложения нередко встречаются многочисленные более крупные глыбы, которые обычно

проходят более длинный путь. Моренный холм, напротив, обнаруживает наряду с очень пестрым составом всей массы дуговое расположение и не понижается медленно от своей вершины в сторону подошвы: более крупные глыбы разбросаны без всякого порядка по всей массе, а не только по внешнему краю.

Отрицательные формы поверхности

Из числа их для инженера наибольшее значение имеют долины, которым был посвящен § 35.

§ 44. Организация геолого-разведочных работ при технических изысканиях

Геологическая часть работ

Каждому технику-строителю, а в особенности ведущему изыскания путей сообщения или возводящему какие-либо искусственные сооружения, а также военному инженеру, необходимо овладеть основными приемами геологического наблюдения, хотя бы ему никогда и не приходилось вести самостоятельно геологической съемки. Первым условием для успеха таковых является наличие возможно лучших и самого крупного масштаба топографических карт не только данного места, но и ближайших его окрестностей. В случае отсутствия таковых, исследуемое место должно быть заснято; следует всегда помнить, что *геологические факты, не зафиксированные точно на карте, теряют почти всякое значение*, в особенности при решении именно технических вопросов. То же относится и к сбору образцов, которые должны немедленно нумероваться, записываться в журнал и тщательно упаковываться, без чего сплошь и рядом являются совершенно ненужным хламом.

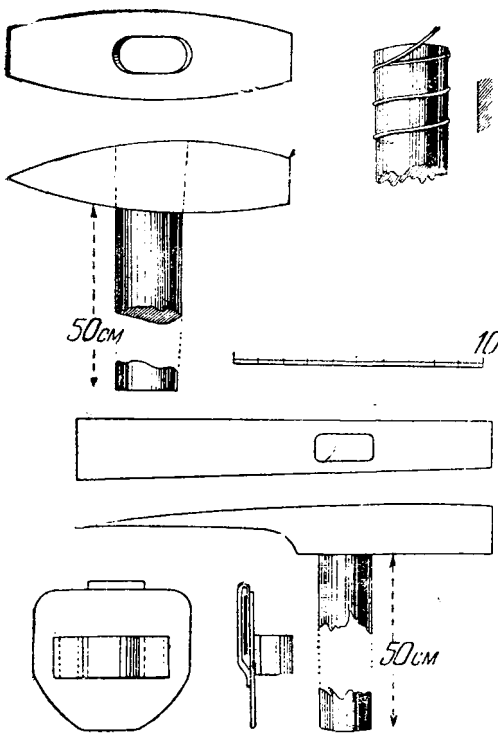


Рис. 132. Геологические молотки (нижний — для мягких пород). Слева внизу клапан на поясе для ношения молотка.

Карты для работы разрезаются на прямоугольники по размеру кармана и наклеиваются на коленкор.

Инструменты для геологической работы очень немногочисленны и просты:

а) Геологический молоток (златоустовского-фрайбергского типа)

лучше всего среднего размера — №№ 3—4; для разбивания больших глыб, что иногда необходимо для получения неразрушенного образца, надо иметь балду весом в 4 *кг*. Рукоятку лучше всего делать из ясеня или кизиля. Молоток носится в особом клапане на ременном поясе (рис. 132).

б) Горный компас (лучшие фирм Гильдебрандта, Брейтгаупта, Фусса, Лейсса) — с прямоугольной удлиненной доской и лимбом, разделенным на 360 делений, против часовой стрелки; стрелка должна иметь большую чувствительность, легкий ход и при поднимании винтом сбоку останавливаться на месте. Для легкости лучше брать компасы алюминиевые (рис. 133).

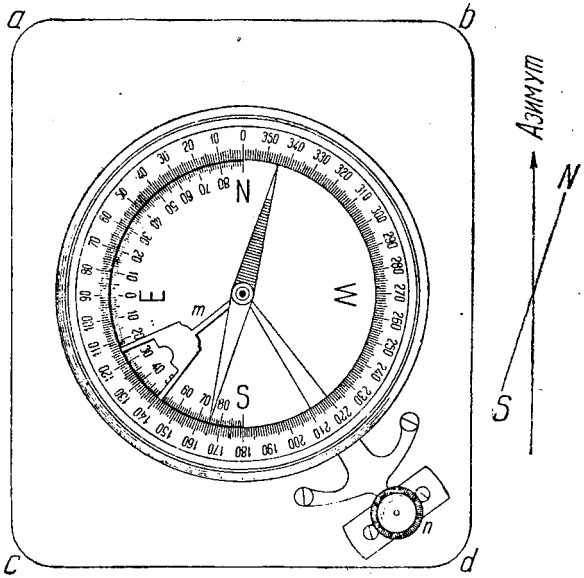


Рис. 133. Горный компас.

в) Рулетки холщевые — две с 2 и 10 *м*.

г) Эклиметр или вообще простейший прибор (уровень) для нивеллирования.

д) Флакон с соляной кислотой с притертой пробкой-капельников, в прочном футляре.

е) Карманная лупа (увел. 4—5).

ж) Призматический бинокль.

з) Записная книжка — лучше всего продолговатая с клетчатой бумагой с наилучшими карандашами (№ 3, дабы не стирались записи).

и) Небольшой циркуль с навинчивающимся колпачком.

к) Масштаб.

л) Цветные карандаши.

Кроме того в зависимости от условий и цели работ приходится иметь: анероиды, термометры, фотографические камеры, кайлы, легкие буры (щупы), зубила, пробирки и банки для хрупких образцов и нумерованные мешочки для крепких, оберточную бумагу, синдетикон, тушь черную и цветную, вату, шпагат, этикетки, набор паяльной трубки для определения минералов, походную лабораторию для исследования воды и пр. Надо иметь в виду, что на местах работ очень трудно, а иногда и невозможно все это достать.

Запись полевых наблюдений должна производиться немедленно и систематично.

Если точку стояния узнать на карте трудно, то необходимо найти ее засечками помощью горного компаса на отмеченные на карте пункты. На крутых склонах, выраженных на карте горизонталями, высота точки наблюдения проверяется и анероидом. Все точки наблюдений (выходы пород, шурфы и т. п.) отмечаются на карте кружком

с порядковым номером «обнажения». Кроме того, особыми, выработанными в каждой стране геологическим ее учреждением (у нас инструкциями б. Геологического комитета) значками обозначаются на карте всевозможные условия залегания пород, местонахождения окаменелостей, полезных ископаемых, выходы ключей, холодных и горячих, шурфы, шахты, буровые скважины и т. п. Кроме условных знаков (легенду которых надо поместить на полях карты) и раскраски цветными карандашами, на карте ничего не пишется, а изложение всех наблюдений делается в полевой книжке, а еще подробнее вечером в дневнике. Что именно наблюдать и записывать, изложить в инструкции нельзя, знание этого и составляет профессиональный опыт геолога, дополняемый его индивидуальным чутьем, а с другой стороны, вытекает из тех общих сведений, которые изложены в первой части данного руководства. Вопросы обязательного и постоянного характера, как составление нормального и частных разрезов, измерение мощности пластов и определение их залегания изложены подробнее в книге В. Вебера — Геологическая съемка, из которой заимствуем лишь самое главное.

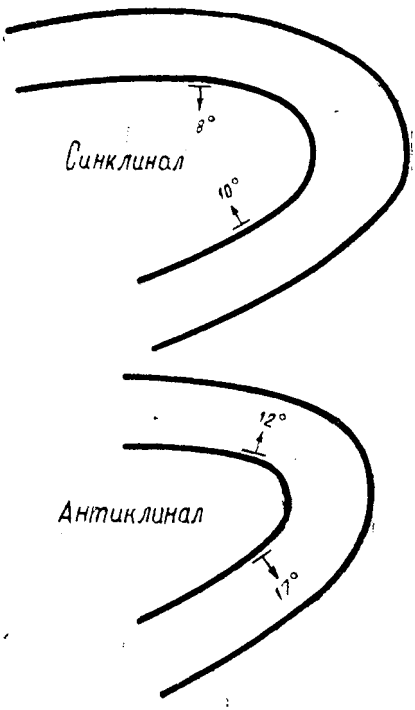


Рис. 134. Синклиналь и антиклиналь в плане — на пластовой карте.

Под *геологической съемкой* следует понимать не только составление геологической карты, но и не связанные с этим составлением работы геолога: определение в поле залегания пород, их мощности, стратиграфической последовательности и фациальных изменений, тектонических нарушений и вулканических явлений; изображение взаимоотношений различных образований как в виде карты, так и разрезами, схемами, диаграммами, наконец описанием.

Геологическая карта есть изображение того, что получается при пересечении поверхностью земли геологических образований изображаемого картой района, иначе, геологическая карта иллюстрирует распространение на поверхности земли этих геологических образований. Так как поверхность земли есть очень сложная поверхность, влияющая на очертания пересекаемых ею пород, то для чтения геологической карты какого-либо района необходимо иметь изображение его рельефа.

Для наглядности взаимоотношений различных геологических образований, изображаемых картами, можно упростить вид поверхности, которая их сечет; например, изобразить сечение несложной поверхности земли с горизонтальной плоскостью (или какою-либо к ней близкой), тогда для осадочных отложений получим *пластовую карту*,

или с вертикальной плоскостью, тогда получим *геологический разрез* (рис. 134, 135 и 136).

Пластовая карта, наглядно изображая взаимоотношения пластов в изображаемой плоскости, не дает, однако, того, что мы можем наблюдать на поверхности в естественных выходах, поэтому пластовые карты составляются лишь для рудников, где удобнее отнести все геологические данные к какому-либо горизонту или условной горизонтальной плоскости, чем к прихотливой поверхности земли, для большей простоты подсчетов и построений. Для разведок же необходима геологическая карта.

Если масштаб карты настолько мелок, что геологический материал на ней изображен схематически, то геологическая карта называется *обзорной*, назначение которой дать изображение геологического строения в общих чертах. Такие карты служат для предварительных соображений о направлении поисковых работ и для общих тектонических или палеогеографических сопоставлений.

Геологическая карта дает распространение осадочных пород в их последовательности по возрасту; если же мы изобразим распространение пород вне зависимости от их возраста, то получим *литологическую карту* (рис. 137 и 138). Таких карт, изображающих распространение или расположение каких-либо специальных признаков,

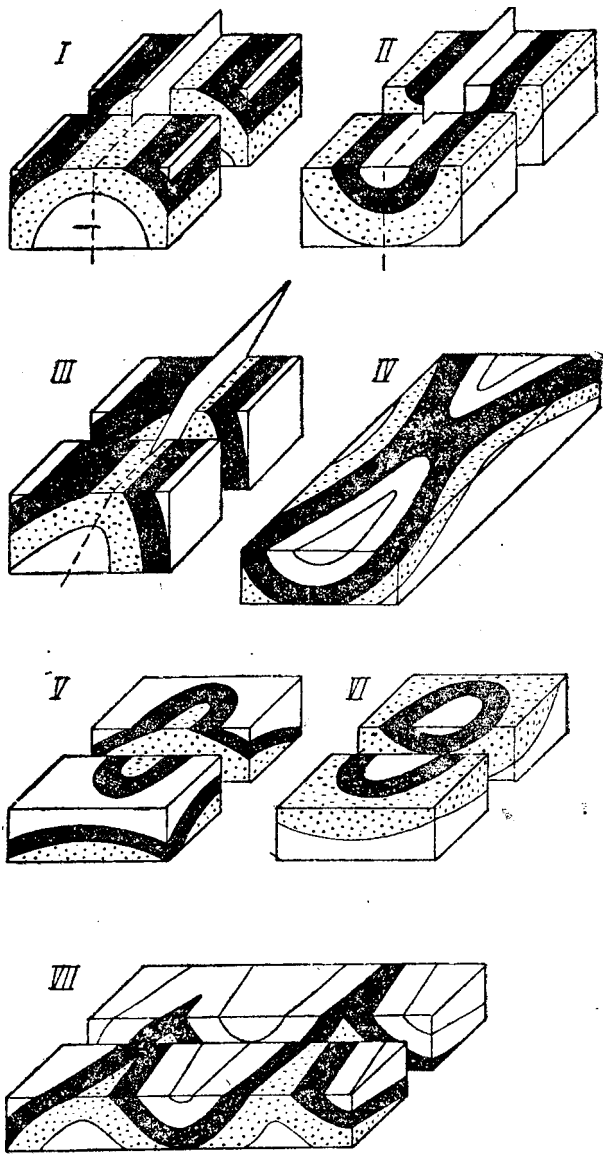


Рис. 135. Различные складки в вертикальном и горизонтальном разрезах. У *I*, *II* и *III* показаны и осевые поверхности складок. Такие изображения называются блокдиаграммами.

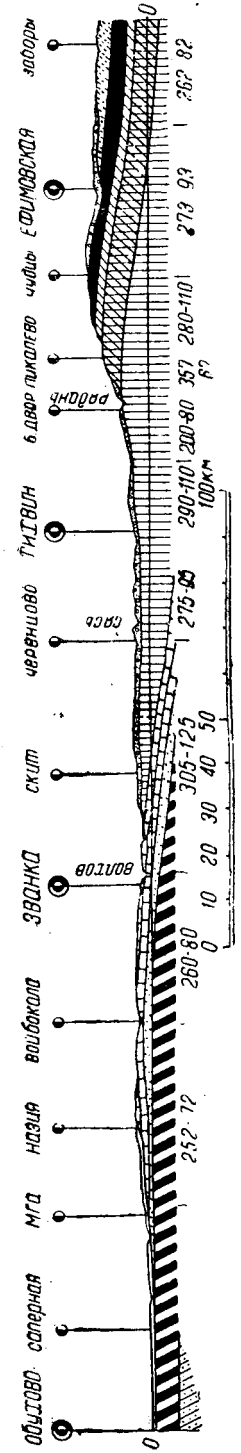


Рис. 136. Геологический разрез с преувеличением вертикального масштаба в 75 раз (вдоль Северной железной дороги). По В. Веберу.

может быть очень много: карта *четвертичных отложений, полезных ископаемых, тектонические, водоносности, нефтеносности* и т. п.

Геологическая карта не может ответить на все вопросы, которые с исчерпывающей полнотой дают специально для каждого вопроса составленные карты, но грамотно составленная детальная карта дает понятие о тектонике, в соединении с колонкой — о литологии, на многих картах показаны и четвертичные отложения и т. д.

Кроме геологической карты, строят геологические разрезы в тех случаях, когда либо хотят изобразить то, что не может передать карта, или в целях наглядности взаимоотношений пород.

Совокупность работы геолога называется *геологическими исследованиями*, к которым относятся: 1) подготовка к полевой работе, 2) сбор полевого фактического материала, анализ его, привязка наблюдений к карте, изображение собираемого материала картами, разрезами, рисунками, описаниями, 3) обработка материала в городе: построение и вычерчивание карт, разрезов, диаграмм и пр. и 4) составление описания геологического строения исследованного района.

Составление отчета-описания к геологической карте и профилям

При обыкновенной геологической работе принято руководствоваться инструкциями б. Геологического комитета — ныне ЦНИГРИ (Ленинград).

Отчет может быть *предварительным* и *окончательным* (полным). Каждая геологическая съемка лишь тогда может считаться законченной, когда: 1) сдан полный отчет по работе со всеми приложениями и 2) сданы в порядке коллекции. Так как обработка материала полностью требует большого времени, гораздо большего, чем его сбор, а работы могут быть многолетними, то обычно сначала составляется предварительный отчет. Последний может быть сделан быстрее, в тот же год, по сравнению с окончательным.

1. *Предварительный отчет* содержит геологическую карту, часто для удешевления и быстроты штриховую, и хотя бы один геологический разрез. В предварительном отчете не

описываются отдельные наблюдения, но дается их сводка в том виде, в каком это возможно сделать на основании предварительных определений коллекций, содержащая те же главы, что в окончательном отчете. Лишь иногда приводится фактический материал, описывающий какое-либо интересное явление, или для доказательства нового вывода.

2. *Окончательный* или *полный отчет* содержит весь фактический материал и выводы, основанные на обработке коллекций, анализах, подсчетах и пр. Существуют тенденции не опубликовывать фактического материала или так называемого «описания обнажений». В этом вопросе может быть не два мнения, но два случая:

а) *при детальных* съемках карта и разрезы являются точными, а потому подробное описание всего, что выступает на поверхность, по

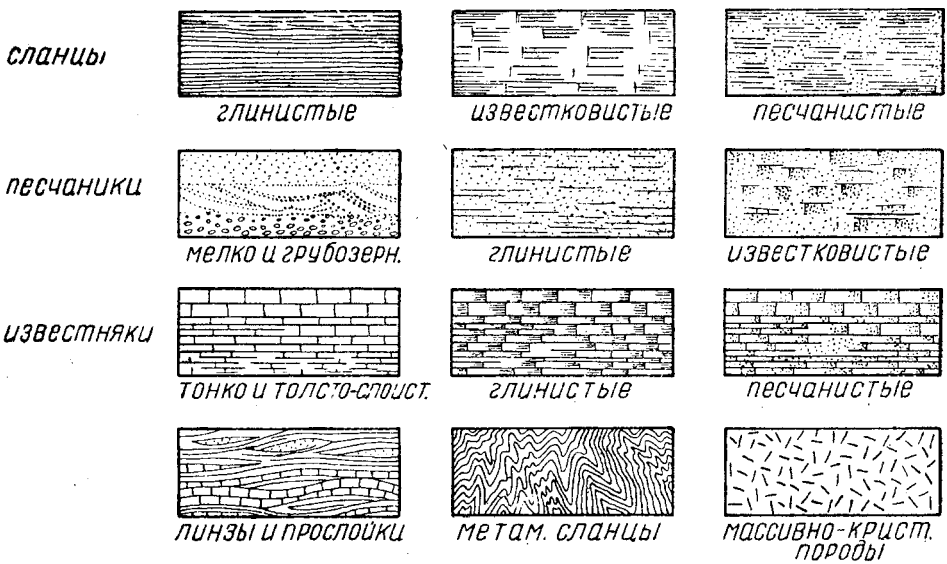


Рис. 137. Американская краткая литологическая легенда.

обнажениям, не представляется настолько важным, как при маршрутной работе; при детальной съемке описываемая площадь сравнительно мала, а потому однородна, и описание может охватывать весь район съемки; лишь такая съемка, как 10-верстная Русской платформы, которую можно, несмотря на ее масштаб, рассматривать как детальную, требует описания обнажений, ибо она захватывает громадную площадь 10-верстного листа, и описание редких обнажений имеет значение для местных жителей, которые на этих описаниях и знакомятся с геологическим строением;

б) при *маршрутно-площадных* съемках и в наибольшей мере при *маршрутных* работах описание материала необходимо, потому что чем меньше фактических данных для составления карты, разрезов и для выводов по стратиграфии, тектонике и т. п., тем больше произвола, и поэтому необходимо читателю знать, на каких данных построены выводы. Часто в маршрутных работах является ценным именно *фак-*

тический материал, потому что идеи меняются, а факты остаются, так что описание маршрутов и является результатом работы. Карта, закрашенная только по маршруту, дает мало, а если закрашена и между маршрутами, то вместе с разрезами она служит отображением того, как *толкует* данный автор собранные факты, и является подчас его личной точкой зрения, а потому может приближаться к истине в большей или меньшей степени, в зависимости от опыта, наблюдательности, талантливости и даже удачи автора.

В каждом отчете как предварительном, так и окончательном, содержатся те же главы, но в разной степени подробности (кроме описания фактического материала, которое в предварительном отчете выпускается); главы эти следующие:

1. *Литература* по району и история исследований. Первое необходимо, второе часто выпускается.

2. *Орографический* (и *гидрографический*) очерк, содержащий общее описание речных долин и хребтов. Эта глава теперь чаще всего превращается в *геоморфологический* очерк, т. е. рельеф описывается в связи с его происхождением или в зависимости его от геологического строения. Описывать или перечислять то, что видно и на топографической карте, лишнее.

3. *Описание обнажений* (или *описание маршрутов*) содержит фактический материал, приводимый только в полных отчетах. Описываться фактический материал должен не в том порядке, в котором он собирался (по дням, месяцам и даже годам), но в каком-нибудь географически определенном порядке, например по главным речным системам и их притокам и вверх по течению, хотя работа могла вестись и в обратном направлении. Иногда на карте проставляются и номера обнажений; в этом случае нужна новая их нумерация, в тексте указывается эта новая нумерация и в скобках — полевая.

В описании каждый горизонт осадочных образований сопровождается его знаком. Разрезы приводятся в нисходящем порядке, с указанием мощности и полных списков окаменелостей. Для кристаллических пород дается их краткая петрографическая характеристика, отношение к соседним породам и другие факты, которые можно было видеть на обнажениях.

При *однообразном* строении нет надобности описывать все обнажения, но *лишь характерные*. Лишь при бедности обнажениями принято описывать все, но и здесь можно соединить несколько тождественных под общим номером или давать характеристику для серии сходных обнажений. При детальных съемках (захватывающих малый район) и при хорошей обнаженности не только невозможно, но и нет надобности описывать все обнажения; описываются лишь типичные.

Всякого рода *искусственные обнажения* (канавы, выемки, скважины и т. п.) описываются так же, как и естественные. Материалом для этой главы служат полевая книжка и дневник.

4. *Стратиграфия*. Эта глава содержит обзор слагающих геологических образований, начиная с древнейших. Графической сводкой этой главы служит колонка. Описывается не только состав отложений, но также распространение их на площади исследования и изменения в горизонтальном направлении. Палеонтологическая характеристика дается списками фаун из разных обнажений.

Иногда сюда же входит и описание массивных пород и кристаллических сланцев, но чаще им посвящается особая глава.

5. *Изверженные породы* описываются или в возрастном порядке, или (что чаще) по петрографическим группам. Если изверженные

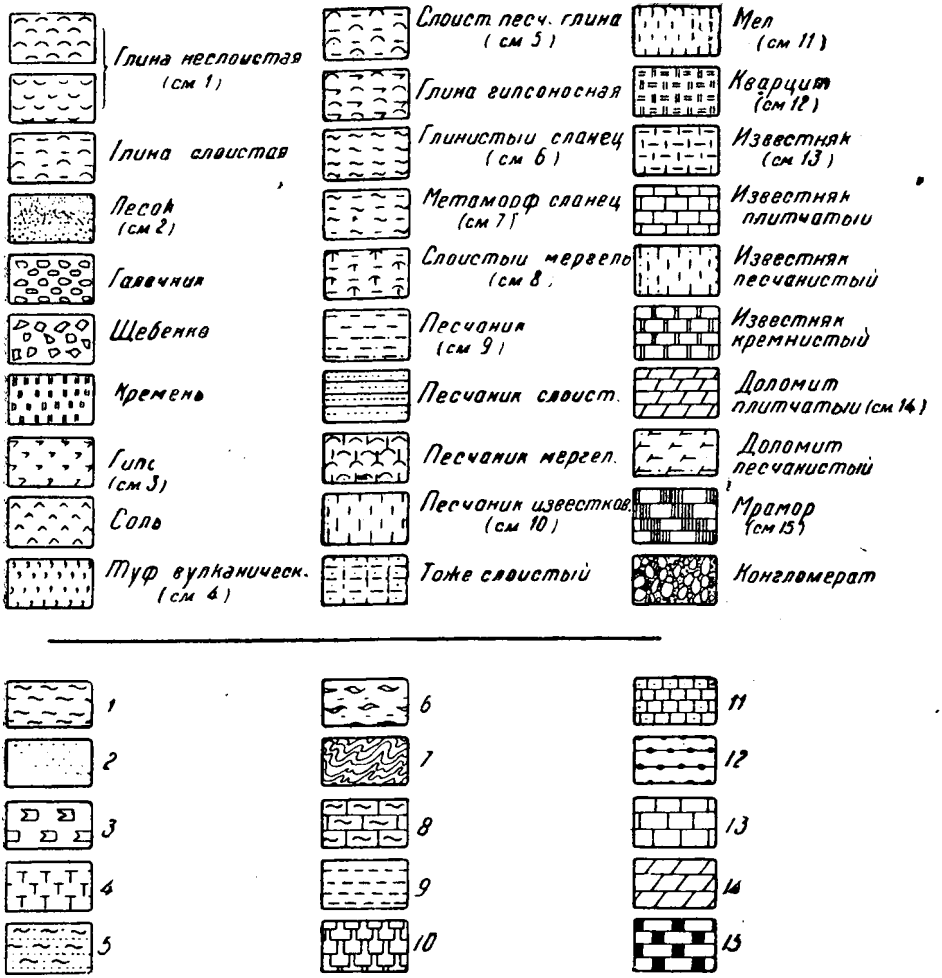


Рис. 138. Подробная литологическая легенда. Нижние 15 обозначений — запасные, их можно использовать исходя из местных условий.

породы обработаны монографически, то как же, как и для палеонтологических работ, им может быть посвящена особая статья, то иногда полное описание петрографических сборов входит в полный отчет.

Описываются породы не только с точки зрения их структуры, текстуры, но и взаимоотношений с другими породами, возраста и распространения на площади исследования.

Обычно дается история вулканической деятельности района.

6. *Тектоника.* В этой главе описываются тектонические формы и обыкновенно дается исторический очерк тектонических движений. Всякого рода схемы тектоники желательны, а для детальных карт с пластовыми полезными ископаемыми — и подземные рельефы.

Кроме этих специальных иллюстративных приложений, тектоника иллюстрируется (помимо карты) геологическими разрезами (рис. 135, 136).

7. *Полезные ископаемые* обычно описываются в конце, и не потому, что значение этой главы наименьшее, но потому, что часто описание полезных ископаемых основывается на общих геологических данных. При описании месторождений прилагаются специальные карточки и разрезы в крупном масштабе и схемы. Необходимы выводы о промышленном значении того или иного ископаемого, если оно вновь найдено.

8. Перечисленные главы являются обязательными, но к ним могут быть прибавлены и *дополнительные,* самого разнообразного содержания, как например:

а) *четвертичные отложения* вообще и с бо́льшей подробностью, чем это делается в главе о стратиграфии;

б) *древнее и современное оледенение* и ледниковые отложения отдельно от четвертичных отложений;

в) *гидрогеология* района.

Наконец, могут быть отдельно затронуты такие вопросы, как сейсмичность, пещеры и карстовые явления, оползни, выветривание, движение песков, грязевые сопки и т. п., если в районе накоплено достаточное количество интересного материала.

Много недоразумений возникает, если описание какого-либо одного направления железнодорожной линии служит при обсуждении другой, хотя бы и соседней.

Поэтому при геолого-технических описаниях лучше придерживаться разделения их на две части:

1) описание работ чисто геологическое, без отношения к проектируемым сооружениям, и

2) описание геолого-техническое с добавлением в заглавии, что оно выгодно лишь для такой-то линии, такого-то проекта.[1]

Центр тяжести описаний также перемещается в зависимости от главной цели исследования. Так, при проектировании туннелей и глубоких выемок бо́льшее внимание уделяется залеганию и составу коренных пород, а в долинных линиях — аллювия и осыпей склонов и т. п.

Геологическая характеристика района должна содержать помимо описания возраста и залегания пород преимущественно основные динамические признаки; например: линия от *А* до *Б* пройдет среди разрушенных, неспокойно складчатых слюдяных сланцев с кварцевыми прослоями; от *Б* до *В* среди плотных, вертикально стоящих кварцитов; от *В* до *Г* среди горизонтально лежащих глинистых мергелей и т. п.

---

[1] Бывает однако, что проектировщики забракованной геологом трассы, перенеся ее немного (например на другой берег реки), но оставив в тех же геологических условиях, настаивают на том, что это другой, новый, проект. Все это, конечно, лишь результат геологической неграмотности.

Особо тщательно должны отмечаться всякого рода нарушения (состояние сбросовых трещин), отдельности и т. п. и разъясняться вероятная роль и влияние этих факторов на проектируемое сооружение. Наиболее благоприятными, идеальными геологическими условиями для строителя были бы следующие: горизонтально лежащая, мало выветривающаяся свита пластов, не разбитая сбросами, большого однообразия и постоянства вглубь.

Инженерная часть работы

Точность и полнота геологических съемок в значительной мере зависят от масштаба и качества топографической основы; геологическая консультация должна предшествовать уже предварительной трассировке линии. С другой стороны, масштаб геологической карты определяет предел точности геологических данных и ограничивает их обычно более общими чертами; дальнейшая детализация, выяснение мельчайших, но иногда столь важных отдельных местных черточек и особенностей, — состояния пород, их трещиноватостей, мелких изменений залегания (не играющих никакой роли в общем плане тектоники, но первенствующих в практических вопросах), толщины наноса, водоносности, и пр., и пр., — все это должно наноситься уже на точные планы и разрезы при исполнении технических работ, т. е. самим инженером-строителем.

Последний, следовательно, неизбежно должен уметь производить эти мелкие наблюдения, так как при самом возведении сооружения мелкие факты появляются и исчезают ежедневно, и тут уже некогда звать и ждать геолога, чуждого к тому же ближайшим интересам самой постройки.

Перед началом технического исследования строитель должен подробно ознакомиться со всеми данными геологических исследований местности и оценить степень их технического значения. Геологические карты десятиверстного масштаба смотут удовлетворить лишь в редких случаях, и то опытного изыскателя. Важным дополнением к ним служат карты строительных материалов Европейской части СССР.

Весьма ценными явились бы также специальные физико-морфологические карты (по методу Пассарге), которые изображают величину и характер наносов, трещиноватость, крутизну склонов, характер эрозии, состояние выветривания и подземных вод, растительный покров, и особенно карты литологические, т. е. такие, которые изображают развитие пород не по хронологической их группировке, непосредственного ответа на технические вопросы не дающей, но по литологической (петрографической) (рис. 137 и 138); к сожалению, такого рода карты учреждениями, ведущими геологические съемки, до сих пор у нас почти не составлялись, и организаторам геолого-технических изысканий надлежит обратить на них особое внимание. В известной трудности и неумении техников пользоваться для своих целей обычными геологическими картами заключается большая доля того взаимного непонимания между ними и геологами, о котором уже неоднократно выше упоминалось.

Геологические карты «детальные» — двух-, одно- и полуверстного

масштаба дают уже достаточно основных данных для составления проекта. Например, по ним можно выбрать одну или две наиболее благоприятные долины, перевалы и т. п., но дальнейшие детали, т. е. преимущества одного бока долины перед другим и т. п., конечно, устанавливаются уже на месте.

В низменностях, волнистых, увалистых областях с мягким рельефом, как большая часть Европейской части СССР, карты в горизонталях (изогипсах) наилучшим образом передают рельеф. Но в горах с резкими формами, чередованием крутых стен с пологими подножьями (осыпей), резкими водными рытвинами, ровными речными террасами, вертикально обрывающимися на десятки метров, и т. п. существуют отчетливые морфологические границы (грани между плоскостями), которые должны быть особо схвачены и выражены топографом, а не растворены среди всей массы безразличных изогипс, представляющих собой не истинные, а воображаемые лишь линии. Особенно плохо обстоит дело, когда изогипсы проводятся не на месте, а в чертежной лишь на основании интерполяции, и подчас лицами, даже не видавшими данной местности и стремящимися лишь к условной чертежной красоте.

Из сказанного вытекает необходимость для изыскателя, часто организующего самостоятельные съемки, обратить внимание и на другую их сторону, ближайшим образом влияющую на качество геологической, а через нее и технической работы. Морфологически верная детальная карта должна выявить все отдельные элементы рельефа и его особенности, или через них должны быть протянуты ее изогипсы. Такая работа требует весьма подготовленного и развитого инженера (не рядового техника-съемщика), которому самому даже лучше ограничиться лишь руководством съемкой, не обслуживая лично инструмент, чтобы, не утомляя глаз, стать более восприимчивым к охватыванию морфологии местности. При такой работе реечники должны расставляться руководителем, а не предоставляться самим себе, исходя из нередкого убеждения, что «они сами лучше знают». О самом производстве шурфования, буровых и прочих чисто технических разведочных работах мы говорить не будем, поскольку они выходят за рамки геологии и излагаются в различных специальных руководствах. Приведем лишь небольшую справку о стоимости подобного рода геолого-технических изысканий, так как именно мнимая дороговизна их служит часто предлогом к отказу со стороны строительных организаций от этих изысканий до начала работ. На австрийских железных дорогах (в довоенное время) при постро̀ечной стоимости в 300 000 крон километра *расходы по геолого-техническим изысканиям* участка в 30 *км выражались:*

Геологическая работа	14 900 крон
Техническая работа	25 000 „
Итого около	40 000 крон

или на один километр пути — в 1333 кроны, т. е. *всего лишь в 0,4—0,5% построечной стоимости железной дороги.*

Некоторые примеры и выводы из практики нашего железнодорожного строительства, помимо изложенных уже во введении и в отделах

об оползнях, туннелях, ледниковых отложениях и водяных сооружениях, приведены в статьях: Каракаша, Дитмара, Иванова, Страуса, Богдановича (см. список литературы).

§ 45. Горные породы в качестве оснований искусственных сооружений

Из массы всевозможных случаев трассировки линий, в частности шоссейных, особое место занимают вопросы пересечения больших хребтов, особенно снежных, ледниковых, или испытавших древнее оледенение. Если не проектируется туннель, кардинальным вопросом является выбор и разработка наивыгоднейшего перевала, исходя из весьма разнообразных, часто противоречивых факторов, из которых главное значение имеют именно геологические. *Перевалы* в общем можно разбить на три группы:

1. Простейшие — седловины между вершинами двух сходящихся противоположных речек.

2. Седловины между вершиной одной реки и боком долины другой.

3. Боковой проход, соединяющий две соседние долины.

Во всех случаях весьма важно соблюдать следующие условия:

1. По возможности придерживаться солнечной стороны ущелья.

2. Тщательно сообразоваться с залеганием пород (пластованием и кливажем — в слоистых и плоскостями отдельностей — в массивных).

Так например, в моноклинальных долинах следует держаться того бока, в котором падение пластов в сторону горы, а не вниз по склону; необходимо предпочитать по той же причине долины антиклинальные синклинальным, а при горизонтальности залегания стараться выбрать на подходящей высоте наиболее прочный горизонт, иногда плотный пласт, карниз (например песчаника или известняка среди глин, сланцев, мергелей). Следует избегать перевалов, водораздельный гребень которых чисто орографический, а не тектонический, т. е. проходит не вдоль простирания пород, а вкрест его, особенно в песчано-сланцевых разрушенных свитах. Поучительным примером может служить весьма неудачный выбор Кугартского перевала при проведении колесной дороги из Ферганы в Нарынский край (в 1903 г.): именно вследствие указанной причины, а также проведения местами зигзагов дороги по осыпям и аллювиальным террасам, от этой важной дороги, поглотившей много средств, а еще больше дарового (солдатского) труда, через три года после постройки почти ничего не осталось в самых важных местах.

Относительно самого производства земляных работ с геологической точки зрения можно дать несколько следующих общих указаний:

1. Исходя из всего сказанного о перемещениях почвы, следует весьма осторожно подходить вообще к нарушению естественной поверхности, помня, что всякое изменение сложившихся условий может повести к таким процессам, остановить которые техник потом окажется не в состоянии. С этой стороны, *чем меньше земляных работ*, как выемок, так и тяжелых насыпей, *тем лучше*. Бока выемок при прочих равных условиях находятся в худшем, в смысле оползания, положении, чем насыпей.

2. С точки зрения экономии стараться выбирать при всех прочих равных условиях более легко обрабатываемые горизонты в свитах пород.

3. Опасаться выемок в глинах и рухляках, так как при увлажнении они быстро обрушаются, заполняются водой (не только атмосферной, но и конденсационной) и заплывают (лучатся) кубический метр глинистого грунта поглощает до 350 *л* воды). Поэтому вообще место для выемок лучше выбирать в мокрое время года. Выходом из положения часто является нахождение влагоемкого горизонта, в который можно спускать избыток воды.

4. Выемки в мергелях почти одинаковы по устойчивости с известняковыми, хотя нередко мергели при выветривании утрачивают содержание извести, а вместе с тем и устойчивость, сравниваясь уже с глинистыми грунтами.

5. Мелкозернистые пески, как уже упоминалось, опасны своей высокой влагоемкостью, превращающей их часто в плывуны.

Инженер, проектирующий и выполняющий строительные работы, должен знать, с какими породами он имеет дело (технические свойства пород и их залегание); выбрать строительный метод; определить трассы путей сообщения, стоимость постройки и эксплоатации и ряд других важных данных. Поэтому на исследование строительной подпочвы надлежит обращать самое серьезное внимание. Методы, обеспечивающие успех таких исследований, как мы видели, основаны исключительно на геологическом подходе. Искусство геолога судить по наблюдениям над поверхностью земли о свойствах и строении ее недр существенно поддерживается указаниями, даваемыми формами и очертанием местности, т. е. геоморфологией (см. § 42); бесконечное многообразие наблюдаемых больших и малых форм рельефа земной поверхности зависит от геологических сил и тех материалов, из которых они созидаются; опытный наблюдатель вполне в состоянии вынести по внешним очертаниям заключение о действовавших здесь процессах. Многие формы рельефа представляются нам как бы в виде готового, законченного образования; во всяком случае они не претерпевают у нас на глазах и в течение тех небольших промежутков времени, с которыми мы, люди, привыкли считаться, существенных, заметных изменений; для нас они представляют как бы «мертвые» формы, хотя по геологическому масштабу они «живут». Для инженера эти мертвые формы представляют ту строительную подпочву, которой ему в общем можно доверяться, хотя тоже до известной степени. Но мертвые формы рельефа внезапно могут ожить, если человек слишком смело нарушит их равновесие. Оживание форм земной поверхности вызывает для техника ряд внезапных затруднений и осложнений и часто существенно повышает стоимость сооружений, обусловливая крупные перерасходы. Такие формы рельефа, как находящиеся в стадии образования конусные наносы, оползающие склоны, инженер должен по возможности обходить и избегать, вступая в борьбу с ними лишь, если совершенно убежден в том, что может выйти из нее победителем, затратив при этом лишь столько средств, сколько оправдается приносимой этой победой пользой.

В § 44 мы видели, что для исследования подпочвы отправными точками являются всякого рода естественные и искусственные

обнажения, часто покрытые наносами и требующие расчистки; при этом не должно впадать в часто наблюдаемую ошибку — судить о свойствах грунта только по данным небольшого, предназначенного для самого сооружения участка. Только подробное геологически-морфологическое исследование более обширной области подведет под дальнейшую работу тот прочный фундамент, на котором могут быть сделаны все дальнейшие заключения о строении и происхождении форм рельефа местности, наличии воды в земной коре, технических свойствах задетых сооружением пород и т. д. В качестве дополнения к добытым таким образом данным в большинстве случаев придется закладывать необходимые разведочные шурфы. Последние в более простых случаях могут состоять в прорытии открытых пробных выемок или рвов в более круто падающих склонах или рытье пробных ям

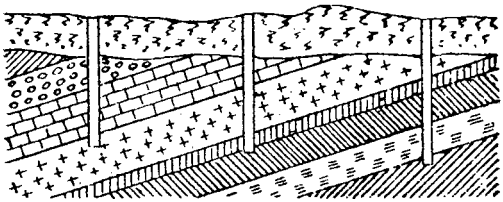


Рис. 139. Разведка шурфами в равнине.

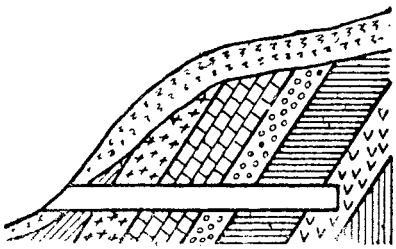


Рис. 140. Разведка штольней косогора.

в более пологих склонах или на ровных местностях (рис. 139). В более сложных случаях придется взяться за проведение разведочной штольни (рис. 140) или за закладку пробной буровой скважины. Во всех подобных случаях применимость и достоверность полученных данных и стоимость разведки зависят от правильного выбора ее места; опытный исследователь без больших расходов средств, времени и работы добудет необходимые данные для определения геологических условий, которые малоопытному или начинающему исследователю не удастся собрать, несмотря на большой расход средств и производство многочисленных разведочных работ. Поэтому для руководства и организации таких планомерных разведочных работ рекомендуется привлекать инженеров-геологов. Самое наблюдение, запись результатов, составление планов и разработка полученных данных также не должны поручаться неспециалистам и малоопытным лицам даже и в тех случаях, если речь идет о небольших, кажущихся незначительными работах.

ЗАЛЕГАНИЕ КОРЕННЫХ ПОРОД

К важнейшим задачам исследования строительного грунта принадлежит определение глубины залегания коренных пород. Оно часто решает судьбу того или иного проекта. Большие глыбы коренных пород часто могут вызвать обманчивое представление о наличии самого скалистого материнского массива. Там, где движение масс по плоско-

сти напластования происходило медленно, разрыхление движущихся скалистых массивов часто было сравнительно незначительным и немного лишь нарушило условия залегания пород; там же, где скольжение происходило быстро, и обломки скатывались и обрушались, их отложения образуют беспорядочную массу с неправильно меняющимся простиранием у отдельных обломков и глыб породы. Места падения древних обвалов вообще требуют внимательнейшего исследования. Около них изменялось течение рек, старые изгибы русел за-

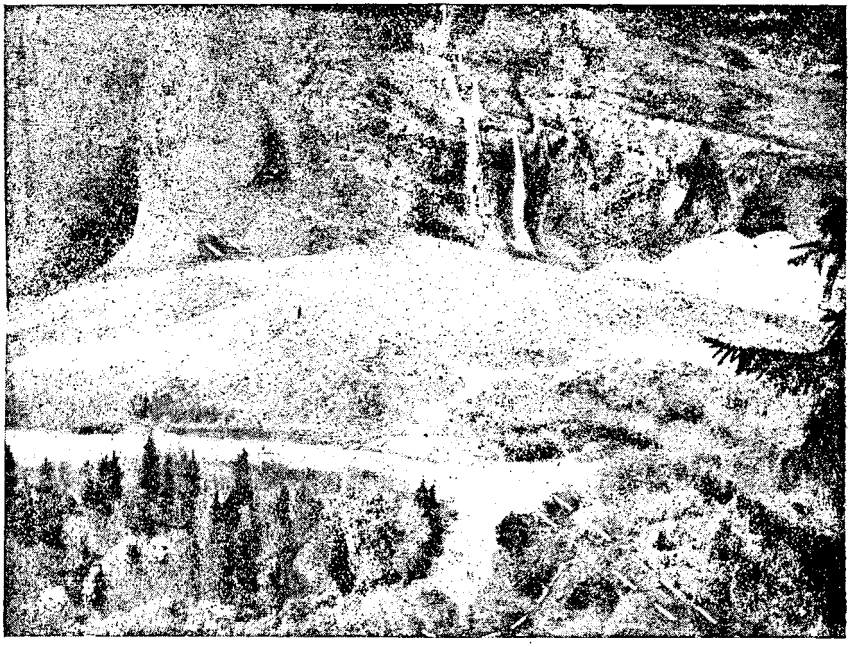


Рис. 141. Провал дна долины реки Кандер (пунктирный овал), которым был разрушен Лёчбергский туннель в 1908 г. (он показан двойной пунктирной линией). См. рис. 62.

сыпались конусными наносами, обвалами, горным щебнем и т. п.; беглое наблюдение может легко упустить из виду это обстоятельство, приведя к заключению, что весь участок сложен коренной породой и покрыт лишь с поверхности валунными и обломочными образованиями (рис. 104 и 106). Такие явления связаны с «чаложенными (эпигенетическими) долинами», которые не дают неопытному глазу никаких указаний на то, что невдалеке от них имеется более древняя совершенно засыпанная долина (см. рис. 105). Подобные древние долины, старые засыпанные места падения обвалов и замаскированные обломочные поля представляют при прокладке штолен значительные затруднения; если и не обязателен при этом прорыв разрушительного водного потока, какой имел место в Лёчбергском туннеле ниже Гастернбодена, то все же проходка таких масс горного щебня, маскирующих коренной рельеф, особенно в боках и ложе долин, сопряжена всегда с усиленным напором воды,

сильным давлением горных масс и рядом всяких неожиданностей (рис. 141).[1] Инженер, как общее правило, не может удовлетвориться только установлением факта, что в месте постройки есть коренные породы и что они находятся на технически доступной глубине, но должен также выявить свойства породы, являющейся основанием для возводимого им сооружения. Только здоровая, не разрыхленная и не выветрелая скала дает ему потребную гарантию для основания важного сооружения и позволяет при выемках и срезах оставлять соответствующей крутизны откосы. Даже гранит и кварцевый порфир теряют свою стойкость, если они разрыхлены горообразующими процессами или же значительно изменены силами глубинного метаморфизма. Ни в коем случае нельзя поддаваться обманчивому впечатлению, что перерождение породы ограничивается лишь самым поверхностным слоем ее, оставляя в более глубоких слоях здоровую породу.

Мощность покрова выветривания определяется как шурфованием (рис. 139 и 140) и бурением, так и опытным взглядом геолога и геоморфолога по изменениям лесной растительности: деревья обнаруживают меньший прирост в высоту, становятся короткоствольными и сухостойными; вершины их расширяются зонтикоподобно во все стороны и нуждаются в значительно бо́льшей площади для произрастания, чем в глубоких почвах, где деревья растут теснее, с острыми вершинами, длинноствольнее, с более толстыми и правильными ветвями; из числа деревьев сосна, как белая, так и черная, и береза наименее страшатся мелких почв, почему они и появляются на них в большом количестве, вытесняя более требовательные древесные породы. Что касается величины кусков щебня выветривания, то наиболее крупные, в виде «россыпей» (Сибирь, Урал), встречаются вопреки обычному расположению

---

[1] (По Евдокимову-Рокотовскому). Лёчбергский туннель расположен на линии Фрутиген — Бри. Длина главного туннеля первоначально предполагалась 13 735 *м*. Туннель залегает по преимуществу в известняках неокома, в гранитах и других скальных породах. Под туннелем массив горы достигает высоты от 400 до 1000 *м*. В лежащей на высоте долине Кастерн протекает р. Кандер.

24 июля 1908 г. произошло несчастье: в северной части туннеля произошел прорыв р. Кандер. На протяжении 150 *м* в течение каких-нибудь 10 минут туннель был заполнен жидкой грязью из песка, щебня и ила в количестве 7000 $м^3$. Затем хлынула в туннель вода. Направляющая галлерея в этом месте проходила в юрских известняках. Весьма характерно и поучительно то, что во время работы здесь на протяжении 170 *м* в забоях было встречено 6 ключей с расходом воды от 20 до 50 *л/сек*. Температура породы в забое постепенно уменьшалась: с 10,5° упала до 8,5° Ц и, наконец, дошла даже до 6,5° Ц. При прорыве реки в туннель часть рабочих спаслась, но 26 человек не успели убежать и погибли.

В сентябре 1908 г. были заложены две буровые скважины на глубину 2700 и 2870 *м*. По заключению экспертов причиной катастрофы является проникновение воды р. Кандер в аллювиальные наносы. Грунт был признан весьма слабым. Вести туннель в прежнем направлении признано недопустимым и рекомендовано отклониться с осью туннеля круто в сторону, чтобы миновать аллювиальные наносы и оставаться все время в скальном грунте. Для возможности производства работ в остальной части туннеля на удалении 1426—1436 *м* от портала была сделана перегородка-стена с семью отводными трубами для беспрепятственного пропуска вод. Кладка этой стены производилась беспрепятственно, между тем как все работы были приостановлены на 6 месяцев.

Наконец, 21 апреля 1909 г. была утверждена новая трасса туннеля от 1203 до 10 529 *м*. При этом готовый подошвенный ход частично был брошен. Полная длина туннеля получилась 14 605 *м*, т. е. на 870 *м* более, чем по первоначальному проекту, исключительно вследствие прорыва р. Кандер.

главным образом на хребтах и куполах, в то время как более мелкие частицы оказываются смытыми и отложенными у подножия склонов и на дне долин, давая существование лугам, любящим влажность и сырость.

СОПРОТИВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНОГО ГРУНТА НАГРУЗКЕ.[1]

«Описание пород или грунтов представляется технически удовлетворительным в том случае, если одноименность каких-нибудь двух пород определяет в то же время и их техническую равноценность. В современных методах описания необходимо отличать материалы сцементированные от несцементированных.

В отношении сцементированных материалов петрографический метод описания горных пород стоит довольно высоко. На основании результата оптического исследования горной породы, инженер может быть осведомлен относительно структуры последней, величины, формы и степени разложения ее отдельных минералов — компонентов. Петрографическая тождественность двух пород, правда, ни в коем случае не обусловливает их технической равноценности, но недостающие данные могут быть пополнены путем опытов. Во всяком случае, поскольку налицо имеется образец горной породы, геолог всегда имеет возможность дать инженеру довольно обстоятельное разъяснение относительно пригодности ее.

В противоположность этому обычный способ петрографического описания несцементированных, связанных или несвязанных сцеплением пород представляет едва ли большую ценность. Экспертизы грунтов, производившиеся как геологом, так и буровым мастером, неоднократно приводили к ошибкам, чреватым тяжелыми последствиями. Поэтому важнейшей и настоятельнейшей задачей технической геологии в настоящее время является выработка метода классификации несцементированных отложений, не зависящего от усмотрения наблюдателя и отвечающего потребностям технической практики. При современных условиях инженеры не в состоянии еще согласовывать результаты своего опыта с данными геолога и бурового мастера, вследствие чего эта область глубинного строительства является наиболее отсталой главой технической науки.

При изучении оснований под фундаменты сооружений необходимо уметь оценить наибольшее давление, какое фундамент может оказывать на грунт, не вызывая вредного для сооружения оседания (предельная допустимая нагрузка). Совершенно равномерное оседание безопасно. Однако, нельзя допустить совершенно равномерного оседания грунта, особенно при переменных нагрузках, которые иногда составляют значительную часть полной нагрузки (скопление в зданиях людей, товаров и т. д.). Поэтому наши усилия направлены к тому, чтобы удержать осадку сооружений в известных пределах, причем предполагают, что разница в осадке отдельных частей сооружения составляет более или менее определенную долю общего его оседания.

Чтобы оценить предполагаемую осадку запроектированного фундамента, нужно прежде всего уяснить себе, от каких факторов зависит

[1] По Терцаги.

величина осадки. Для более отчетливого уяснения себе этих факторов лучше всего начать с простейших случаев, имея в виду вполне однородный грунт и материал или совершенно лишенный сцепления, или же однородно связанный (чистый песок и пластичная глина).

Сопротивлением нагрузке строительного грунта обозначают предельную нагрузку, рассчитанную на единицу площади, которую грунт выдерживает без ущерба для прочности сооружения; определенная доля этой нагрузки, соответствующая обусловленной степени прочности, называется допустимой нагрузкой строительного основания. Грунты с недостаточным сопротивлением нагрузке должны быть укреплены соответствующим уплотнением; расширением площади фундамента постройки можно достигнуть уменьшения давления на грунт. Для более значительных и ответственных сооружений рекомендуется при отсутствии коренных пород производить всегда опытные нагрузки почвы.

Приводим выдержки из инструкции по проектированию сооружений, опубликованной в №№ 11—12 Горного журнала за 1928 год.

§ 1. До начала работ по постройке какого-либо здания или сооружения необходимо исследовать грунт на месте, предназначенном для постройки, путем бурения или шурфования. Исследованиями грунта должны быть выяснены:

а) физические и технические свойства грунтов на разных глубинах;

б) наличие и режим грунтовых вод и ключей;

в) глубина промерзания грунта, а в районах с вечной мерзлотой — глубина оттаивания грунта;

г) наличие природных или искусственных пещер, шахт, колодцев, воронок и пр.

§ 2. Грунт, намеченный в качестве основания под капитальные сооружения или здания специального назначения постоянного характера, например надшахтные здания, обогатительные фабрики, заводские корпуса и т. п., необходимо испытать в природных условиях для определения допускаемой нагрузки, величины осадки и времени, в течение которого происходит наблюдаемая осадка под давлением определенного груза.

Допускаемая нагрузка не должна превосходить половины предельной нагрузки, полученной при испытании и отвечающей заданной величине осадки.

§ 3. При определении давления на грунт для постройки зданий и сооружений, кроме указанного в § 2, надлежит руководствоваться следующими допускаемыми нагрузками на различные грунты.

Естественные	*кг/см²*
Мягкий не предохраненный от выпучивания грунт	0,35
Мягкий пропитанный водою грунт, предохраненный от выпучивания (глина мокрая)	0,50
Слабый глинистый грунт и мокрый песчаный	0,8 —1,0
Аллювий	1,0 —1,2
Мягкий мел	1,1 —1,6
Глина и мергель весьма влажные, песок, мощностью не менее 1 *м*, предохраненные от выпучивания	1,5
Песчаник, раскрашивающийся в руке	1,6 —1,9
Песчано-глинистый грунт	2,0 —3,0
Песчаный гравий в слоях малой мощности, а также глина и мергель сухие, предохраненные от выпучивания	2,5
Белый мел плотный	2,2 —3,3
Плотный гравий в значительных слоях и глина в лежащих слоях средней плотности	3,5
Весьма плотный грунт, глина плотно слежавшаяся, сухой крупнозернистый песок	4—5

Желтая глина, очень плотная, чистая, сухая	4,4 —6,5
Очень твердый и плотный песок, песок с гравием, сухие	6,5 —6,7
Массивные породы (граниты, сиениты, порфиры), сливные кварциты, кварцевые песчаники и т. п., части которых, разделенные начавшимся процессом выветривания, однако не перемещены друг относительно друга	6—8
Плотно слоистая галька	6,5 —8,7
Весьма плотная галька	7,6 —9,8
Очень твердая глина (сланцеватая)	7—12
Породы слоистые, носящие следы выветривания и геологических нарушений, или те же породы, но неплотного строения (неплотные песчаники, пористые, раковистые, плотные оолитовые известняки)	8—18
Породы слоистые, но ненарушенные геологически в такой мере, что эти нарушения могут сказаться на однородности сопротивления их, и осадочные породы вполне однородного сложения (глинистые сланцы, сланцеватые песчаники, плотные известняки и др.)	15 и выше
Горные породы с мелкозернистым кристаллическим сложением, невыветрившиеся, но нарушенные геологическими процессами (граниты, сиениты, порфиры, сливные кварциты, и т. п.), породы плотные, осадочные, мраморы, кремнистые известняки, менее окремненные песчаники	25—40
Невыветрившиеся и ненарушенные геологически горные породы с мелкозернистым и кристаллическим строением	40 и выше

§ 4. Глубина заложения фундамента в водопроницаемых грунтах под наружные стены при всех условиях должна быть больше глубины промерзания грунта в рассматриваемом районе.

То же относится к глубине заложения фундаментов под стойки (столбы), если они не окружены замкнутым контуром фундаментных стен.

§ 5. В районах с вечной мерзлотой глубина залегания фундамента должна быть больше глубины оттаивания грунта.

§ 6. При определении веса фундамента при подсчете нагрузок на грунт необходимо руководствоваться нижеследующими данными:

	*кг/м*³
Кирпичная кладка из прессованного кирпича	2300
То же, из обыкновенного кирпича	2000
То же, из алого кирпича с толстыми швами	1600
Бетон	2200
Железобетон	2400
Кладка из известняка	2400—2560
Бутовая кладка из плотного известняка	2240
То же, с недостаточной расщебенкой	2160
Кладка из гранита	2370
Кладка из песчаника	2000

§ 7. При возведении сооружений на насыпных грунтах, не слежавшихся, могущих обнаружить перемещение или изменение объемов под влиянием влаги, окислительных и других процессов, фундаменты, бетонные сваи, опускные колодцы устраивать либо под отдельными опорами, уширенными железобетонными подушками, либо сплошной железобетонной плитой под всем сооружением.

§ 8. Следует избегать возведения сооружений на отвалах из пород, склонных к самовозгоранию. В случае неизбежности таковой постройки, фундаменты под

нее необходимо возводить согласно § 7; кроме того, площадь вокруг сооружения необходимо на отвале спланировать не менее чем на 25 *м* наружного контура сооружений, покрыв ее водонепроницаемым слоем и оградив по всему контуру место постройки изолирующими подземными стенами на глубину ниже заложения фундамента сооружения. В качестве изолирующего материала можно применять утрамбованную глину толщиной не менее 0,5 *м*, бетонный шпунт и другие материалы, нестораемые и неразрушаемые газами и испарениями, образующимися в отвалах.

§ 9. Обнаруженные в грунте пустоты, каверны, старые шахты, штольни и пр. необходимо либо заполнить кладкой, бетоном и т. п., либо усиливать сводами и столбами.

Глубина промерзания грунта может быть определена: а) путем собирания сведений в местных строительных отделениях Управления губернских инженеров, б) пробным открытием грунта в конце зимы, в) зарыванием в грунт на различные глубины бутылок с водой.

§ 10. При возведении сооружений и зданий на соляных копях необходимо после тщательного изучения режима грунтовых вод окружить площадь постройки подземными сооружениями для отвода грунтовых вод.

В качестве материалов для подземных частей сооружений следует применять неразрушающиеся солями породы.

§ 11. При грунтах, склонных к впитыванию влаги и размоканию, необходимо принимать меры около зданий для отвода атмосферных вод, особенно следует предохранять такие сооружения как мойки, где вода, служащая для промывания продукции, может попадать под фундаменты, оказывая влияние на свойства оснований.

УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ ПЛАСТОВ

При всех сооружениях фундаментов и выемках необходимо обращать особое внимание на залегание пластов. Падение слоев внутрь горы увеличивает стойкость горных пород, а следовательно и оснований зданий, позволяет оставление крутых откосов, а также оставление менее значительной толщи нетронутой породы над сводом штолен. При наличии же падения пластов наружу, от центра горы, нужно быть чрезвычайно осторожным как при сооружении фундаментов высоких построек всякого рода, колонн, искусственных сооружений, при возведении подпорных стенок, так и при производстве выемок. Особое внимание надлежит также уделять загибу концов слоев на склонах; такие, перегнутые в сторону долины, крючкообразные концы слоев представляют очень непрочное основание для построек и должны срываться до глубины истинного залегания пород.

СТОЙКОСТЬ И ПОСЛЕДУЮЩАЯ ОБРУШИМОСТЬ

Стойкость породы представляет сопротивление, оказываемое породой никогда не переставшим действовать на нее силам выветривания и тяжести.

Противоположностью стойкости является последующая обрушимость, т. е. стремление породы осыпаться, обрушаться или отваливаться от толщи ее под влиянием выветривания (мороза, солнцепека) и силы тяжести. Обрушимость ощущается особенно болезненно в крутых выемках, у подножья крутых скал; она вынуждает прибегать здесь к дорого стоящему сооружению облицовочных и подпорных стен, защитных крыш (галлерей), ловильных стен и т. п. В штольнях и в других подземных выемках обрушимость угрожает здоровью и жизни рабочих, да и существованию самих сооружений; противодействуют ей

соответствующей одеждой и укреплением стен и сводов. В областях стока горных потоков и рек обрушимость является главной причиной накопления валунов в их руслах и окрестностях.

Большое влияние на стойкость пород имеет содержание в них влаги. Сухой песок не обнаруживает никакого сцепления и не держится даже на среднепологих склонах; будучи немного увлажненным, он обнаруживает все же некоторую связность, которой пользуются дети, играя с песком, становясь по достижении известной степени влажности вновь более подвижным (опасные в горном деле «плывуны»). Сухая глина проявляет сравнительно значительную стойкость; впитывание влаги постепенно уменьшает сцепление, сводя его в конечном итоге совершенно на-нет. По Аттербергу, предел устойчивости, за которым начинается течение, находится:

у суглинков	при 20,7 — 56% влажности		
Жирные глины . . .	становятся плывучими при насыщении влагой до	87% влажности	
Глины . средние .		69,2%	„
тощие . .		39,7%	„

Глины и суглинки расширяются, впитывая воду, и обнаруживают стремление сжать имеющиеся в них полости (шахты, штольни, выемки, ломки, туннели); на то, что не каждый случай сжатия пород основан на разбухании, указывалось выше. При очень сильном пропитывании влагой, предельное значение которого называется пределом текучести, глинистые породы обнаруживают текучее движение, т. е. переходят из твердого состояния в жидкое; в большинстве глин явление это наблюдается, если они, как выше указывалось, впитали 40—50% влаги. Подобные явления текучести наблюдаются в глинах всюду, где они промачиваются просачивающейся или поверхностной водой. Но движения мокрой породы наблюдаются часто еще задолго до достижения предела текучести при наличии обстоятельств, способствующих оползанию породы, как то: наклон пластов или крутизна склона. Имеющиеся данные дают право полагать, что явления подвижности тесно связаны с коллоидальными веществами (коллоидальная глина); где эти коллоиды выщелочены электролитами, как например в лёссе, или отсутствуют совершенно, как например в песчано-щебневых отложениях, там упомянутая подвижность не обнаруживается вовсе или же лишь в видоизмененных мало вредных формах. Выгодное выщелачивающее действие солей перестает проявляться, если некоторая степень их примеси превзойдена; в таком случае глина не становится рассыпчатой, и подвижность ее не исчезает; это обстоятельство может считаться причиной часто наблюдаемой склонности многих известковых глин и мергелей к оползанию и подобным им явлениям.

Лёсс обнаруживает значительную стойкость и начинает раскалываться и обваливаться лишь под влиянием продолжительных дождей и морозов.

Стойкость изверженных пород в общем значительна, но очень крупнозернистое строение, богатство слюдой, несвежесть главных составных частей и т. п., благоприятствуют образованию последующей обрушимости.

Из числа осадочных пород гипс, соль и соленосные глины, ангидрит и все рыхлые отложения, как то: песок, гравий, щебень и т. д.,

малостойки. При производстве выемок в щебневых образованиях всегда необходимо иметь в виду возможность нарушения равновесия, получающегося вследствие проявления противоположных усилий; здесь необходимо принимать контрмеры для предотвращения проявления спящих в рыхлой породе сил. Наиболее опасной глина является в качестве прослойки в песчаных и щебневых образованиях; поверхность ее обмыливается стекающей по ней водой и образует площадь скольжения, по которой налегающие пласты легко приходят в движение при малейшем нарушении равновесия выемками (выемки шоссейных и железных дорог) или внезапной нагрузкой (насыпи, сооружение всякого рода построек).

Стойкость обломочных пород обычно возрастает соразмерно прочности цемента их.

Стойкость кристаллических сланцев в общем, если не считать некоторых исключений (кварцитовые сланцы, гранитоподобные гнейсы, многие амфиболиты и т. п.), менее значительна, чем стойкость изверженных пород. Тонкосланцеватое сложение, обильное содержание слюды и крутое падение пластов часто понижают ее в значительной мере.

Ослабляющим образом на стойкость всех пород действуют все те явления, которые могут рассматриваться как результат проявления горообразующих сил, как то: складчатость сильное сплющивание или смятие, раздробление, вытягивание, разрыхление пород и т. п.

Приведем более подробные соображения о типах грунтов из работ Терцаги, являющихся основными в этой области.

«С физической точки зрения исследование ограниченного числа буровых проб может дать только часть данных, необходимых для оценки строительного грунта. Чтобы правильно оценить устойчивость, проницаемость и вероятную сжимаемость грунта, нужно прежде всего верно понять общий геологический характер района; результаты, полученные в лаборатории, являются только средством для цели, но, во всяком случае, очень важным средством.

Общий геологический характер строительного грунта есть результат его геологической истории. Поэтому в местностях с похожей геологической историей следовало бы ожидать и сходных условий для земляных работ при закладке фундаментов. Это в действительности и имеет место. Так например, существует тесное сродство между соотношениями, которые встретились при закладке фундаментов для мостовых устоев на р. Гудзон и на северном побережьи Бретани, в Золотом Роге залива С.-Франциско или в узких морских проливах в Австралии. Во всех этих случаях мы имеем дело с ландшафтами хорошо выраженных долин, которые в последний период своей истории опустились под уровень моря и были перекрыты глубинным мягким илом. Величина зерен этих недавних отложений, вообще говоря, убывает сверху вниз. Некоторые строительные затруднения, возникшие при закладке фундаментов мостовых устоев в наносах некоторых областей восточного Китая, напоминают похожие явления в Вентерской низменности (болотный лёсс). Затруднения, связанные с устройством водохранилищ в области известняков, повторяются с небольшими изменениями в самых разнообразных частях света: кроатский карст, Греция, северная Африка, Мексика, Виргиния, Вест-Индские острова. Как в Швейцарских Альпах, так и в С. Америке решалась задача закрытия прорывов (брешей) в конечной морене, чтобы запрудить находящиеся за моренами естественные озера. Способ уширения подошвы фундамента был разработан приблизительно одновременно, хотя и независимо, в области распространения ледниковых глин в Швейцарии и в Новой Англии.

При этих условиях является настоятельная необходимость пересмотреть строительные условия с точки зрения геологической и геоморфологической и таким путем вскрыть органические зависимости, которые оставались неизвестными при существующем до сих пор чисто техническом подходе. Такая сводка дала бы нам возможность более правильного проектирования и расчета строительных работ

в незастроенной местности, используя в этих целях после предварительных поисковых работ данные о работах в других частях света, происходивших в аналогичных геологических условиях.

Последовательное проведение указанной мысли привело бы к созданию региональной инженерной геологии.

При попытках сделать сводку из собранных в разных городах наблюдений над закладкой фундаментов бросается в глаза, насколько во всех городах много пробелов в знакомстве с оседаниями, происшедшими на застроенных площадях. В большинстве случаев архитекторы не заботятся о том, чтобы нанести на нижней части своих построек тщательно пронивеллированные опорные точки, а в тех случаях, когда из-за появившихся трещин и других повреждений в постройках приходилось производить наблюдения над оседанием, обычно не имеется данных относительно оседаний, происшедших до появления первых трещин. Про те здания, в которых нет трещин, просто говорят, что они не осели.

В качестве разительного примера размеров неравномерного оседания, которое при благоприятных обстоятельствах может выдержать постройка без образования трещин, приведем здание заведения Горной высшей школы в г. Мексике, у которого разность между оседанием середины и концов равняется почти 1 *м*. Абсолютная величина оседания неизвестна. Дом был построен 200 лет тому назад, грунт состоит из мелкозернистого вулканического пепла, отложившегося в морском бассейне.

Пока городские строительные управления не возьмут в свои руки наблюдения над оседаниями сооружений в интересах усовершенствования строительных законов, до тех пор нечего и думать о существенных улучшениях.

При сравнении строительных правил, действующих в разных городах, можно видеть, насколько эти предписания часто бывают произвольны. Они обязаны своим возникновением не основанной на цифровых данных и геологических фактах оценке соотношений, существующих между причиной и следствием, издержками и прибылью, как это логически можно было бы ожидать; они являются результатом местного исторического развития взглядов, подверженных влиянию различных мнений и течений.

Главы предписаний, относящихся к строительным группам, сплошь представляют собою попытку указать предписанный свыше путь для одной из важнейших основ проектирования, не давая себе перед тем труда проверить действие предложенных мероприятий при помощи наблюдений и измерений, с принятой для всех других отраслей техники тщательностью.

В этом отношении поучительно сравнение между Чикаго и Бостоном. Так как развитие Бостона началось с области распространения донной морены и твердых глин, то первые опыты закладки фундаментов, сделанные на твердой глине, с небольшими изменениями были перенесены в части города, подстилаемые мягкой глиной, и еще сейчас не пришли к признанию того, что в этих частях города приходится затрачивать на фундаменты немного больше капитала, чем в других частях, для того чтобы достигнуть удовлетворительных результатов. В Чикаго начали со слишком больших нагрузок на мягкой глине. Под впечатлением первых неудач впали в другую крайность, и например при определении допустимой нагрузки для покрытой глиной донной морены и для плотного песка заходят слишком далеко в отношении надежности. В Шанхае допустимая нагрузка сваи равняется около 50¼, а в Новом Орлеане только 30% предельной нагрузки. В Вене условия закладки фундаментов необычайно благоприятны. Если там в области распространения менее надежных слоев тем не менее встречаются неудачные фундаменты, то это происходит из-за непринятия в расчет того опыта, который накоплен в больших городах с очень плохими строительными грунтами.

Особенно интересны города, в которых целые городские районы целиком оседают вследствие застройки и, может быть, отчасти вследствие неполного затверделия более глубоких слоев грунта (Бостон, Чикаго, Шанхай). Чтобы успешно бороться в хозяйственном отношении с таким положением, требуется, во-первых, статистическая сводка всех оседаний, возникших в данной части города; далее, следовало бы выяснить зависимость между нагрузкой отдельных фундаментов и их оседанием и, наконец, выяснить для большего числа типичных единичных случаев зависимость между распределением нагрузок, свойствами строительного грунта, общим оседанием и разностями между отдельными оседаниями. Только на основании таких данных можно было бы решить, что более оправдывается с хозяйственной стороны, изменение ли конструкции фундамента, или же принятие в расчет неравномерного оседания при конструктивной разработке всего

здания. Иначе является опасность, что с данным явлением будут бороться неподходящими мероприятиями.

Если сделать разрез через выветрившийся грунт, то станет заметно, что последний состоит из нескольких различных по цвету и составу слоев, более или менее резко отделенных друг от друга.

В почвоведении эти слои называются *A*, *B* и *C*-горизонтами и характеризуются следующим образом:

A-горизонт. Верхний почвенный слой, который сильно выщелочен дождевыми водами (грунт выщелачивания). *B*-горизонт. Средний почвенный слой, в который отложилась часть вымытых из *A*-горизонта составных частей грунта (грунт обогащения). *C*-горизонт.

Материал, из которого произошли *B*- и *A*-горизонты. В большинстве случаев верхняя часть *C*-горизонта уже претерпела известную степень механического разрыхления и химического изменения.

Важные в техническом отношении свойства *A*- и *B*-горизонтов имеют значение главным образом в деле дорожного строительства. Нас здесь интересует преимущественно *C*-горизонт и находящаяся под ним невыветрившаяся горная порода.

В то время как общая мощность *A*- и *B*-горизонтов достигает самое большее 1,5—2 *м*, нижняя граница механического и химического изменения материнской горной породы может простираться до значительной глубины. Глубина ее залегания зависит не только от „экспозиции" и свойств породы, но также и от степени трещиноватости ее, и в зонах тектонических нарушений нередко простирается в глубину неравномерными отросткообразными участками.

В техническом отношении особое значение имеет порядок расположения отдельных зерен породы в *B*- и *C*-горизонтах, обстоятельство, которое до настоящего времени еще не было оценено по достоинству.

Дело в том, что устойчивость и внутреннее трение состоящего из отдельных зерен агрегата зависят не только от свойства этих зерен и объема пор, но в значительной степени также и от порядка их расположения. Зоны выветривания и нагромождения обломочного материала представляют собою форму залегания, коренным образом отличающуюся от того порядка расположения зерен, который мы получаем искусственно в лаборатории путем насыпания, утряски или утрамбовки их, и из которого мы исходим во всех наших представлениях об устойчивости и внутреннем трении».

ГЛАВНЫЕ ТИПЫ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ

Фундаменты постоянных высоких построек и мостов, как правило, всегда закладываются ниже границы промерзания грунта, или границы годичных колебаний температуры и влажности.

Чтобы в первую очередь получить грубое представление о свойствах грунта, вскрытого бурением, следует поступить следующим образом.

Берут часть извлеченной буром пробы и высушивают ее при комнатной температуре. После высушивания проба представляет собой или лишенный сцепления порошок, или более или менее твердое тело. В последнем случае высушенную пробу бросают в наполненный водой сосуд, дают ей насытиться водой до тех пор, пока она перестанет наглаз изменяться, и затем встряхивают ее вместе с водой. При встряхивании проба вполне или частично распадается на свои отдельные составные части, или же остается неизмененной. В последнем случае ее следует подвергнуть повторному высушиванию и пропитыванию водой. Во время последней операции проба или попрежнему остается неизмененной, или же разламывается на более мелкие куски. Наконец, пробу испытывают на открытом пламени.

Смотря по результатам этих испытаний, можно извлеченные бурением образцы грунта подразделить на семь главных групп (от a до g) (см. таблицу на стр. 328).

После высушивания	При встряхивании высушенной пробы с водой	После повторного высушивания и пропитывания водой	На открытом пламени	Обозначение группы
Образует связанную более или менее твердую массу	Без изменения	Сжимается и разбухает	Сгорает	a) Волокнистые органические массы
		Без изменения	Без изменения	b) Плотная устойчивая порода
		Распадается на мелкие куски	—	c) Крошащаяся порода
	Распадается лишь отчасти на более мелкие куски	—	—	d) Частично сцементированное скопление зерен
	Распадается вполне на отдельные зерна	—	Без изменения	e) Несцементированное скопление зерен, связанных сцеплением
		—	Сгорает вполне или отчасти	f) Аморфные органические массы
Состоит из отдельных зерен	—	—	—	g) Скопление зерен, не связанных сцеплением

Каждая из этих семи групп требует, с технико-геологической точки зрения, особого к себе отношения.

Группы a и *f* имеют значение только для заложения грунтовых дорог, железнодорожного полотна и легких наземных построек, а также для устройства каналов. Органические отложения со схожими геологическими свойствами, как правило, настолько сходны между собой и в отношении сжимаемости и сопротивления нагрузке, что для характеристики их с технико-геологической стороны достаточно бывает подробного геологического описания отложений, основанного на результатах бурения.

Группы b и *c*. Для суждения о природе основания группы b достаточно знания сопротивления давлению нетрещиноватых проб, а также характера трещиноватости и водопроводимости породы.

То же самое следует сказать о группе c, поскольку при возведении построек принимаются меры к тому, чтобы поверхность основания была защищена и оставалась защищенной от влияния агентов выветривания. В том случае, если породы групп b и c должны служить строительными материалами, более детальное петрографическое исследование их становится неизбежным.

Группа d. При «частично сцементированных породах» вопрос сводится к тому, имеем ли мы дело с породами, находящимися в состоянии прогрессирующего выветривания (разрушения), или с продуктами разрушения, находящимися в состоянии цементации. В первом случае физический и механический характер породы в высокой степени зависит от ее структуры, и поэтому здесь приходится неизбежно прибегать, наряду с исследованием самого вещества свеже взятой породы, также и к исследованию ее структуры, т. е. определению пористости породы по суммарному объему пустот и их отдельным размерам. Во втором случае частичная цементация может происходить вследствие или наличия в породе нерастворимого вяжущего вещества, или же процесса старения содержащихся в грунте коллоидов. Сообразно степени сцементированности породы, она с технико-геологической точки зрения может рассматриваться как разновидность, относящаяся к группам b и c, или же к одной из нижеследующих групп.

Группа e. Эта группа в технико-геологическом отношении представляет особую важность, так как подавляющее большинство затруднений, встречаемых при выполнении строительных работ (осадка, движение почвы и пр.) находится в связи с разновидностями грунтов этой группы. Буровой мастер среди пород этой группы различает глинистый песок, ил, суглинок и глину.

Чтобы отличить глинистый песок от ила, американские буровые мастера скатывают в руке колбасообразный цилиндр примерно в 2 *см* диаметром. Если выступающий из руки кончик колбасы отламывается под влиянием своего веса, то породу относят к глинистому песку.

Если же кончик гнется и вытягивается, то породу называют «илом». Глина отличается от ила главным образом большей пластичностью и более светлой окраской. «Ил», вследствие содержания органических примесей, большею частью отличается черноватой окраской, между тем как глина бывает синего, серого, желтого, красного или беловатого цветов.

Консистенция глины определяется словами «мягкая», «средняя»

или «твердая». Суглинок — это естественная смесь из песка и глины. Иногда выражение «суглинок» обозначает также наличие некоторого содержания извести. Наибольшее число ошибок, вытекающих из общепринятых методов оценки грунтовых пород, заключается в смешении глинистого песка с илом, в неправильном определении консистенции глин и в подведении под одну категорию глин с весьма различными степенями пластичности.

Имея в виду, что нередко бывает трудно отличить даже тонкие глинистые пески от ила или глины, следует признать дальнейшее подразделение грунтов этой группы по чисто внешним признакам на суглинок, супесок и т. д. имеющим мало практической ценности.

Вследствие отсутствия ясных признаков для различения этих особых разновидностей применение названий их вносит только путаницу в техническую литературу.

Каждое из обозначений, принятых для грунтов группы e, объемлет разновидности грунтов, представляющих в техническом отношении весьма различную ценность. Поэтому, для того чтобы придать бо́льшую точность толкованию результатов бурения, представляется неизбежным определять наиболее важные технические свойства относящихся к этой группе грунтов в цифровых показателях, получаемых на основании данных лабораторных испытаний.

Группа f. Рассматривать как группу a.

Группа g. Несвязанные сцеплением пески, гравий и щебень. Отдельные зерна различаются невооруженным глазом.

ВЫРАЖЕНИЕ СВОЙСТВ ГРУНТА ЦИФРОВЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

Попытка характеризовать цифрами несцементированные как связанные, так и не связанные сцеплением грунты уже более двадцати лет тому назад делалась многими исследователями различных стран и специальностей. Различные школы проявили в этом направлении довольно значительную независимость, и выбор цифровых показателей, при неполноте нашего знакомства в то время с физическим значением различных свойств грунта, зависел от личного усмотрения отдельных исследователей. По указанной причине в этой области господствует значительное смешение понятий.

Цифровые показатели для грунтов. Испытания, производившиеся в целях определения цифровых показателей, могут быть прежде всего подразделены на две главные группы: испытания, результаты которых дают прямое разъяснение свойств грунта, важных в техническом отношении (например сцепление, сжимаемость, проницаемость и т. д.), и такие испытания, результаты коих в лучшем случае имеют косвенную связь со строительно-техническим характером грунта (механический анализ, предельные нормы консистенции). В каждой из этих главных групп следует еще отличать испытания, результаты которых зависят только от петрографического характера грунта, от таких испытаний, результаты коих зависят не только от петрографического характера грунтового материала, но также и от состояния, в котором он находится в природе (например степень уплотнения, содержание воды и т. д.).

Если густая смесь из воды и разновидности связанного грунта путем постепенного высыхания переходит из текучей в более твердую форму консистенции, то физические свойства грунта меняются заметным на-глазок образом. Прежде всего грунт теряет способность течь под влиянием собственного веса, и становится возможно разминать его, но он прилипает при этом к шпателю, которым производится размешивание (липкость), при дальнейшем высыхании грунт утрачивает свою липкость, затем также и разминаемость и переходит в полутвердое состояние. Наконец, цвет грунта переходит из темного в светлый, и материал становится хрупким. До поворотного пункта процесс усыхания связан с уменьшением объема (усадка). Далее объем пробы становится неизменным, несмотря на то, что вес ее продолжает уменьшаться и дальше, вплоть до удаления содержащейся в порах воды, могущей испаряться при комнатной температуре. «Аттербергские пределы консистенции» дают в процентах от сухого веса те содержания воды, при которых в грунте наблюдаются границы отдельных переходов его из одной консистенции в другую, иными словами, те водосодержания, при которых в процессе высыхания грунта его физические свойства меняются видимыми скачками.

Аттерберг определяет пределы консистенции следующим образом.

Верхний предел текучести. На горизонтальной поверхности кашицеобразного грунта округленным кольцом стеклянной палочки проводится бороздка. В фазе «верхний предел» эта бороздка в течение полминуты должна почти исчезнуть.

Нижний предел текучести (верхний предел пластичной консистенции). В фарфоровой чашке приготовляется коровай из грунта примерно 4 *см* диаметром и 1 *см* толщиной и разделяется бороздкой на две половины, нижние края которых едва соприкасаются между собой. В фазе «нижний предел текучести» обе половинки должны при повторном встряхивании слиться между собой по линии раздела на высоту до 1 *мм*.

Предел липкости. Водосодержание, при котором еще оказывается возможным освобождать поверхность никкелевого шпателя от приставших к нему частиц грунта, путем обтирания его о гладкую поверхность изготовленного из грунта коровая.

Предел пластичности (нижний предел пластичной консистенции). Грунтовая проба раскатывается между листом бумаги и ладонью в проволоку диаметром примерно 4 *мм*, проволока перегибается, снова раскатывается и т. д. Граница пластичности дает водосодержание, при котором проба при этом раскатывании разламывается на более мелкие куски.

Предел усадки (нижний предел полутвердой консистенции). Водосодержание, ниже которого проба сохраняет свой объем, несмотря на продолжающееся высыхание. Предел усадки примерно соответствует водосодержанию, при котором меняется окраска.

Физическое значение пределов консистенции можно уяснить себе приблизительно следующим образом.

Верхний предел текучести, повидимому, соответствует примерно тому максимальному количеству воды, которое может удерживаться тонким слоем грунта без того, чтобы последний давал с течением времени осадку под влиянием собственного веса.

При этом пределе сложение связанного грунта соответствует примерно сложению чистого, не связанного сцеплением песка в его наиболее рыхлом состоянии. Величина предела явно зависит от крупности зерна, формы его и степени слипания частиц грунта между собой.

Нижний предел текучести соответствует примерно тому наиболее плотному сложению песка, которое может быть ему придано простой утряской, без оказания на него статического давления.

Физическое значение предела липкости пока еще не выяснено.

Наличие предела пластичности определяется способностью грунта разминаться, а эта последняя, другими словами, способность грунта выкатываться в проволоку, по Аттербергу, проявляется лишь в том случае, если в грунте имеются чешуеобразные составные части. Показатель пластичности (разница между нижним пределом текучести и пределом пластичности) для микроскопических и субмикроскопических песков, совершенно лишенных слюды, равен нулю, другими словами, свойство пластичности связано с наличием в грунте чешуеобразных составных частей. При равномерной крупности зерна показатель пластичности вообще увеличивается с увеличением содержания в грунте чешуеобразных составных частей. При одинаковом процентном содержании чешуеобразных частиц показатель пластичности возрастает с уменьшением крупного зерна.

Предел усадки представляет собой меру того максимального уплотнения, которое грунт может испытывать под влиянием капиллярного давления (влияние поверхностного натяжения воды).

КЛАССИФИКАЦИЯ НЕСЦЕМЕНТИРОВАННЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ГРУНТА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

Практически приемлемое описание грунтов по необходимости должно обнимать две группы данных: а) данные, при помощи которых определенно устанавливается разновидность грунта и его физический характер, и б) данные, выясняющие нам состояние грунта в той части его, которая служит основанием для сооружения.

Классификация грунтов имеет исключительной целью выявление данных группы «а». Так как устойчивость и сопротивление грунта нагрузке при равной относительной плотности главным образом зависят от свойств, обусловливающих его прочность, и от его проницаемости, то представляется естественным основать систему классификации грунтов на показателях прочности и индексе проницаемости.

К сожалению, испытание, имеющее целью отнесение грунта к тому или иному классу, занимает очень много времени. Поэтому в настоящее время стремятся собрать те эмпирические данные, которые необходимы для того, чтобы произвести распределение по классам косвенным путем на основании результатов более простых испытаний грунта.

При классификации грунтов для целей дорожного строительства, когда из года в год приходится иметь дело с обработкой большого числа грунтовых проб, можно в настоящее время рекомендовать основывать классификацию исключительно на результатах простых испытаний. По предложению Терцаги U. S. Bureau of Public Roads ввело нижеследующую систему, основанную на Аттербергских пределах консистенции (см. табл. «Группы грунтов»).

Группы грунтов

Группа	Обозначения	Предел текучести (в процентах от сухого веса)
0	$10-10{,}2^{1}/_{2}$	10,0— 14,2
I	$10{,}2^{1}/_{2}-10{,}2^{1}$	14,2— 20,0
II	$10{,}2^{1}-10{,}2^{1}/_{2}$	20,0— 28,4
III	$10{,}2^{3}/_{2}-10{,}2^{2}$	28,4— 40,0
IV	$10{,}2^{2}-10{,}2^{5}/_{2}$	40,0— 56,8
V	$10{,}2^{5}/_{2}-10{,}2^{3}$	56,8— 80,0
VI	$10{,}2^{3}-10{,}2^{7}/_{2}$	80,0—113,6

Классы грунтов

Обозначения классов	Показатель пластичности (в процентах от сухого веса)
0	0
1	0—7
2	7—14
3	14—21
.	.
.	.
.	.

В пределах каждой из этих групп различают несколько классов, в зависимости от значения показателя пластичности (см. табл. «Классы грунтов»). Кроме того, Бюро определяет для каждой грунтовой пробы предел усадки и показатель размокания, так как опыт показал, что оба эти значения для грунтов, относящихся к одним и тем же группе и классу, могут быть весьма различны.

Для целей классификации Аттербергскими показателями в настоящее время пользуются также и в некоторых государствах Северной Европы.

Финляндская геотехническая комиссия (Б. Фростерус), в зависимости от значения показателя пластичности, различает следующие типы грунтов:

Тощие глины—показатель пластичности	от	6	до 11
Полужирные глины „ „	„	16	„ 19
Жирные глины „ „	„	20	„ 26
Особенно жирные „ „	„	27	„ 37

Шведская Геотехническая комиссия различает грунты главным образом по нормальному водосодержанию, но при этом случае определяет также и Аттербергские пределы консистенции.

Норвежская Геотехническая комиссия в основу классификации норвежских глин приняла разницу между верхним пределом насыщения глины водой и содержанием воды в глине нормальной консистенции. Разница между содержаниями воды в обоих указанных случаях принимается за показатель пластичности. Смотря по значению показателя пластичности, Комиссия различает:

Особенно жирные глины — показатель пластичности			>35
Жирные глины	„	„	30—35
Среднежирные глины	„	„	20—29
Тощие глины	„	„	10—19
Особенно тощие глины	„	„	5—9
Песчанистые глины	„	„	<5

Недостаток единства в приемах классификации доказывает то, что эта область знания находится еще в начальной стадии развития. В некоторых только что приведенных системах классификации проявляется стремление определять разновидности глин лишь одним показателем, например показателем пластичности. Для классификации

глин сходного геологического происхождения это можно признать допустимым. Но для того чтобы объединить в одну систему разновидности несцементированных, связанных и не связанных сцеплением грунтов целого контингента, необходимо прибегнуть к нескольким показателям, так как опыт показывает, что два грунта могут быть весьма различны даже и в том случае, если они имеют один общий, одинаковый для обоих показатель, например показатель пластичности или нормальное водосодержание».

§ 46. Дорожное и железнодорожное строительство

При сооружении путей сообщения особенно ощущается нужда в производстве подготовительных геологических работ. Узкая экономия средств менее всего допустима здесь, где недостаточное, беглое производство или даже полное отсутствие геологических исследований могут привести к ошибкам в прокладке трассы и в строительных методах. Предварительные геологические исследования (см. § 44) должны быть поэтому начаты ранее или одновременно с предварительными техническими изысканиями, имея целью сейчас же выяснить и обойти участки, могущие представить постройке существенные затруднения. Если совместной работой инженеров и геологов трасса установлена в общих чертах, тогда геологи и инженеры могут приступить к детальным изысканиям и окончательному определению трассы. Геологическая экспертиза предстоящей постройки какого-либо пути сообщения должна содержать в себе главным образом нижеследующие данные:

1. Геологическое строение более обширных окрестностей намечаемого пути сообщения в общих чертах.

2. Геологическое строение ближайших окрестностей участка постройки, с обращением особого внимания на тектонические линии нарушения и их влияние на технические свойства горных пород.

3. Описание рельефа местности и геологическое объяснение его образования; в частности должны быть выделены и описаны, основываясь на геологических условиях: возвышенные формы рельефа с их склонами, плоскогорьями, обрывами, остатками древних поверхностей и т. п., формы долин, присутствие древних сухих долин и занесенных древних долинных борозд, продольных и поперечных ступеней, ущелий и их коренного профиля, заполненных углублений, луговых склонов, появление наносных образований, как то: морен, обвалов, щебенных и конусных наносов и т. п.

4. Условия водоносности района, в частности распространение ключей вдоль подошвы склонов, присутствие разного рода сырых, мокрых и заболоченных мест, болот и торфяников.

5. Данные о стойкости горных пород вдоль предполагаемой трассы пути, наличие оползневых участков и т. д.

6. Угрожаемость проектированному пути со стороны геологических процессов, как то: каменные обвалы, муры, половодья, лавины, карстовые провалы и обрушения над выработанными пространствами и т. д.; землетрясения, продолжающиеся тектонические перемещения.

7. Растворимость и обрабатываемость горных пород, подлежащих разработке при постройке, а также их сопротивление нагрузке.

8. Добыча строительных каменных материалов, бетонного и строительного песка, щебня для балласта и т. д.

При сметных экспертизах большое значение для строителя пути имеет также сопоставление и сравнительная оценка нескольких вариантов трассы.

Стоимость проведения новых дорог и ремонта старых зависит, между прочим, от легкости, с какой можно иметь соответствующие материалы (§ 48), и прочности как насыпей, так и выемок, какие приходится прокладывать при постройке дорог. Но до сих пор не вошло в сознание инженеров, что эти условия зависят от геологического строения местности и что иногда только зная геологические условия можно решить, будет ли какая-нибудь дорога стоить дороже, чем другая. До сих пор часто повторяются случаи, что ищут материала за сотни *км* от строящейся дороги, когда их можно бы иметь на месте.

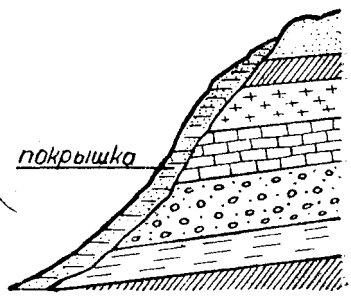


Рис. 142. Осыпь, скрывающая выходы коренных пород.

Обыкновенно при выборе направления дорог преимущество отдают тому, по которому меньше расстояние и меньше разница высот. Геологические условия часто могут показать, что вариант менее благоприятный в этих отношениях представляет крупные преимущества в отношении стоимости как постройки, так в особенности и эксплоатации. Ничтожные на первый взгляд обстоятельства могут сразу показать, что кратчайшее направление будет источником непрерывного ремонта и задержки движения. Такие местные условия имеют крупное значение в особенности при проведении мелких путей и шоссейных дорог для автотранспорта. СССР давно уже ждет этих дорог, а сотням инженеров придется применять свои познания не на грандиозных сооружениях, а на скромной, но не менее жизненной работе проведения дорог — главных нервов современной промышленности, индустриализации страны и развития сельского хозяйства.

Когда приходится проводить выемки в осадочных породах, всегда нужно помнить, что можно пересечь путь подземных вод и обнаружить источники, которые будут причиной постоянных затруднений для новой дороги. Всякая выемка нарушает естественное равновесие горных масс (рис. 142 и 143), и прежде чем ее закладывать, необходимо оценить наличные условия равновесия и вероятность их нарушения; направление падения слоев, положение водоносных горизонтов, состояние горных пород, состояние растительного покрова — все это должно быть принято во внимание. Примеры оползней и обвалов, вызванных железнодорожными выемками, проведенными без внимания к этим условиям, представляет, например, Тимирязево-Нижегородская линия Московско-Казанской железной дороги около г. Горького,[1] а частью к этой же категории неудачных железнодорожных работ нужно отнести

[1] *Н. А. Богословский.* Геол. набл. вдоль ж.-д. линии Н. Новгород — Тимирязево. Изв. Геол. ком. 1900, т. XIX, № 7. А. В. Павлов. Зап. о геолог. иссл., произв. по поручению Управления по постройке Тимирязево-Нижегородской линии. Москва. 1903.

положение пристанской ветви Московско-Казанской железной дороги в городе Ульяновске.[1] При устройстве насыпей, например при пересечении речных долин, следует обращать внимание, чтобы не закрыть насыпью выхода источников и этим не создать постоянной причины разбухания насыпи; подобный случай имел место на Владикавказской железной дороге при переходе насыпью долины р. Кубани, около ст. Невинномысской. Если пересечь неосторожно выемкой прочный пласт, то придется остановиться на глинистых слоях, требующих для прочности пути, например шоссе, больших затрат.

Когда необходимо обогнуть дорогой отдельную возвышенность, что случается часто в холмистой или горной стране, например в Закав-

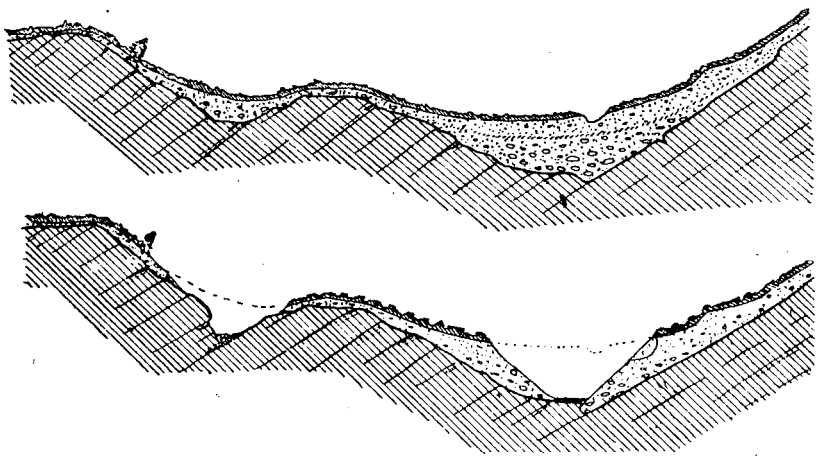


Рис. 143. Первоначально находившиеся в равновесии массы щебня (вверху) после вскрытия их выемками приходят в движение—сползают (нижний рисунок).

казьи, следует обратить внимание на падение слоев сланцеватости и отдельности, чтобы выбрать направление обхода с той стороны, где слои или сланцеватость будут падать в сторону холма, а не от него. А в зависимости от характера выветривания, осыпей и выхода источников часто выгоднее сразу поднять шоссе значительно выше через холмы, чем огибать им косогоры на склоне речной долины; подобный случай был, например, между городами Ахалцыхом и Абастуманом. При выборе направления шоссе по речной долине не следует ради избежания лишнего моста или выбора его места держаться исключительно одной стороны долины; необходимо оценить характер склонов, строение их, характер выносов из боковых лощин (бурные потоки), словом, не только одно количество земляных и каменных работ, но также и условия будущего режима дороги.

О значении качества горных пород и их отношения к деятельности

[1] Проф. *А. П. Павлов.* Оползни Симбирского и Саратовского Поволжья. Москва. 1903. Также Изв. Геолог. ком. 1904, т. XXII, протоколы: отзыв комиссии, командированной Геолог. комит. для осмотра оползней под г. Симбирском; а также *Д. Л. Иванов.* Значение геолог. иссл. для устойчивости полотна Уссурийской жел. дороги. Изв. Общ. горн. инж. 1894.

подземной воды и к выветриванию при выборе направления пути было указано уже раньше.

Инженеру часто приходится бороться с явлениями выветривания, избегая по возможности выветрелые массы или применяя соответствующие строительные приемы (защиты, укрепления и т. п.). Бывают случаи, когда сама природа указывает инженеру наивыгоднейший способ работ. Так, в области лёссовых пород, дающих устойчивые вертикальные склоны с земляными пирамидами, выветривание может докончить работу техника; американские инженеры очень удачно воспользовались этим свойством лёссовых пород при устройстве многочисленных выемок на линии St. Louis and South-Eastern. Они делали крутые выемки в лёссе, предоставляя выветриванию докончить естественную разработку профиля — склона, крутого с пологим основанием, и принимая меры только для отвода медленно смываемого материала. Иногда техника бессильна в борьбе с выветриванием.[1]

Целый ряд грубых ошибок был сделан при постройке железных дорог в Германии, где, например, ст. Эльгельсбург на участке Пляуэ-Ильменау (в Саксен-Кобург-Гота) была построена на гипсовом штоке, что повлекло огромные затраты, а между тем в 80 *м* в стороне находятся крепкие доломитовые слои, на которых можно было строить без всякого опасения. На участке Цэлль—Шмалькальден (в Гессене) выемками прошли обрушающиеся слои, а мелкими туннелями крепкие породы, вместо того чтобы поступить наоборот, как и пришлось сделать впоследствии.

Подчеркнем еще раз, что *от инженера* требуются не столько разносторонние геологические познания, сколько *представление о том, что нужно наблюдать и как наблюдать*. Чтобы составить себе полную картину состояния тех твердых масс, около которых или на которых инженеру приходится возводить свое сооружение, необходимо, чтобы у инженеров вошло в привычку наблюдение природы, естественных условий почвы как до, так и во время возведения сооружений.

В целях экономии при сооружении путей сообщения нередко в выемках, срезах и насыпях применяются слишком крутые откосы. В выемках ни в коем случае не допустимо превышение естественного угла откоса.

Угол этот составляет для:

Песка рыхлого и сухого	30—33°
„ умеренно-сырого	34—37°
„ насыщенного водой	20—25°
„ смешанного с перегноем и глиноземом	38—40°
Суглинка сухого	40—45°
„ мокрого	18—25°
Глинистой почвы сухой	30—50°
„ „ мокрой	15—25°
Растительной земли сухой	35—40°
„ „ (свежей, естественно влажной)	39—44°
„ „ насыщенной влагой	27°
Гравия сухого	38—40°
„ мокрого	25°
„ очень крупного	30°
Щебня осыпей, угловатого	35—45°

[1] Так, до сих пор нет средств для предотвращения разрушения берегов острова Гельголанда.

Умеренное увлажнение увеличивает сцепление отдельных составных частей почвы и повышает естественную крутизну склона приблизительно на 4°. Если порода, образующая почву, вновь высыхает, угол уменьшается; более крутые склоны песка осыпаются или обваливаются; глина, поддающаяся в умеренно-влажном состоянии разработке отвесными стенами, при высыхании постепенно обрушается. В выемках в обычных условиях допускается полуторное заложение откоса; при влажных склонах последние надлежит осушать во время или еще лучше до начала выемки. Сухие твердые типы почв допускают оставление склонов выемок в пропорции 1 : 1, если только они быстро закрепляются насаждениями. Угол естественного откоса в коренных породах всецело зависит от стойкости породы и условий ее залегания. Пласты, падающие наружу, легко приходят в движение, если угол падения их превосходит в глинистых породах 20—25°, в неглинистых породах 35—40°, при условии, если плоскости наслоения ровны, сухи и ясно выражены. Неровные плоскости наслоения увеличивают, мокрые уменьшают стойкость пород. Всюду, где вследствие крутого падения пластов наружу можно ожидать оползней или обвалов, уместно сооружение подпорных стен. Если угол падения пластов допускает оставление открытых откосов, то последние не должны сооружаться слишком крутыми, не менее 1 : 1½, в особенности последнее важно в глинистых легко размягчаемых породах. В пластах, падающих внутрь горы, допускаются откосы в $^1/_5$, если только глубина выемки не слишком велика и порода обладает большой прочностью и стойкостью на выветривание. Если последнее свойство в породе отсутствует, необходимо прибегать к более пологим откосам; так например, надлежит в некоторых мергелях и песчаниках с глинистым связующим веществом применять откосы не круче 1 : 1, стремясь в то же время защитить обнажения породы немедленными насаждениями от влияний выветривания. Определение допустимой для данной породы крутизны откоса принадлежит к обязанностям инженера-геолога.

В насыпях крутизна в 1 : 1,5 нигде не должна превышаться за исключением насыпей из крупного утловатого стойкого на выветривание щебня. Там, где по техническим причинам необходимо сузить подошву насыпи, следует применять каменные фундаменты, подпорные стены и т. п. Высокие насыпи и бока глубоких выемок целесообразно увеличивать включением берм или террас в 1—1,5 *м* шириной, увеличивая таким образом их стойкость и удобство для сообщения по ним.

Заимствуем у В. Цыбульского краткую сводку различных условий возведения насыпей.

«На прочность насыпей могут оказывать влияние: 1) свойства пород, из которых они выполнены, 2) способ возведения их, несоответствующий свойствам и содержанию влаги в породах, 3) недостаточная устойчиость основания в отношении его осадки и скольжения, 4) наличие условий, при которых насыпь пропитывается водой.

1. Влияние свойств пород, из которых возведена насыпь, на их устойчивость

Для насыпей обычно применяются породы, залегающие на поверхности или в ближайших от нее горизонтах. Однако, не все из них являются одинаково пригодными для этой цели, так как одни обладают лучшими, другие худшими свойствами, а третьи оказываются совершенно непригодными.

Рассмотрение свойств этих пород и будет служить предметом дальнейшего изложения.

Насыпи из глин (содержание песка и иных примесей < 30%)

Глинистые грунты, в зависимости от их состава, а главным образом содержания в них воды, как уже указывалось раньше, отличаются удивительным разнообразием технических свойств. Глины без значительного содержания иловатых грунтов или гипсов и с небольшим содержанием влаги вообще могут считаться хорошим материалом для насыпей. Однако, надо иметь в виду, что в глинистых грунтах, особенно свеже насыпанных, передача давления происходит под углом, весьма близким к прямому; на некоторой глубине, вероятно около 4—6 *м*, линия давления постепенно уполаживается, и распределение давления в нижнем слое высоких насыпей происходит по изогнутой кривой.

С началом движения поездов внутренняя часть ядра подвергается еще большему уплотнению, вследствие подвижной нагрузки, и это явление происходит в ядре интенсивнее и в течение более короткого промежутка времени, чем в откосах, сказываясь в глинистых грунтах гораздо более резко, нежели в других. Кроме того, ядро насыпи не подвергается атмосферным влияниям, тогда как откосы насыпи вполне доступны агентам выветривания.

Таким образом глинистые насыпи, отсыпанные при нормальных условиях, имеют достаточно устойчивое ядро и мало устойчивые откосы, сплывы которых, однако, не представляют собой большой опасности для движения (кроме сплывов откосов насыпи, возведенной на косогорах).

Соответственно сказанному, должны приниматься меры для защиты насыпей путем обеспечения устойчивости откосов и отвода воды сверху полотна, чтобы при образовании балластных корыт вода не могла размачивать насыпи.

Если глины, идущие в насыпь, содержат известное количество извести с серным колчеданом (FeS_2), то под действием атмосферных агентов и воды происходит превращение железистых соединений в железный купорос $FeSO_4 + 7H_2O$, избыток же серы вместе с известью образует гипс ($CaSO_4 + 2H_2O$). Этот процесс влечет за собой увеличение объема и следовательно ослабление сцепления; в результате подверженные выветриванию части насыпи становятся особенно неустойчивыми и легко расползающимися при попадании в них воды.

В равной мере примесь гипса к глине, при наличии воды, меняет ее свойства, мешая связности, и насыпь, особенно в откосах, дает сильнейшие сплывы.

Если насыпь из глины расположена на косогоре, даже не слишком крутом, то, независимо от возможности скольжения по нему, осадка с обеих сторон происходит неравномерно, вследствие разницы высот и веса, и может повлечь за собой появление продольных трещин с подгорной стороны, по которым, конечно, воды будут проникать сильнее.

Этим обстоятельством в значительной мере объясняется, почему сплывы откосов насыпей из глины чаще всего имеют место с подгорной стороны и отчего в этом случае необходимо производить особо тщательный отвод атмосферных грунтовых вод.

Насыпи из суглинистых грунтов

Суглинком называют механическую смесь из глины и песка (последнего от 30 до 70%), к которой может быть примешано некоторое количество органических и минеральных веществ.

Так как суглинки по своему составу и содержанию воды весьма неодинаковы, то соответственно этому наблюдается разнообразие в их технических свойствах.

Общая черта суглинков заключается в том, что они, подобно глине, поглощают много воды, но слабее задерживают ее и далеко не столь водоупорны. Благодаря этому насыпи, возведенные из суглинка, более разнообразны в различных своих частях, чем глинистые. Если, следовательно, грунт, попавший в насыпь, не испорчен вредными примесями, достаточно сух и не мерзлый, то и устойчивость насыпи будет лучше обеспечена, чем у глинистой, но при суглинке, плохо держащем откосы, разрушение последних захватывает несравненно большую часть насыпи, чем при глине.

Наилучшими из суглинков должны считаться более тощие, особенно с примесью крупного песка (имеющие обычно светлокрасноватый цвет).

Насыпи из мергелистых грунтов

По характеру осадки мергелистый грунт с большим содержанием $CaCO_3$ весьма похож на каменную породу, т. е. дает значительную осадку, продолжающуюся долгое время, что объясняется большим количеством пустот между отдельными кусками породы. Ядро насыпи, сделанной из мергелистого грунта, считается вполне устойчивым, тогда как откосы легко подвергаются выветриванию и в дальнейшем осыпаются.

Под влиянием воздействия воды, попавшей в такую насыпь, мергель в кусках постепенно размачивается, а выветрелый в откосах склонен расплываться наподобие сильно глинистых грунтов.

Насыпи из иловатых глин и суглинков

Иловатые породы обладают способностью быстро впитывать воду и после этого расплываться, поэтому строительное искусство указывает на необходимость не применять их совершенно. При небольшом содержании иловатых частиц в породе, высоте насыпей не свыше 2 *м* и, наконец, отсутствии других пород такие глины и суглинки могут быть допущены.

Насыпи из растительных грунтов

К таковым относят: 1) чернозем, 2) дерновую землю и 3) торф.

Чернозем обычно идет лишь на покрытие откосов, но может также служить материалом и для малых насыпей. Для высоких насыпей, ввиду большой осадки, он непригоден. Этот грунт оказывается весьма подходящим для ремонта оплывших частей и для устройства откосов в глинистых и тому подобных насыпях, благодаря своей способности пропускать воду. В последнем случае он требует утрамбовки для устранения осадки и во избежание пропитывания водою; в случае постоянного смачивания насыпи водою чернозем оказывается непригодным, так как в конце концов превращается в грязь.

Дерновая земля. Глина, суглинок и супесь с примесью перегнивших растительных остатков весьма пригодны для подсыпки откосов как вновь устраиваемых, так и оплывших. Этот вид почв требует утрамбовки.

Торф. В зависимости от возраста торф обладает весьма неодинаковыми техническими свойствами, в том числе в очень большой степени уменьшается в объеме под влиянием сжатия. Поэтому осадка торфяных насыпей неизбежна. Указанное свойство делает его непригодным для крупных насыпей, но для малых торф (кроме молодого) считается очень хорошим материалом, его хорошие качества заключаются в том, что он не поддается действию воды и отлично держит откосы, требуя, однако, мер предосторожности в отношении огня (обсыпка песком или глиной). В случаях, когда торфяное болото образовалось из глубокого озера, и под торфяным слоем имеется еще вода, переход через такое болото насыпью из торфа не рекомендуется, ввиду возможности ее неожиданной просадки.

Насыпи из песчаных и супесчаных пород

Как известно, давление в песке передается под углом, близким к 45°, что имеет место и в насыпях, сделанных из этих пород. Чем больше содержание глинистых частиц, тем значительней уклонение ядра насыпи по сравнению с верхней его частью и откосами, однако, разница эта невелика, и насыпь в целом легко отдает попадающую туда воду, не образуя поверхностей скольжения.

В супесчаных насыпях имеет место следующее явление: при попадании в них атмосферных вод с полотна или грунтовых с основания, последние вытекают из них, захватывая с собой глинистые частицы и перенося их к краям насыпи. Мало-по-малу эти частицы забивают промежутки между отдельными песчинками и, не давая вытекать наружу собравшейся в ядре воде, образуют значительные скопления последней, которые, преодолев статическое сопротивление откосов, в конце концов прорвут их, разрушив этим самым всю насыпь.

Описанный процесс протекает медленно, а потому не происходит во время постройки насыпей, а только при последующей эксплоатации, вынуждая время

от времени проверять бурением их состояние, в целях своевременного предупреждения этого явления.

Крупнопесчаные грунты считаются для насыпей лучшим материалом, который, однако, не всегда имеется под руками для возведения сооружений этого типа.

Насыпи из выветрелых или выветривающихся твердых пород

Разбитые на куски твердые породы в смеси с выветрелыми их частями обычно находятся у подножия гор и встречаются в виде так называемых осыпей. Этот вид пород, примененный в качестве материала для насыпи, обычно дает вполне удовлетворительные результаты, так как продукты выветривания горных пород в виде глин заполняют промежуток между твердыми кусками, служа для них как бы цементом. Некоторые же разновидности твердых пород, в которых процесс выветривания продолжается в насыпи, при попадании туда воды могут образовать поверхности скольжения. К таким породам принадлежат некоторые сорта сильно выветрелого гранита, богатого полевыми шпатами, некоторые виды глинистых сланцев и мергелистых пород, склонных к легкому размоканию в присутствии воды, превращаясь в размоченные глинистые породы. Поэтому материал осыпей следует подвергать выморажиранию и пропитыванию водой, в целях определения, происходит ли в нем физическое или механическое разрушение, или он склонен размокать. В последнем случае сохранность насыпей обеспечивается защитой откосов покрытием на толщину промерзания хорошей землей и обычно уполаживанием откосов.

2. Влияние способа возведения насыпей из разнородных пород на их устойчивость

Выше были рассмотрены свойства наиболее часто встречающихся пород при возведении из них насыпей в том случае, если последние состоят только из одного какого-либо грунта.

Однако, в действительности могут быть случаи, когда по самым разнообразным причинам приходится пользоваться разнородными породами. В этом случае, как показал опыт, распределение пород и способ отсыпки далеко не безразличны для прочности, зависящей от возможности застоя воды внутри ее и образования плоскостей скольжения.

3. Недостаточная устойчивость насыпи вследствие осадки основания или скольжения по нему насыпи

Осадка оснований под насыпями

Легко сжимаемый грунт, на котором возведена высокая насыпь, может оказаться ненадежным основанием, вызывающим деформацию пути, что и подтверждается многочисленными примерами из практики железнодорожного строительства.

Указанное обстоятельство особенно приходится учитывать при проведении высоких насыпей по серо-синим влажным глинам, содержащим много иловатых частиц, лёссовым породам, являющимся тем более ненадежными, чем более они содержат влаги.

Особый характер носит осадка основания в некоторых типах болот. Все болота можно разделить на две группы, а именно: одна из них образуется путем застоя воды в пониженных местах, поймах рек и т. п., а другая — вследствие зарастания озер и тому подобных водоемов. В первой группе основание ничем не отличается от слабых грунтов, постепенно уплотняющихся книзу. Во второй же — типа торфяных болот — более или менее мощный покров торфа расположен на жидком или полужидком иле непосредственно или отделяется от него слоем воды. Под жидким илом залегает глей, ниже которого идет надежное основание в виде глин.

Если болото развилось из озера с песчаным дном, то под илом залегает песок, или грунт из гравия.

Мощность слоев торфа и ила весьма разнообразна: в старых болотах слой торфа значительно превышает илистый (6 *м* торфа и 1 *м* ила, 4 *м* торфа и 0,5 *м* ила, во вновь же заросших болотах слой торфа невелик, тогда как отложения ила мощны (1 *м* торфа и 8 *м* ила).

При проведении через такое болото насыпи осадка основания происходит очень своеобразно, а именно: до тех пор пока давление невелико, торф медленно сжимается, но когда под давлением нагрузки оно превзойдет известный предел, происходит разрыв торфяного пласта и быстрая просадка насыпи, сопровождаемая выпучиванием торфа с боков.

Этого явления не только не следует остерегаться, но надо всячески его ускорять, приняв лишь меры к тому, чтобы оно шло правильно и не вызывало катастрофических явлений.

Строительное искусство рекомендует, в целях ускорения осадки, снять слой торфа во всю ширину подошвы насыпи на глубину, допускаемую водой (обычно 0,6—0,9 *м*), или, что хуже, но дешевле, сделать ряд продольных и поперечных прорезов под будущей насыпью. После этого начинает подвозиться порода. Если слой торфа не толст, просадка происходит скоро; если же покров торфа мощен, то прорезы или срезка недостаточно ослабляют прочность торфяного слоя, и разрыв его может весьма долго не наступать. Поэтому в отдельных случаях строительной практики применяют искусственную нагрузку торфяного покрова подходящим грунтом.

Для устойчивости такой насыпи необходимо выдавить из-под нее слабый грунт. Обычно таковой выжимается довольно легко из-под середины насыпи, но под откосами, в силу меньшего давления, он задерживается. Выжимание его достигается путем отсыпки берм уже после возведения насыпи, причем они должны своим весом выжать ил, следовательно в этом случае может быть применен грунт невысоких качеств.

Из сказанного вытекает, что при подобных работах инженер должен предварительно иметь совершенно ясное представление, с чем ему придется иметь дело. С этой целью производится разведочное бурение вдоль предполагаемой трассы. После же возведения насыпи ему необходимо убедиться, не остался ли ил под краями последней, для чего производится проверочное бурение через тело насыпи.

Удаление ила и устройство берм особенно важно в том случае, если дно болота имеет поперечный скат.

Оползание насыпей по их основанию

Оползание насыпи наиболее часто может иметь место в случаях, если: а) основание насыпи имеет значительный поперечный скат; б) между насыпью и основанием образуется плоскость скольжения от последующего смачивания его водою; в) основание насыпи покрыто мокрыми иловатыми грунтами, способствующими сползанию по поперечному скату его.

Напитывание насыпей водой

Одним из опаснейших видов деформаций насыпей является напитывание их грунтовой водой в силу особенностей геологического строения местности и близости к поверхности подземных вод. В этом случае насыпи дают постепенную или быстро происходящую осадку, односторонние или двусторонние оплывины, а иногда расплываются совершенно. Столь серьезные нарушения железнодорожного полотна влекут за собой перерыв в движении, вынуждая еще при постройке дороги к тщательному геолого-техническому обследованию местности и принятию еще тогда соответствующих предупредительных мер. Наиболее обычные случаи насыщения насыпей водой и борьбы с этим показаны на рис. 144—147.

Условия равновесия выемок отличны от таковых для насыпей. Эти отличия заключаются в целом ряде условий, свойственных откосам насыпей и чуждых откосам выемок, и наоборот. Так например, на нагорный откос выемок оказывают огромное влияние грунтовые воды совместно со свойствами пород, из которых он сложен, тогда как на откосы насыпей эти же факторы действуют иначе; откосы насыпей состоят из рыхлого грунта, откосы же выемок из неразрыхленной и уплотненной породы; в выемках нет большой разницы между ее откосами и целиком, в то время как в насыпях между ядром и откосами она велика; отсыпка насыпей и их откосов производится человеческими руками,

причем породы, из которых они возводятся, распределяются так, как того требует строительное искусство; откосы же выемок производятся в плотно слежавшейся породе, расположенной так, как ее создала природа.



Рис. 144. Напитывание нижней части насыпи из водопроницаемой ее надстилки, могущей сползать благодаря своему положению на наклонной поверхности водоупорного пласта.

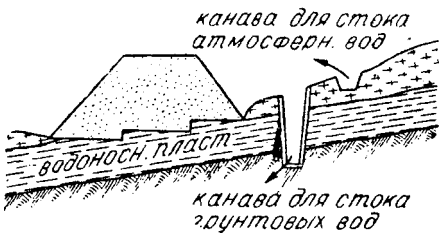


Рис. 145. Борьба с условиями, показанными на рис. 144.

Все это вместе взятое заставляет применять несколько иной подход к выемкам, с целью предохранения их от повреждений (рис. 148).

Причины, влияющие на устойчивость выемок: 1) возможные нарушения откосов выемок, пройденных в однородных породах, зависящие от свойств наибо-

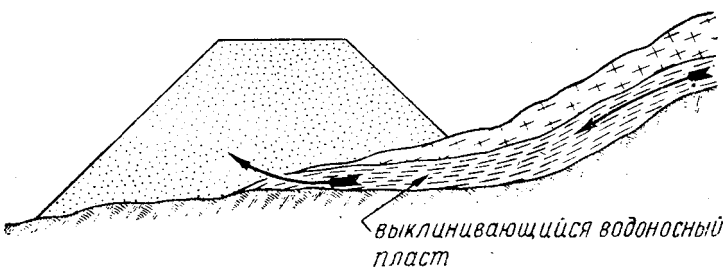


Рис. 146. Водоносный слой выклинивается под насыпью, напитывая ее весьма сильно и не обнаруживаясь по другую сторону.

лее часто встречающихся на поверхности пород; 2) нарушения откосов выемок в силу сочетания пород, обладающих теми или иными свойствами; 3) наруше-

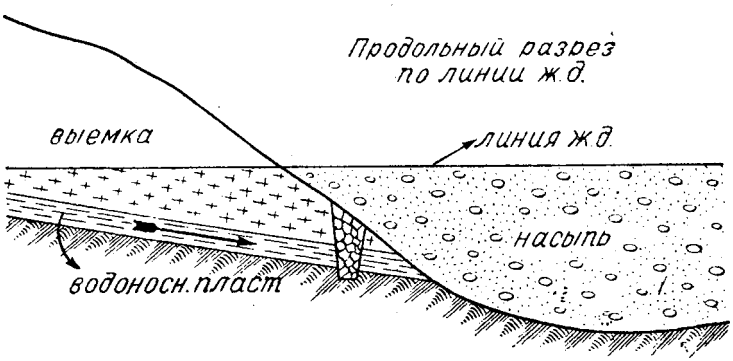


Рис. 147. Напитывание насыпи при переходе в нее выемки, совпадающей и с падением водоносного пласта.

ние откосов и полотна вследствие сползания по породе, залегающей ниже полотна дороги.

Пучины

Под пучинами понимают поднятие (пучение) пород на известных участках, вредно сказывающееся как на всех видах дорог, так и на зданиях (в районе вечной мерзлоты). Это явление объясняется действием мороза на воду, содержащуюся в породе, а также имеет место, если в породу, обладающую свойством увеличиваться в объеме при проникании в нее воды, последняя случайно туда попадает.

Вредное влияние пучения на дороги выражается в том, что отдельные их участки образуют более или менее значительные горбы, нарушающие в железных дорогах продольный профиль, а в проезжих с покрышкой — расстраивающие эту последнюю.

Классификация пучин. В дорожном деле принято разделять пучины на два класса, а именно: 1) пучины верховые и 2) пучины коренные.

К первому классу относятся пучины, развивающиеся в верхних слоях полотна, за счет имеющейся там воды и без последующего ее притока. Если же пучины развиваются в более глубоких горизонтах при содействии последующего притока грунтовых вод, то они носят название коренных.

Размер пучения. Высота поднятия пород под действием пучения в верховых пучинах колеблется от 2 до 3 *см*, а в коренных — от 4 до 54 *см*, в среднем же от 13 до 17 *см*.

Характер и сочетание пород, способствующих пучению

Пучины образуются под действием мороза на воду, содержащуюся в водопроницаемых породах, если они подстилаются водоупорными и вода не имеет стока. При этом среди пород водопроницаемых чаще всего встречаются хрящеватые водоносные пласты, тощие суглинки и особенно плывуны, а к породам, пропитывающимся водой, относятся суглинки, песчано-глинистые слепка выветрившиеся сланцы — лишь при условии залегания их на водоупорных породах, не имеющих стока для воды.

Все остальные случаи сочетания пород есть варианты основных сочетаний, и к ним относятся: 1) чередующиеся слои глин и жирных суглинков с водоносными пропластками песка, 2) плитняковые породы, подразделенные прослойками песка, 3) торф и торфянистый грунт, залегающие на водоупорных мягких и твердых породах, тогда как вода, производящая пучение, может быть атмосферной, грунтовой и ключевой.

В дорожном деле бывает весьма важно заранее предвидеть участки, где зимой могут развиваться пучины. Примеры сочетаний пород, при которых обычно развиваются пучины, показаны на рис. 149.

Руководящими признаками в этом отношении служат сыроватость стенок и дна кюветов, сохраняющаяся во время отсутствия дождей летом даже и в наиболее жаркие месяцы, как июль и август. С другой стороны, сильное развитие пучин указывает на прохождение в этом месте оси водотока и таким образом ориентирует место заложения дренажа.

Меры против пучения. Среди многочисленных мер, применяемых для уничтожения или ослабления пучения, основными являются:

1. Понижение уровня грунтовых вод, а также отвод их каналами или различными видами дренажа.

2. Сплошная замена пучинистого грунта другим.

Детали этих мер и мер менее радикальных приводятся в соответствующих специальных сочинениях».

В общем предупреждать оползни и другие нарушения наиболее целесообразно путем обхода угрожающих оползанием участков при прокладке трассы; если только возможно, то надлежит избегать обширных искусственных обнажений. Старый, сильно нарушающий поверхность, метод дорожного строительства, повлекший за собой при постройке многих участков железных дорог самые нежелательные последствия, прямо как бы разыскивал все опасные места, вместо того чтобы из-

бегать их, нарушал беспощадно равновесие склонов и стремился противопоставить проявлявшимся при этом титантским силам природы

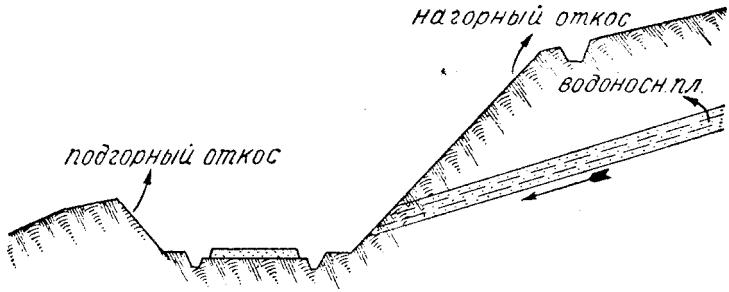


Рис. 148. Проникновение вод в выемку.

опять-таки только грубую силу. Насколько важно избегать нарушения равновесия неблагоприятных сил природы даже в незначительных их проявлениях, доказывает, например, прокладка трассы австрийской

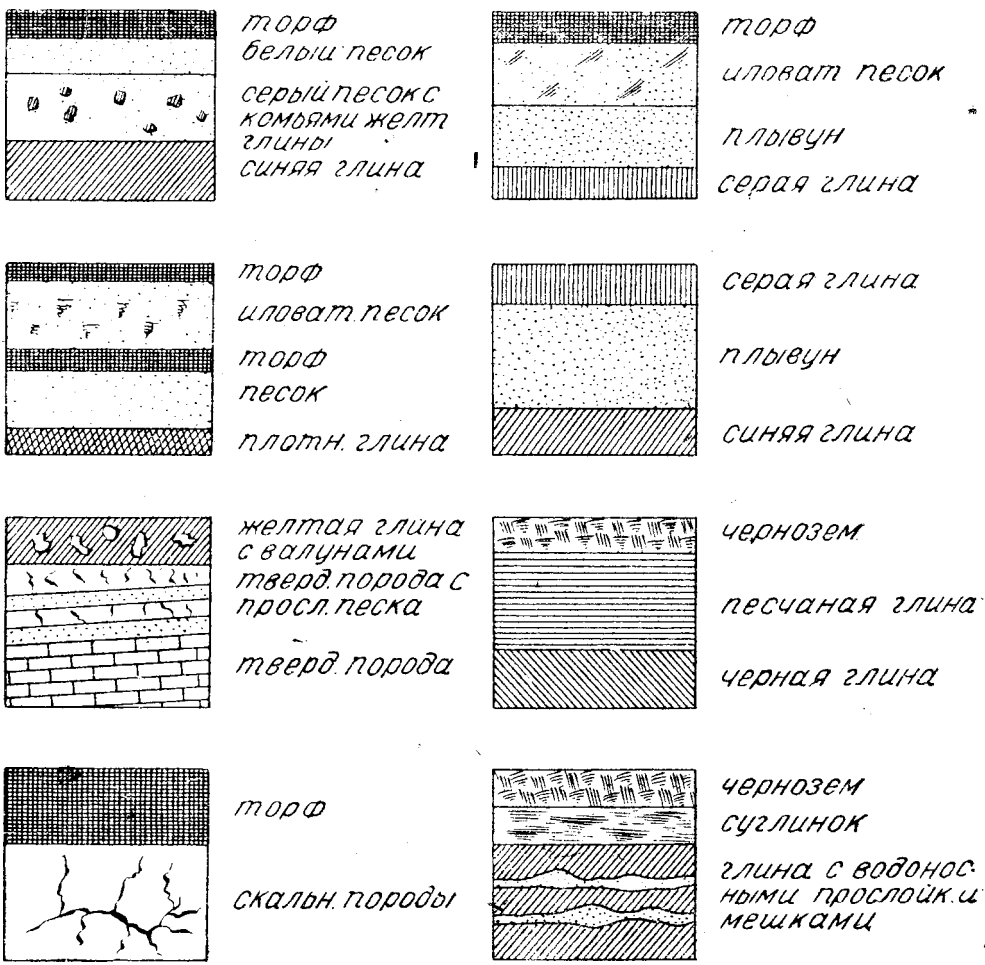


Рис. 149 Сочетания пород, при которых обычно развиваются пучины.

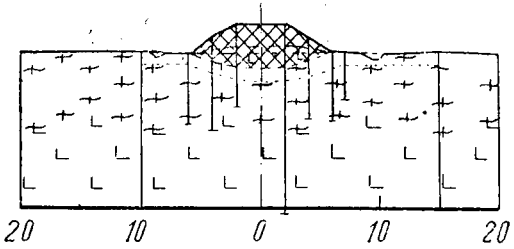


Рис. 150.

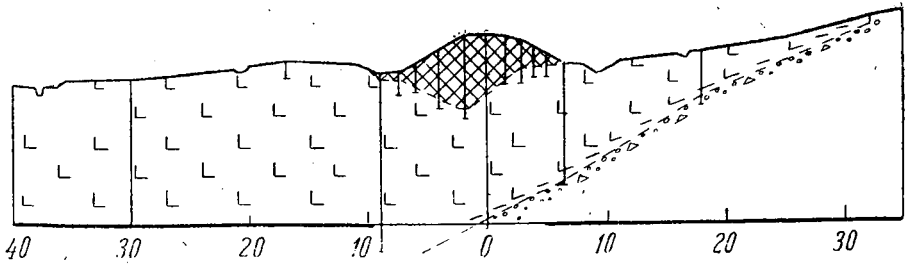


Рис. 151.

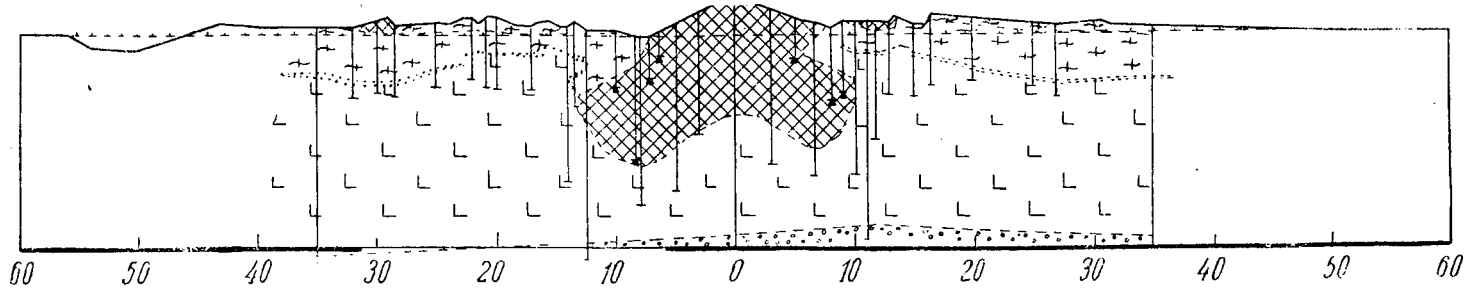


Рис. 152.

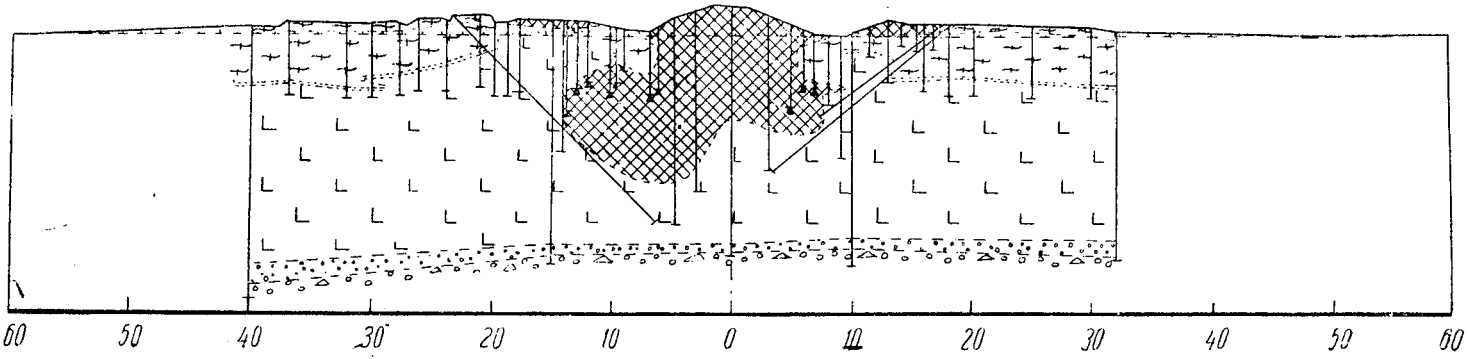


Рис. 153.

железной дороги через некоторые конусные наносы между устьями Зельцтальской и Гезейзевской долин. В целях незначительного выпрямления трассы дорога была проложена по сделанным в конусных наносах выемкам, вследствие чего получились низкие переходы через горные потоки, приносящие материал для этих конусных наносов; в результате этого при каждом более значительном половодьи отверстия мостов заваливались и забивались щебнем, для уборки которого управлению дороги приходилось затрачивать большие средства, в то время как большие муровые потоки засыпали также и полотно железной дороги, вызывая тем самым длительные перерывы в движении на этой важной линии. Недостатки такой системы строительства (выемками) ярко выявились также и при постройке железной дороги в Радмерскую долину из Гифлау.

Наблюдения Финляндского геотехнического бюро на различных участках Финляндских железных дорог дают много интересных примеров смещений масс вследствие нагрузки слабых, податливых грунтов (глина, ил, торф). Они подробно описаны геологом Бреннером, у которого мы заимствуем и рисунки 150—159. (Условные обозначения к рис. 150—159 помещены у рис. 154.)

Рис. 150. (Линия Карис-Сало, 142 *км* от Гельсингфорса). Влияние сравнительно малой нагрузки; верхние слои глины выпучены вниз вследствие вытеснения воды, происшедшего симметрично.

Рис. 151. (Та же линия, 126 *км*). В глинах, вследствие нарушения с разломом, произошло несимметричное смещение влево, в направлении меньшего сопротивления.

Рис. 152 и 153. (Линия Обо-Нюштад, 243 *км*). Выдавливание двустороннее и вниз в свежих насыпях.

Рис. 154. (Линия Гельсингфорс — Рихимяки, 4 *км*). При возведении новой насыпи, рядом со старой, нарушенные массы легче всего должны были сдвинуться в сторону, лишенную нагрузки. Однако, в данном случае это означало подъем масс вверх по устойчивому косогору из коренных пород, и в результате выжатые массы заняли положение крутое и ненормальное, проникнув сквозь слой торфа выше тех, что нагружались.

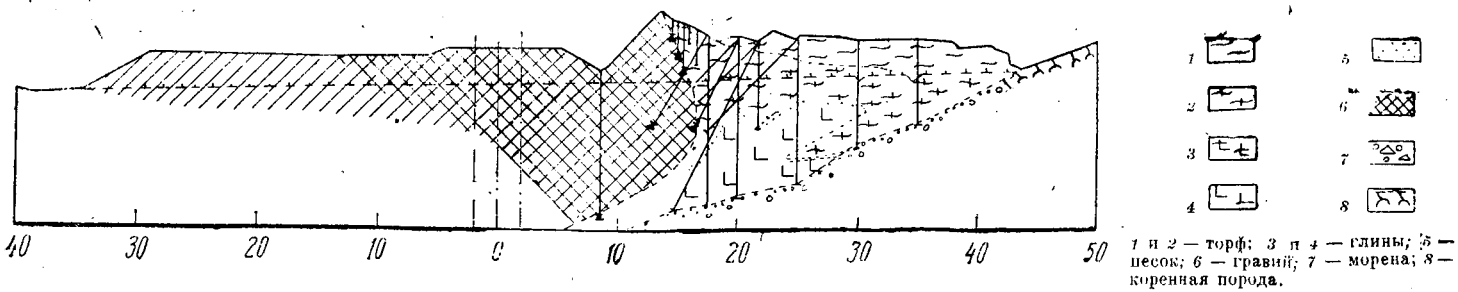
Рис. 155 показывает (у вокзала Выборга) перемещение масс горизонтальное вследствие близости (на малой глубине) коренного грунта (скалы). Дневная поверхность здесь близка к уровню моря, и глинистые слои очень размягчены. Многократная осадка насыпи вызвала нарушения на большом от нее расстоянии (до 120 *м*). При этом с левой стороны возникла не одна, а несколько волн выпучивания, расстояние между которыми однако последовательно увеличивалось.

Рис. 156 (линия Карис-Сало, 132 *км*) дает также пример волнообразного распространения грунта, но вследствие падения коренных (скалистых) масс — глыб, которые после их нагрузки погружались, а затем появлялись на поверхности и, снова погружаясь, выдавливали пластичные массы.

Рис. 157 и 158 (также со ст. Выборг, как и рис. 155) показывают результаты борьбы с опусканием путем заложения деревянного ростверка. В первом случае это удалось в смысле сохранения горизонтальности ростверка и равномерно-симметричной осадки, а во втором произошло небольшое несимметричное смещение и деление масс ростверком надвое. Все же лишь малые части выдавлены были вверх. Значение этого опыта для практики весьма велико.

На рис. 159 (линия Карис-Сало, 142 *км*) пример старой (25 лет) насыпи, у которой раздвоение незаметно, несмотря на почти симметричное выдавливание в обе стороны, вероятно, как и в предыдущем случае, вследствие того, что ранее более высокая средняя часть опустилась за счет длительного вытеснения воды из глинистых масс.

Таким образом опускания насыпей могут происходить двояко: или за счет вытеснения воды из нижележащих грунтов, или выдавливанием их в целом. Первое происходит при небольших и постепенно увеличивающихся нагрузках,



1 и *2* — торф; *3* и *4* — глины; *5* — песок; *6* — гравий; *7* — морена; *8* — коренная порода.

Рис. 154.

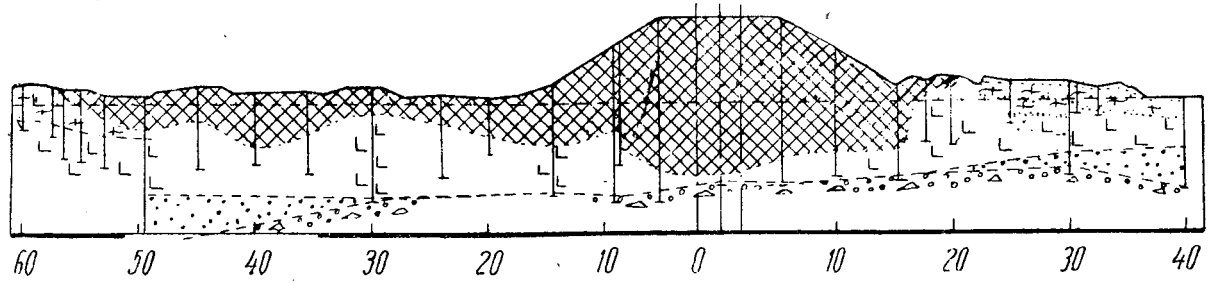


Рис. 155.

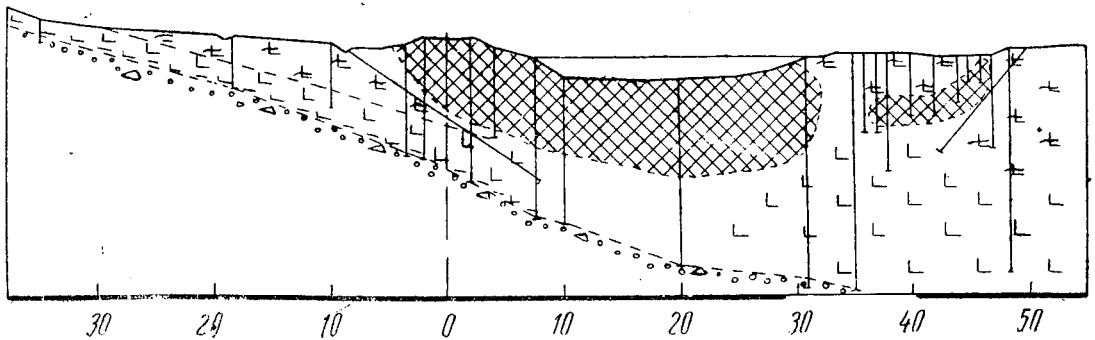


Рис. 156.

с убывающей скоростью. Второе же, наоборот, при нагрузках больших и быстро повышающихся, с нарушением поверхности (разломы, поверхности скольжения).

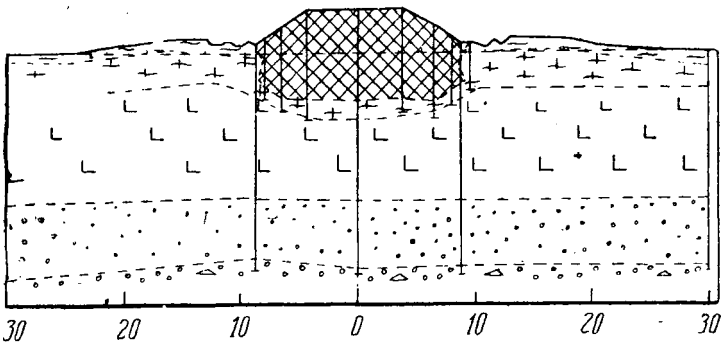


Рис. 157.

Из приведенных примеров можно сделать ряд обобщающих выводов о причинах, направлении и характере движений масс, а также значении новых под-

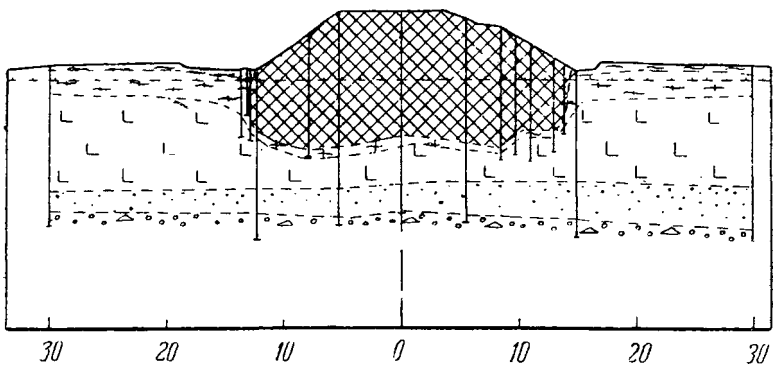


Рис. 158.

сыпок и загрузок насыпи, нередко нарушающих и приводящих в движение широкую полосу поверхности. Важен и фактор глубины залегания и формы поверхности коренных пород.

Важно и учитывать переход движения вертикально опускающегося в горизонтальное, расходящееся от середины в бока и затем снова в вертикальное восходящее.

Все сказанное относится к массам пластичным.

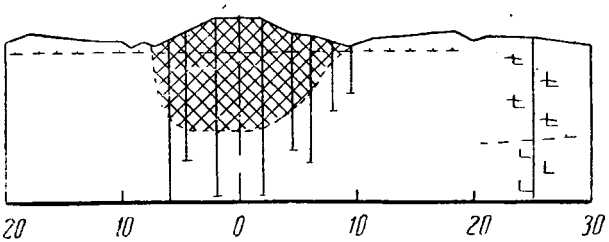
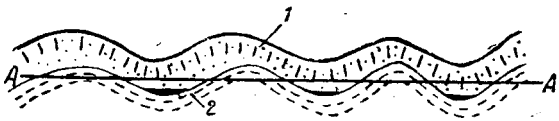


Рис. 159.

Там, где прокладка железной дороги наталкивается на затруднения в связи с наличием, не могущих быть обойденными, заболоченных пространств, в первую очередь необходимо выяснить причины заболачивания и устранить этот недостаток, после чего только можно приступить к сооружению искуственного основания и нижнего строения дороги. Часто приходится лишь создавать искусственные русла для

отвода ключей и источников, стекающих широким, тонким водяным покровом по склону и заболачивающих обширные пространства; большой ошибкой явилось бы в таких случаях сооружение дорого стоящих дренажных устройств вдали от выхода источника и невдалеке от полотна железной дороги. При осушке всегда следует делать всю работу; половинчатые мероприятия не помогают, создавая иногда новые опасности для целости сооружения; поэтому всегда необходимо действовать планомерно и на основе произведенных пробных шурфов, измерений количеств воды и т. п., не предпринимая в серьезных случаях ничего без совета и экспертизы опытного геолога.

По Терцаги, геология дорожного строительства является самой молодой и в то же время одной из самых трудных отраслей инженерной геологии. Планомерной разработкой относящихся к ней вопросов до настоящего времени занимались только в САСШ и в Союзе Советских Социалистических Республик (СССР). Задача этой научной отрасли заключается в исследовании и классификации грунта с точки зрения пригодности его в качестве основания для устройства искусственных дорог и в выборе наиболее дешевых типов дорог, отвечающих требованиям, предъявленным к ним при данных геологических и климатических условиях, главным образом со стороны автомобильного движения.



A-Ā бетонированная дорога
1 – Трещиноватый песчаник
2 – Тонкоплитчатый мергель

Рис. 160. Продольный разрез дороги, пересекающей границу напластования двух различных пород. Оползание откосов происходило лишь в тех пунктах, где граница пород ниже дна нагорного дорожного кювета.

Опыт последних лет с неопровержимой ясностью показал, что продолжительность существования дорог зависит не только от материала, примененного для устройства их постели, но в значительной степени также от природного состояния грунта и от режима грунтовых вод (рис. 160). Это состояние грунта изменяется в зависимости от рода покрывающей его растительности и времен года.

При наблюдениях, произведенных над одной из дорог штата Нью-Йорк, было замечено, что дорожный покров тех частей дороги, которые залегали в выемках, расположенных в грунте, состоящем из глины, совершенно разрушился, тогда как покров дороги на участках, проложенных в насыпях и сооруженных из того же материала, взятого из карьеров, остался неповрежденным. Над некоторыми другими дорогами, также проложенными в местности с глинистой почвой, было сделано наблюдение противоположного характера.

Лабораторные исследования какого-либо грунта характеризуют его только со стороны его состава и потому должны быть пополнены наблюдениями, произведенными над грунтом в природных условиях данной местности.

Одна и та же глина, например, может в природных условиях в одном случае обладать почти полной водонепроницаемостью, в другом — быть пронизанной корневыми трубочками и другими отверстиями, в которых вода будет циркулировать свободно.

Эти условия существования грунта, независящие от качества его природного состава, играют важную роль и в том случае, когда дороги подвергаются действию мороза (рис. 161), особенно в областях вечной мерзлоты.

В некоторых местах на севере Соединенных Штатов уличный покров под влиянием мороза вспучивается на величину до 30 *см*.

В СССР геологические исследования в области дорожного строительства сосредоточены в руках основанного в 1924 г. при Народном комиссариата путей сообщения Центрального управления местного транспорта. Это управление имеет отделы по исследованию состава грунтов, по изучению экономических условий и технической стороны сооружения дорог, а также по обследованию состояния дорог. В то время как в САСШ главное внимание обращено в первую очередь на изучение дорого стоящих автомобильных дорог, в СССР занимаются преимущественно изучением дорог более дешевого типа (Хмызников).

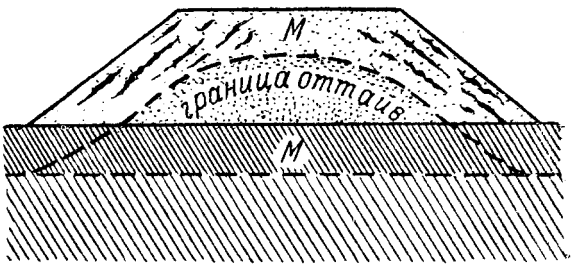


Рис. 161. Продольное расползание дорожной насыпи, обусловленное развитием в ней после отсыпки вечной мерзлоты и вспучиванием постели насыпи. (по Цыбульскому).

В Германии внимание инженеров путей сообщения посвящено, повидимому, почти исключительно выработке конструкции проезжей части дорог. Устройство опытных дорог имеет целью главным образом сравнительную оценку качества различных дорожных покровов.

§ 47. Проведение туннелей

Сооружение туннелей, являясь в отдельных случаях одним из труднейших видов инженерного дела, помимо знания техники туннельного дела, требует солидной геологической подготовки. Пожалуй, не так легко указать другие отделы строительства, где бы ошибочное понимание геологических условий, сопровождающих прохождение туннеля, сказывалось сильнее, скорее и нагляднее, в виде ряда неудач, чем в рассматриваемом случае. Поэтому прокладка туннелей редко обходится без специалистов-геологов, однако известная геологическая подготовка должна быть и у производителя работ, для того чтобы он мог: 1) найти общий и понятный язык с геологом, 2) ориентироваться лично в многочисленных изменениях залегания, нарушениях и породах и предусматривать изменение давления в туннеле, 3) ставить определенные задачи геологу для консультации и разрешения.

Условия для применения туннелей[1]

К туннелям в инженерном деле могут прибегать: 1) при проведении всевозможных дорог; 2) в целях канализации воды как для водоснабжения, так иногда и для судоходства.

[1] По Цыбульскому.

I. К туннелям для устройства дорог прибегают: а) когда надо связать два пункта, разделенные горным хребтом, так как в этом случае их проведение наиболее удачно разрешает задачу устранения длинного и часто весьма трудного обхода;

б) при желании избегнуть чрезвычайно глубоких и мало устойчивых выемок;

в) когда склон горы, по которому проходит дорога, очень крут, находится под угрозой повреждения обвалами или требует слишком больших выемок для проведения по нему пути;

г) если косогор или склон горы содержит несколько пластов, подверженных оползням, причем обеспечение и поддержание его устойчивости дренажными работами экономически менее выгодно, нежели устройство туннеля, а технически менее гарантирует целость пути и бесперебойное движение;

д) если дорожную трассу преграждают отдельно выступающие мысы горной породы;

е) при необходимости соединить два пункта, находящиеся на противоположных берегах реки, если во избежание стеснения судоходства или по другим причинам нежелательно воспользоваться мостом;

ж) в случае проведения городских подземных дорог (делаются туннели и открытые котлованы, засыпаемые впоследствии грунтом).

II. Канализация воды помощью туннелей делается: а) при необходимости пропустить воду в значительном количестве через участки с гористым и повышенным рельефом для водоснабжения и судоходства;

б) в целях получения воды для гидроэлектрических установок под значительным напором; в этом случае применение туннеля может оказаться неизбежным, если, при сравнительно небольшом количестве воды, требуется получение значительного напора, и в то же время рельеф местности, а также другие условия не благоприятствуют использованию иных способов;

в) в отдельных случаях водоснабжения (г. Чикаго) прибегают к устройству подвода воды из озер помощью туннеля; указанный способ может оказаться наиболее удовлетворяющим санитарно-гигиеническим условиям, если источник водоснабжения значителен по площади и глубок.

Одной из ближайших задач нашего железнодорожного строительства является проведение под главным Кавказским хребтом большого туннеля. Немало предстоит и других туннельных сооружений на Кавказе, на Дальнем Востоке и в других горных районам СССР, почему значение геологии в этой области инженерного искусства представляется особенно важным и своевременным для признания.

Запросы, которые ставятся геологии при проектировании туннеля, следующие:

1. Какие будут встречены породы.
2. Тектоника вдоль оси туннеля.
3. Температура » » »
4. Приток воды » » »
5. Приток газов » » »
6. Вероятность областей значительного давления.
7. Характер давления — сверху или с боков.

Первые два вопроса в сущности и являются основными, так как правильное освещение других вопросов невозможно без отчетливого их решения, как будет ясно из дальнейшего.

При проектировании туннелей нельзя ограничиваться построением продольного разреза вдоль его оси, а для правильной оценки возможных явлений необходимо построение целого ряда профилей вкрест простирания пород и наложение на такие разрезы проекции оси туннеля.

Сбросы, сдвиги и вообще всякие тектонические нарушения в залегании горных пород, сопряженные с их разрывом, должны быть рассматриваемы как обстоятельства, неблагоприятные для производства туннельных работ. Таков должен быть основной взгляд на этот вид тектонических нарушений.

Примеров сказанному довольно много. Заимствуем некоторые у Евдокимова-Рокотовского.

Караванкенский туннель длиной 7976 *м* в Восточных Альпах. Сильное вертикальное горное давление, бывшее в южной части туннеля во время его постройки, обязано своим происхождением исключительно сильным нарушениям и тектоническим дислокациям.

Туннель Казинами в Японии. Сильная трещиноватость горного массива, давшая большое горное давление, обязана своим происхождением землетрясениям, столь частым в этой стране.

Туннель 521—522 вер. Северо-Донецкой железной дороги протяжением 2061 *м* залегает в глинистых сланцах, известняках, кварцитах, песчаниках и песках. Хребет на водоразделе рр. Белой и Ольховой сильно дислоцирован. В отношении производства туннельных работ создались несколько запутанные условия. Там, где мы имеем дело с пластовым залеганием пород, было весьма благоприятно то, что туннель расположен почти нормально к простиранию пластов пересекаемого им хребта.

Нарушенность же массива, наличие сбросов и сдвигов отозвались на успехе производства туннельных работ в виде повышенных горных давлений и притока воды.

Однако, в отношении влияния сбросов и сдвигов на ход туннельных работ вопрос обстоит более сложно, чем это может казаться с первого взгляда. Надо всякий раз тщательнейшим образом обследовать вопрос о характере сбросов и сдвигов и выяснить, что они собой представляют.

Практика туннельного дела знает несколько случаев, когда большое количество сбросов и сдвигов не вызывало сильных горных давлений.

Сен-Готардский туннель длиной 14 984 *м* в Центральных Альпах пересекает главным образом кристаллические сланцы и гнейсы, более или менее однородные: этот туннель дает пример необычайной внутренней нарушенности при посредстве сдвигов и трещин.

Серьезнейший вопрос о *температуре*, также выше разобранный, расчленяется на три части:

1. Какова наибольшая температура, которую придется встретить во время работ?

2. На каком пространстве будет встречена эта наибольшая температура, или вообще такая температура, которая требует усиленной вентиляции?

3. Является ли ожидаемая высокая температура нормальной для данной глубины туннеля, или же она вызвана какими-либо местными особенностями?

На все эти вопросы ответить может лишь геология при поддержке метеорологии.

Поскольку можно при трассировке туннеля принимать во внимание вопросы температуры, следует помнить, что наиболее благоприятными являются следующие: возможно большая изрезанность горной цепи как в поперечном, так и в продольном направлении, крутое падение пластов как над, так и под осью туннеля, отсутствие частой смены

пород и отсутствие поблизости от туннеля молодых вулканических образований и горячих источников.

Имея далее в виду, что исходной точкой расчетов является температура почвы в горном массиве над туннелем, необходимо заблаговременно озаботиться устройством там наблюдательных станций (на Симплоне их было 15).

Руководящее значение имеют наблюдения, сделанные при проведении Симплонского туннеля (Геймом и Шардтом), температуры в котором были встречены на 10—12° выше предположенных, на основании именно неправильного представления об условии залегания пластов (рис. 162); так, в 8110 *м* от северного портала встречено было 56° вместо ожидавшихся 40°, что представило почти непреодолимое препятствие для продолжения работ. В Мон-Сенисском туннеле наивысшая температура — 29,5° (в середине его), а в С.-Готардском — 30,8°.

Небезынтересны следующие данные о наибольших туннелях:

	Мон-Сени	С.-Готард	Симплон
Длина туннеля	12 849 *м*	14 998 *м*	19 728 *м*
Высота кульминационного пункта . .	1 249,7	1 154,6	705,2 „
Высшая температура	29,5°Ц	30,8°	55°
Стоимость в млн. франков	75	68	65
Стоимость одного километра	4	4	3
В год проходили километров	1	2	4

При геологических исследованиях проектированных больших кавказских туннелей были сделаны следующие подсчеты:

1. Для туннеля через главный хребет по линии Невинномысской—Сухумской железной дороги, между верховьями речек Теберды и Чхалты приблизительно, ввиду отсутствия у геолога точных данных о трассе, высоте хребта и температуре почвы на последнем, с умышленным преувеличением было указано для разных вариантов от 24° до 36° максимум, т. е. величины вполне преодолимые. Эти предположения основаны на величинах геотермического градиента равных альпийским, хотя имеются основания полагать, что на Кавказе они могут оказаться благоприятнее, т. е. конечные температуры ниже. Подсчеты эти в немалой мере требуют и более подробного знания соответственных ледниковых областей.

2. Для туннеля главного Кавказского хребта под Архотским перевалом были сделаны геологические изыскания дважды, сначала в 1890—1896 гг. 11-верстного варианта, а затем в 1912 г. для 22-верстного.

При последнем высота перевальной точки над высшей подъемной точкой туннеля 1523,8 *м*.

Литологическая толща в районе туннеля имеет весьма однообразный характер и состав: это почти исключительно глинистые сланцы с прослоями песчаника и с пластовыми жилами зеленокаменных пород. Изогеотермы были высчитаны по методу Кенигсбергера, дающему затем возможность определить температуру в любой точке туннеля; геотермическая ступень была принята в 45 *м*, температура почвы в наивысшей точке в 6,3° Ц; температуры в туннеле предположены от 20 до 37° (в средней части).

Симплонский туннель на своем огромном протяжении дает много поучительного в отношении внутреннего строения горного массива. Будучи разнообразен в своем внутреннем строении, Симплон стал великолепной школой для геологов и инженеров (рис. 162).

Симплонский туннель, длиной 19 728 *м*, расположен в Центральных Альпах, под Симплонским горным проходом и под вершиною Монте-Леоне. Сооружение небывалой для того времени длины туннеля, понятно, требовало особенной осторожности и осмотрительности при составлении проекта и при разработке программы работ. Вопросу о геологическом строении этого горного массива было уделено много внимания. В течение многих лет пополнялись и без того достаточно подробные сведения о строении этой Альпийской горной системы. Целый

ряд выдающихся геологов потрудился над составлением геологического прогноза Симплона.

В результате их работ было сказано, что в Симплоне по древности горные породы правильно распределяются с юга на север, а именно:

На протяжении первых 6,33 *км* известняки и гнейс. На протяжении следующих 9,70 *км* известняки, гнейсовые сланцы, гнейсы и кристаллические гнейсовые сланцы.

На протяжении остальных 3,70 *км* кремневый сланец, известняки, блестящий сланец и шифер с прослойками гипса.

Простирание пластов почти перпендикулярно к оси туннеля. Падение пластов идет в направлении горных склонов между северо-западом и юго-востоком.

Гипсовые и доломитовые пласты, обычно наиболее задерживающие туннельные работы, согласно заявления геологов, должны были встречаться редко. По заявлению геологов приток воды ожидался слабый. Что касается максимальной

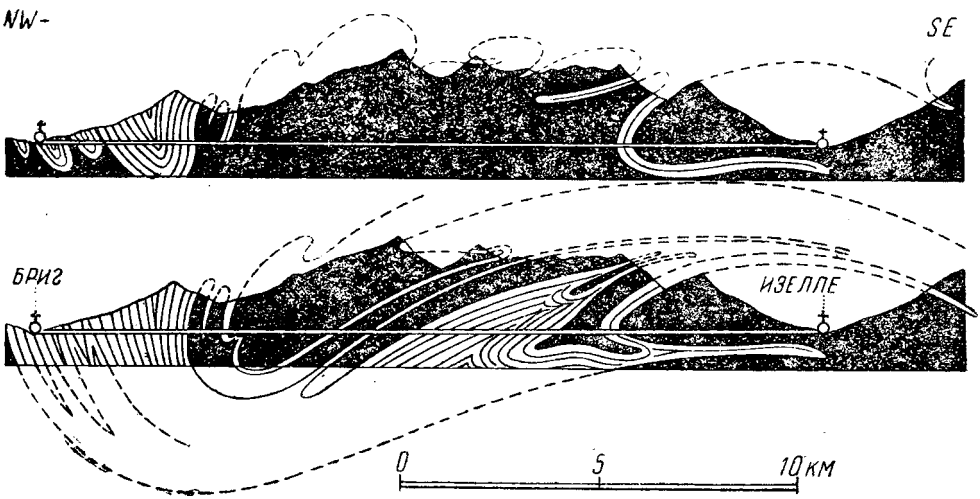


Рис. 162. Геологический разрез через Симплонский туннель. Черное—гнейсы, белое — осадочные породы юрского и триасового возраста. Сверху — старое толкование, снизу — новое, предложенное уже после проведения туннеля.

температуры внутри туннеля, то результаты исследования геологов не были одинаковые; некоторые полагали, что температура горных пород будет достигать + 41°, даже + 45° Ц, но большинство остановилось на + 39° Ц, как на наивысшей возможной температуре в Симплонском туннеле.

Таков был геолотический прогноз при проектировании Симплонского туннеля (рис. 162).

Производство работ указало ошибочность и крайнюю неполноту вышеизложенного заключения геологов. Геологи ошиблись прежде всего в отношении порядка залегания горных пород. Гнейс не являлся главенствующей породой. Плотный гнейс оказался лишь на коротких протяжениях, а за ним правильно чередовались сланец, слюдяной сланец и белый известняк. Геологи не отметили расположенных поверх и снизу оси туннеля известняковых слоев, принадлежащих триасовому и юрскому периодам; оба эти слоя изобиловали сильными водами и источниками, а юрский слой содержал горячие источники. Затем геологи не отметили, в каком положении относительно оси туннеля будут встречаться пласты проходимых горных пород. Вследствие почти горизонтального залегания слоев в средине туннеля, теплопроводность горных пород резко понизилась, и геотермический градиент уменьшился до 36 *м*, тогда как при постройке Сен-Готардского туннеля, при крутом падении слоев, геотермический градиент был равен 50 *м*. Понижение геотермического градиента было одной из причин повышения температуры горных пород.

Температура горных пород туннеля уже на расстоянии 6,3 *км* от северного

портала достигла предсказанной геологами температуры + 39° Ц. На 7,5 *км* температура резко возросла до 52° Ц, а на 9,0 *км* достигла своего максимума + 56°, т. е. на 17° более, чем было предсказано.

Затем геологи совершенно не усмотрели области сильных горных давлений. На удалении 4450 *м* от южного портала на протяжении 50 *м* слюдяной сланец залегал почти вертикально. Будучи сильно водоносен, этот слюдяной сланец дал огромное горное давление, преодолеть которое представлялось необычайно трудным. При разработке второй галлереи в отдельный туннель в 1913 г. даже возникла мысль отклониться с направлением туннеля в область более устойчивых и с меньшим давлением пород, настолько трудно было работать в этой породе в зоне сильного давления при проведении первого туннеля.

Наконец, геологи жестоко ошиблись, заявив, что приток воды ожидается слабый; они не предусмотрели тех грандиозных водных источников, которые пришлось встретить при пробивке туннеля. По всей длине туннеля было встречено 237 источников. Распределение и сила их отличались большим разнообразием. В то время как на северной стороне туннеля их было 142 с дебитом до 360 *л/сек*, на южной стороне их встретили с дебитом 1500 *л/сек*.

Количество воды и давление (напор) ее отличались по источникам большим разнообразием. Одни из них вытекали под слабым давлением, другие били с такой силой, что буровые штанги, упиравшиеся в скалу, давлением до 100 *ат* отбрасывались струей воды далеко назад. Температура воды колебалась от + 10° до + 51° Ц.

Столь резкое расхождение с предсказанием геологов давало иногда такие неожиданности для строителей туннеля, что сооружение Симплонского туннеля стало делом беспримерно трудным.

Единственным утешением может служить то, что если бы геологи верно составили прогноз и правильно раскрыли перед всеми все то, что они действительно следовало ожидать и что фактически было обнаружено впоследствии при работах туннеля, то вполне возможно, что действительность испугала бы предпринимателей, и сооружение Симплонского туннеля не состоялось бы.

Давление

«Один только геологический разрез вдоль оси проектируемого туннеля в виде геологического профиля, устанавливаемый геологами путем изучения выходов и обнажений пород и исследованием строения горного массива разведочными работами, не может дать исчерпывающего ответа для предстоящих работ по постройке туннеля. Необходимо знать не только порядок напластований и род горных пород в отношении геологическом (возрастном), не только минералогический состав и петрографические особенности пород, но еще и их технические свойства.

Вопрос о технических свойствах проходимых туннелем пород является для инженера основным.

Для успешного производства туннельных работ необходимо знать: [1]

1. Крепость горных пород в отношении непосредственного добывания их тем или иным инструментом: ломом, кайлой, лопатой и пр.

2. Крепость горных пород в отношении их сопротивляемости как при машинном, так и при ручном бурении шпуров.

3. Нормы расхода взрывчатых веществ на кубическую единицу вырабатываемой горной породы в тех или иных условиях ее залегания.

4. Устойчивость и прочность горных пород при их разработке в отношении обвалов, обрушений, проседаний и пр.

5. Размер ожидаемого горного давления, в зависимости от слагающих горный массив тех или иных пород и их напластований.

[1] По Евдокимову-Рокотовскому.

6. Сопротивляемость пород выветриванию, выщелачиванию и температурным колебаниям.

Кроме того, для некоторых видов туннелей (гидротехнические водонапорные туннели) является надобность знать дополнительно еще некоторые технические свойства окружающих туннель горных пород, именно:

7. Степень эластичности горной породы. Выяснить, в какой мере данная порода может противостоять давлению сооружения, в связи с давлением воды на обделку туннеля, и каков будет отпор породы.

8. Степень пластичности горной породы.

9. Водоупорность горной породы».

Еще в конце прошлого столетия А. Гейм указал на то, что состояние горного массива по своим техническим свойствам не только не всегда соответствует той крепости, прочности и устойчивости, которыми обладают слагающие его породы, но что, напротив, качества горного массива в целом резко от них отличны. Горный массив, по мнению Гейма, обладает совсем иной прочностью, чем отдельный кусок слагающей его породы при лабораторных исследованиях ее технических свойств. Поэтому Гейм ввел понятие о прочности горного массива в отличие от прочности горной породы.

Прочность горного массива, по Гейму, всегда значительно меньше прочности горной породы и равняется приблизительно, как полагает Гейм, $^1/_3$ или даже $^1/_4$ от прочности отдельных кусков, составляющих массив горной породы. Эта идея не отождествлять технические свойства горного массива с техническими свойствами слагающих его горных пород безусловно верна и имеет глубокий смысл в туннельном деле. Она может быть распространена не только на такие свойства горных пород, как крепость, но и в отношении устойчивости и сопротивляемости обвалам и обрушениям, в отношении водопроводящей способности и водоупорности, сопротивляемости выветриванию, выщелачиванию и температурным колебаниям. Само собой понятно, что высказанный Геймом взгляд должен значительно и резко изменить то укоренившееся на практике убеждение, будто по отдельным кускам (образцам и пробам) горной породы возможно судить о состоянии горного массива в целом.

При пластовом залегании пород выступает новый фактор, это — провисание пластов. Такое провисание пластов иногда бывает сопряжено с явно выраженной и полной отдельностью между провисшими пластами. При остукивании горным молотком, как это делается иногда для обнаружения близлежащих пещер, ясно слышно по звуку присутствие в висячей кровле образовавшихся исключительно от провисания породы пустот.

Пластовые залегания горных пород особенно должны учитываться в отношении вида горного давления, если пласты расположены не горизонтально. Здесь может быть два случая.

Первый случай — залегание пластов под углом, когда угол трения породы о породу или, лучше сказать, пласта по пласту более угла падения пласта.

Другой случай, когда наклон пластов (угол падения) более угла трения пласта по пласту.

В первом случае порода будет находиться в достаточно устойчивом

состоянии и, вообще говоря, сил бокового горного давления возникать не будет.

Во втором случае все будет зависеть от того, насколько порода трещиновата и имеется ли приток воды. Если имеется вертикальное давление пластов, то скольжение их становится вполне возможным.

Пример, когда не было основания опасаться возникновения боковых сил горного давления, представляет деривационный туннель на Аджарис Цхали. Здесь угол падения пластов около 14°, тогда как угол трения туфогенного песчаника пласта по пласту около 17°.

Как раз противоположный пример мы видим на одном из туннелей Читинской железной дороги, где падение пластов было около 32°, а угол трения пласта по пласту около 30°. В этом случае вопрос еще усложнялся тем, что было смачивание пластов водой, вследствие чего угол трения понижался приблизительно до 25°. От этого появилось боковое давление, отразившееся на целости сооружения и потребовавшее устройства в туннеле обратных сводов.

Причины давления и величина его одна из труднейших проблем туннельного дела, в решении которой мнения специалистов еще сильно расходятся, но так как меры борьбы с давлением определяются взглядом на его причину, то вся теоретическая и практическая важность этой проблемы ясна сама собой. Вопрос расчленяется на три частных:

1. Существует ли внутри земли на тех глубинах, с которыми приходится иметь дело при проведении туннелей, значительное давление, против которого надо принимать меры как при самом проведении туннеля, так и впоследствии?

2. Существует ли прямая пропорциональность или иное определенное соотношение между мощностью налегающей на туннель горной массы и величиною давления в нем?

3. Чем обусловлены области местного давления в туннелях и можно ли их предвидеть в каждом данном случае?

Несмотря на многообразие отдельных случаев, последний из этих вопросов легче всего поддается определенному решению на основе геологических данных и сводится к следующему. Причинами местного давления являются грунты мягкие, способные пучиться, более или менее пластические массы, участки сильно раздробленных динамометаморфизмом горных пород и некоторые химические процессы, как например гидратизация ангидрита и превращение его в гипс. Своевременный дренаж, быстрая облицовка и т. п. — вот меры борьбы с этими местными давлениями. К ним несправедливо относят явления отскакивания — «стреляния», отслаивания кусков горных пород.

Вопрос об общем давлении в глубоких слоях земной коры и зависимости его от налегающей на туннель массы весьма сложен и разрешается различными авторами различно. В настоящее время большинство инженеров приходит к заключению, что в туннелях с малой глубиной заложения преобладает давление в потолке, а при значительной глубине обнаруживается преимущественно боковое давление.

Далее практика показала, что величина давления в туннелях зависит от характера тектоники, т. е. нарушения залегания тех слоев, через которые проводится туннель. При одинаковых прочих условиях сводо-

образные положения слоев (антиклинальных складок) понижают давление (рис. 163 и 164), а на крыльях складок оно сосредоточивается; давление среди горизонтальных слоев сильнее, чем среди круто поднятых; давление сильнее при направлении оси туннеля по простиранию наклонных слоев (рис. 165), чем при направлении оси вкрест простирания (рис. 166).

Наиболее подробно данный вопрос в русской литературе формулирован Ф. Ю. Левинсон-Лессингом: на основании специальных опытов, приведших к следующим выводам:

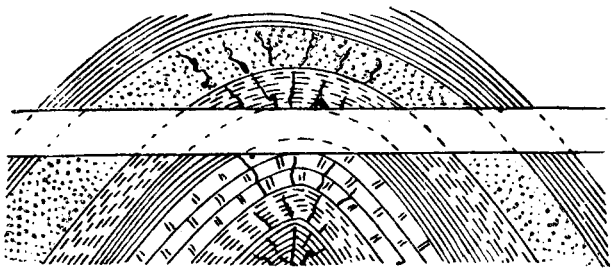


Рис. 163. Туннель, пересекающий антиклиналь.

1. Над туннельной штольней образуется естественный свод, который избавляет туннель от давления всей налегающей на него толщи. В пользу такого вывода, который уже высказывался не раз, говорят и наблюдения в зернохранилищах, наблюдения над рыхлыми массами земли и пр.

2. Геологические данные (и опыты Адамса) приводят к заключению, что зона пластической деформации горных пород, а следовательно, и зона гидростатического давления лежит на такой глубине, которая во много раз превышает глубину залегания уже существующих и имеющих в ближайшее время быть построенными туннелей.

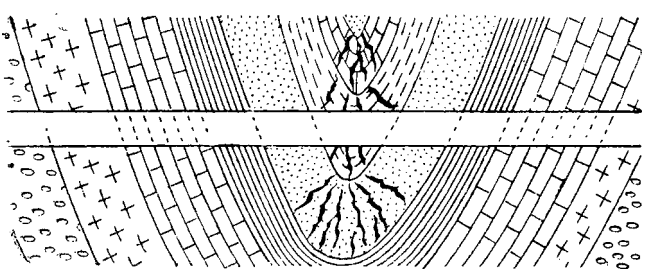


Рис. 164. Туннель, пересекающий синклиналь.

3. На основании первых двух выводов следует признать, что при расчете давления в туннеле, необходимой формы профиля и толщины обделки можно не считаться с предположением о давлении всей налегающей на туннель толщи слоев и с предположением о равномерном гидростатическом давлении и пластичности горных пород.

4. Наиболее целесообразной формой поперечного профиля и обделки является форма подковообразная и эллиптическая с вертикальной большой осью.

5. Форма поперечного профиля туннеля играет более важную роль, чем толщина облицовки; роль последней скорее лишь предохранительная, задерживающая разрушение и падение разрушенных частей (рис. 167); поэтому толщина облицовки в долях метра обыкновенно достаточна, и не всегда необходимо применять самые прочные и твердые

камни, а можно даже довольствоваться известняком или кирпичом (в Италии), конечно, за исключением особо мягких и пучистых грунтов. Однако, в исследовании пород, применяемых для облицовки, обязательно должен участвовать и петрограф, так как некоторые детали

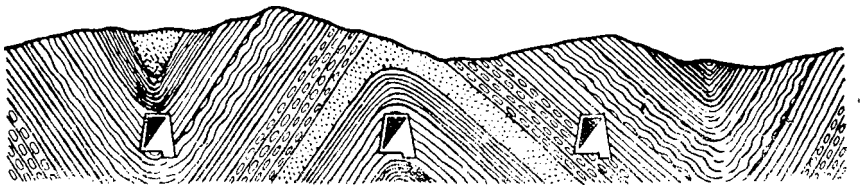


Рис. 165. Различные случаи прохождения туннеля по простиранию смятой в складки свиты пластов. Слева — в ядре синклинали, посредине — в ядре антиклинали, справа в моноклинальном залегании. В первом случае кровля туннеля будет прочнее, чем почва, во втором обратно, в третьем следует укреплять бока вверх по падению слоев (рис. 167).

строения и состава, невидимые простым глазом и выясняемые только микроскопически, имеют иногда очень важное значение. Наконец, не вдаваясь здесь в вопросы о цементе, следует лишь указать, что выветривание и разрушение облицовки обыкновенно начинается как раз у спайки отдельных камней под влиянием разлагающего действия плохого или неправильно подобранного цементирующего вещества.

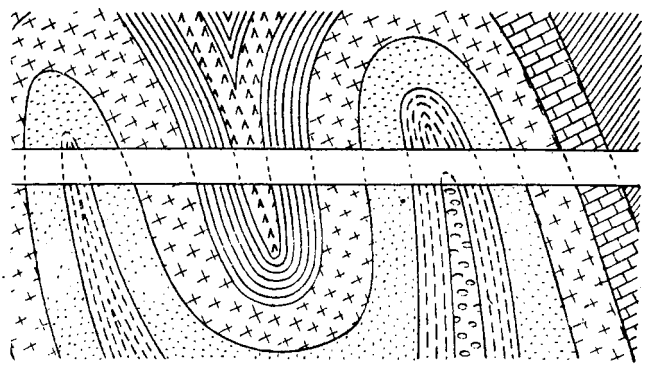


Рис. 166. Туннель, проходящий вкрест простирания складчатой свиты. Для этого случая характерно частое чередование пластов, тогда как в случае рис. 165 туннель по всей своей длине может итти по одним и тем же пластам, т. е. в одних условиях.

При проведении туннеля вкрест с точки зрения легкости работы предпочтительнее случай проходки против падения пластов (рис. 168 *A*), чем обратный (рис. 168 *B*).

Условия проведения туннелей в различных горных породах лучше всего иллюстрируются следующими примерами, заимствуемыми у Евдокимова-Рокотовского.

Все случаи облицовки из известняка скорее могут служить иллюстрацией относительной крепости и прочности некоторых сортов известняка, нежели стать доказательством целесообразности такого способа обделки. По своим техническим свойствам известняк в нормальных условиях производства работ никогда не может стать желательным материалом для облицовки туннеля.

При производстве туннельных работ в песчаниках следует обращать внимание на толщину слоев и иметь в виду, что тонкослойные песчаники при туннельной разработке склонны оказывать более высокое горное давление и более сильное провисание кровли, нежели толстослойные. Затем важным обстоятель-

ством являются всякого рода тектонические нарушения, как то: складчатость, присутствие сбросов и сдвигов и пр. В отношении песчаников вопрос этот приобретает особенное значение, потому что наличие дислокаций всегда тесно связывается с вопросом о водоносности песчаников. Влажность в известных пределах может оказывать даже благоприятное значение, так как благодаря влажности песчаники и сланцы приобретают и сохраняют бо́льшую прочность, нежели в обезвоженном состоянии, когда они с улучшением вентиляции туннеля становятся более хрупкими. Избыток воды может не только отзываться на успехе туннельных работ, вследствие свободного выхода воды из горного массива и вытекающих отсюда последствий, но также и в связи с тем, что при известной комбинировке наклона пластов песчаников от избытка воды уменьшается угол трения и возрастает горное давление.

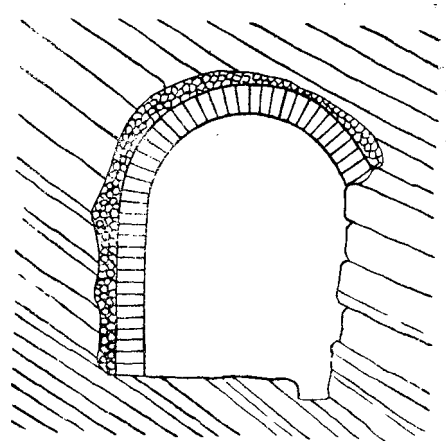


Рис. 167. Проведение туннеля вкрест и навстречу падения свиты пластов.

При пробивке туннелей в песчаниках, особенно коротких туннелей в Сибири, надлежит обращать внимание на морозоупорность. Мягкие зернистые песчаники особенно предрасположены к разрушению морозом. Чем тоньше слои породы, тем скорее облупляются и разрушаются обнаженные в туннеле части горного массива.

Конгломераты представляют для туннельных работ всегда много затруднений ввиду возможных обвалов, обрушений, притока воды, повышенных горных давлений.

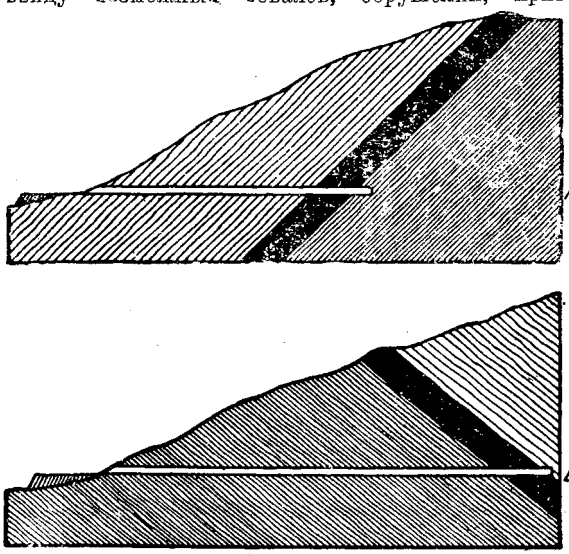


Рис. 168. Проведение туннеля вкрест навстречу (наверху) и в сторону (внизу) падения свиты пластов.

В отношении выветривания и выщелачивания конгломераты являются всегда крайне неустойчивыми. Более или менее прочными оказываются только те конгломераты, которые связаны кремнистым цементом. Конгломераты с глинистым цементом весьма скоро выветриваются и требуют применения усиленных крепей при постройке и повышенного размера обделки. Если в виде обломочных составных частей или в виде цемента содержится известь, то неустойчивость достигает своего максимума. Процесс отнятия извести происходит здесь так интенсивно, что его можно приравнять к настоящему выщелачиванию. Инъекция не всегда помогает.

Расположенный на линии Тойома — Намоэцу в Японии туннель Бакамизу залегает в конгломератах из известняковых пород, связанных водопроницаемой иловато-глинистой массой. Наблюдается сильное вымывание связующей массы, во-первых, и выщелачивание и выветривание основной породы, во-вторых. Туннель закончен постройкой весной 1913 г. За 12 лет было очень много осыпей, обвалов и даже три случая разрушения сводов туннеля. Особенно велики и часты осыпи у восточного портала этого туннеля.

Встреча *мергелей* при туннельных работах весьма часта и крайне неблагоприятна для успеха работ. В горном массиве мергели, залегая в виде слоисто-

сланцеватых пластов, являются породой весьма слабой. Впитывая жадно воду, мергели совершенно размягчаются и становятся пластичными. Вертикальное и боковое горное давление может достигать весьма больших величин. Поэтому всякий запас в высоте эллипса обрушения, казалось бы, излишний при других породах, может стать весьма целесообразным для мергелей.

Наблюдаются включения в мергели извести и глины. В глинах также иногда попадаются мергелистые прослои.

Мергели легко выветриваются, выщелачиваются, вымываются. Они нестойки в отношении мороза. Обладают незначительной прочностью. Горное давление всегда в мергелях довольно значительное. С увеличением притока воды отрицательные качества породы увеличиваются. При наличии воды горное давление быстро возрастает. Вид горного давления зависит отчасти от напластований.



Рис. 169. Прорыв вод в Симплонском туннеле.

Мергели иногда обладают обманчивым видом, кажутся относительно устойчивой породой, и даже опытные строители ограничиваются креплением туннеля, как для скалы средней твердости. При притоке воды давление быстро возрастает, что обычно влечет за собой провал.

При проведении туннелей особенное внимание следует обращать на *доступ к мергелям воды*. Начинается пучение и выпирание нижней части туннельной разработки.

Примером может служить Сурамский туннель.

Глины в значительной степени подвержены разрушению от выветривания. Потеря воды является фактором, весьма нарушающим пластичность этой породы. Это обстоятельство является довольно неблагоприятным в туннельном деле, так как давление горных пород от этого начинает постепенно увеличиваться, а вид горного давления изменяться по своему очертанию в неблагоприятную сторону.

Прекрасным примером сказанному может служить Хадыжинский туннель длиной 978,24 *м* на 166—167 *км* Армавир-Туапсинской железной дороги. Туннель залегает в нефтеносных глинах. Эти глины Хадыжинского туннеля (глины майкопской свиты) обладают большой склонностью к выветриванию и распадаются на мелкие листочки, образуя в обнажениях громадные осыпи. С такими осыпями выветрившихся нефтеносных глин пришлось иметь дело при входе в туннель с Армавирской стороны.

Прекрасный пример встречи с глинистым грунтом пердставляет постройка туннеля Джиови на линии Турин—Генуя. Длина туннеля 8297 *м*. Порода, в которой залегает туннель, состоит из глинистого сланца, глины и тощего мергеля, пересеченных тонкими слоями известкового шпата и известняка.

Вследствие выщелачивания и громадных сдвигов известковые слои нарушены. К глине имеется доступ воды, вследствие чего подвижность породы и склонность к сползанию и одвигам достигла высшего предела.

Апулийский водопровод (акведук) в южной Италии в Аппенинских горах имеет большое количество туннелей. Они залегают в серой несколько иловатой глине. Этот грунт при разработке в туннельной штольне обнаруживает крепость скальной породы, но при соприкосновении с водой (или даже с влажным воздухом) жадно впитывает ее, становится пластичным и превращается в мягкую иловато-серую вязкую массу. Насколько сильно влияет влага воздуха, видно из того, что после разработки породы динамитом и по установке крепей с течением времени начиналось набухание породы. Горное давление, до того времени почти отсутствовавшее, возрастало до весьма значительных размеров. Крепи разрушались. Было особенно неблагоприятно то, что сильное местное горное давление разрушало даже кладку выводимых сводов туннельной обделки. В результате всех этих неприятных обстоятельств возникла необходимость капитального ремонта

только что законченных туннелей. Постройка туннелей относится к 1911—1912 гг. Тогда же стали замечаться разрушения кладки в виде образования трещин и разрушения обделки, вывалов камней и пр. Разрушения увеличивались еще вследствие притока со стороны горы углекислых вод, а также от наличия выхода подземных газов (CO_2 и H_2S).

Вода

Приток воды в туннельную штольню [1] в одних случаях является обстоятельством неблагоприятным, вредным, а в других — наоборот (охлаждающим). Задача геолога в вопросе о воде сводится к двум главным случаям:

1. К указанию до начала работ относительно термальных вод.

2. Во время работ к решению, когда может неожиданно появиться большой поток воды, вскрыл ли забой скопление воды, которая скоро иссякнет, или же он открыл выход водоносному горизонту, борьба с которым будет продолжительной и затруднительной (рис. 169). [2]

Из практики постройки туннелей (по Евдокимову-Рокотовскому) известно много случаев, когда отдельные источники давали грандиозные количества воды. Надо при этом иметь в виду, что речь идет о максимальном расходе источника, бившего с такой силой крайне непродолжительный срок, и быстро падавшем. Максимумы эти по отдельным туннелям таковы:

Мон д'Орский туннель . .	от 3000 до 10000	*л/сек*
Симплонский	1200	„
Коль-ди-Тенда	1100	„
Боррукский	800	„
Вейсенштейнский	450	„
Гренхенбергский	370	„
Сен-Готардский	230	„
Вохейнский	200	„

Сильная трещиноватость всегда является обстоятельством, нарушающим водоносность горной породы, так как вследствие этой трещиноватости вода спускается на более низкие горизонты. Вместе с тем ненарушенность и цельность горного массива обычно должны гарантировать нас от какого бы то ни было, хотя бы небольшого притока воды.

Однако, далеко не всегда сильная трещиноватость горного массива может гарантировать нас от притока воды. В большинстве случаев эта трещиноватость становится причиной проникновения в туннель воды в зависимости от режима грунтовых вод в верхних горизонтах и стоит в непосредственной и прямой зависимости от атмосферных осадков.

Примером может служить Сен-Готардский туннель. Вследствие сильной трещиноватости и нарушенности горной породы, вода ушла в более низкие горизонты, нежели те, где залегает туннель. Поэтому не наблюдалось никаких скоплений воды в горном массиве. Что же касается притока воды в туннель вообще, то приток воды зависел исключительно от питания массива из верхних слоев горного хребта.

Встреча с подземными водами бывает особенно часта в случаях залегания гипсов или известняков. Обладая высокой степенью растворимости, эти горные породы открывают воде возможность проникать на весьма большие глубины и образовывать пещеры, вследствие чего можно в таких районах встретить воду

---

[1] Большие трудности, вследствие наличия плывунов, пришлось преодолевать в самое последнее время Московскому метро, при проходке им туннельных штолен. По этому вопросу накоплен значительный опыт и выработан способ закрепления плывунов нагнетанием жидкого стекла и хлористого кальция.

[2] Для отыскания скоплений подземных вод весьма применимы два из геофизических разведочных методов — сейсмический и метод радио-волн (электромагнитных).

при весьма глубоком заложении туннеля. Будучи полны воды, эти пещеры обычно являются причиной появления сильных водных источников.

За время с 27 января 1913 г. по 20 июня того же года на южной стороне Гренхенбергского туннеля вышло из массива 6 млн. *куб. м* воды. При постройке Симплонского туннеля, как указано выше, на протяжении 19,8 *км* было встречено 237 водных источников. Примером сильно водоносного туннеля является Джаджурский туннель. Двупутный, длиной 1705,3 *м*, этот туннель находится на 195—197 *км* на линии Тифлис—Джульфа Закавказских железных дорог.

Породы, где залегает этот туннель, более или менее однообразны: андезитовая туфовая лава, то однородная плотная темнозеленого цвета, то конгломератная с крупными, а иногда очень мелкими включениями, иногда с толстыми прослойками песчано-глинистых пород. Местами лава обладает сфероидальной отдельностью или содержит крупные сферической формы включения.

Над туннелем протекает р. Джаджурка. В сухой летний период времени р. Джаджурка имеет расход воды, не превышающий 150—250 *л/сек*. Весной расход воды достигает своего максимума до 3000 *л/сек*.

Обследование, произведенное Евдокимовым-Рокотовским в августе 1927 г., убедило его в том, что причиной столь сильного притока воды в туннель является щебенистый с валунами слой, покрывающий туфовые скальные породы, и ряд прорезывающих туфы водоносных пластов. Источником воды является р. Джаджурка. Установлено с несомненной очевидностью, что приток воды в туннель находится в прямой зависимости от количества воды в р. Джаджурке и колеблется по временам года, как было уже сказано, от 300 до 3000 *л/сек*, т. е. иначе говоря, бывают периоды времени, когда в туннель проникает воды почти столько же, сколько течет и в открытой пойме р. Джаджурки.

Встреча с сильно водоносными грунтами бывает при постройке туннелей довольно часто. Приходится перехватывать грунтовые воды на их пути в направлении к туннелю, устраивая для этого вспомогательные водоотводные галлереи.

Выдающийся пример такого рода работ представляет собой Габасский туннель во Франции на линии железной дороги Дакс—Пюйо. Длина туннеля 286 *м*. Он залегает в сильно водоносных песчаных и мелкощебенистых грунтах. Уровень грунтовых вод на 15 *м* выше низа туннеля. Таким образом, весь туннель страдает от сильного притока воды. Постройка туннеля обыкновенным способом была невозможна.

Наконец, было решено пробить по обе стороны строящегося туннеля систему галлерей. Эти галлереи в количестве по 5 с каждой стороны были расположены в расстоянии 12 *м* по одну сторону и 15 *м* по другую сторону от оси туннеля. Все галлереи возводились, начиная с нижней, постепенно кверху и расположены параллельно туннелю. Нижняя галлерея пробита на уровне подошвы нижней направляющей штольни, а верхняя галлерея — на уровне горизонта высоких грунтовых вод. Устроенные таким образом дренажные галлереи были заполнены камнем внаброску. С течением времени, благодаря этим дренажным галлереям, уровень грунтовых вод понизился. После этого уже без всяких затруднений работы по постройке туннеля были закончены.

Не менее интересный пример дает туннель № 5 на 810—811 *км* Московско-Казанской железной дороги возле ст. Дружинино. Длина туннеля 1279,4 *м*. Туннель расположен под Уфалейским хребтом, представляющим в данном месте небольшой перевал. Туннель залегает в седловине между горами Пеньковая и Белая. Весьма пологие склоны этих гор по направлению к седлу состоят из каменных массивов с небольшим покровом из глины и чернозема.

Наблюдается заболоченность. Эта заболоченность настолько велика, что питает ручейки Ильмовку, Хомутовку, Шайтанку и др., равным образом и песчаные прослойки и даже целые пласты в самом массиве. Туннель залегает в талько-хлоритовых сланцах с жилами кварца. В подходных выемках и на некоторых протяжениях туннеля залегают глины со щебнем и прослойками песка. В туннеле наблюдается приток грунтовых вод. Но особенно сильно присутствие грунтовых вод отражается на устойчивости обеих подходных выемок.

При постройке Сурамского туннеля приток подземных вод создал много препятствий для работ. Наибольшие препятствия сказались на восточном участке, где было вскрыто несколько сильных источников, дававших большое количество воды.

Приток воды в общей сложности достигал 320 *л/сек*.

В 1911—1912 гг. были предприняты капитальные работы по осушению туннеля и по регулированию притока воды.

В 1927 г. Евдокимов-Рокотовский вторично обследовал Сурамский туннель и нашел, что за последние 15 лет приток воды в туннель значительно понизился; хотя в некоторых местах до сих пор наблюдается еще сильный ток воды, однако расход воды для всего туннеля упал до 5—12 *л/сек.*

Причина сильной водообильности туннеля заключается в водопропускающей способности некоторых пластов горных пород. Песчанистые грунты, известняки и прославившиеся своим пучением мергели Сурамского туннеля, образуя огромную сеть в массиве горы, собирали воду на далеком расстоянии. С проведением туннеля режим подземных вод резко нарушился; только этим можно объяснить такое явление, наблюдавшееся в 1912 г., что на восточном участке туннеля на протяжении 250 *м* имеется около 120 родников, дающих от 1,5 до 8,5 *л/сек* (от 12 до 60 тысяч ведер в сутки) в зависимости от времени года и от снегопада. Уменьшение воды наблюдается ежегодно в период времени от июля до сентября.

Многочисленные, находящиеся в недрах земли, пустоты, называемые пещерами, кавернами и гротами, имеют большое значение при проведении туннелей, между прочим и потому, что при непроницаемых для воды самих по себе горных породах пещеры часто являются вместилищами подземных вод.

При постройке Гренхенбергского туннеля было встречено несколько пещер. Из них особенно замечательна одна огромная пещера, в некоторых своих частях полная воды. При обнажении этой пещеры получилось истечение воды с расходом свыше 800 *л/сек.*

При постройке туннеля 556—557 *км* Северо-Донецкой железной дороги в известняках встречались каверны, иногда полные воды. С проведением туннеля вода по трещинам горной породы выливалась из своих подземных резервуаров, причем приток воды был однажды настолько обилен, что залил не только направляющую галлерею, но и весь туннель слоем воды до 0,70 *м.* Одна из таких пещер пришлась на оси туннеля, благодаря чему удалось ее подробно исследовать. Наиболее сильный из открытых ключей имел расход воды до 50 *л/сек.*

Совершенно своеобразный вид пещеры встречаем в туннеле № 11 «Шумихинском» на Кругобайкальской железной дороге. Туннель расположен в граните на месте террасовидного ступенчатого сброса, прикрытого древним обвалом. Вследствие сброса образовались узкие пещеры — щели. Некоторые такие пещеры заполнены глыбами и глинисто-щебенистым грунтом, но многие настолько велики, что остались ничем не заполненными. По одной такой щели-пещере, вскрытой при проведении туннеля, можно было пройти на 85 *м* в сторону от туннеля и опуститься вниз под туннель к Байкалу. Затем была еще одна интересная пещера, настолько широкая, что в нее свободно можно было входить. Массив горы вообще здесь разбит многочисленными трещинами. Порода сильно нарушена трещинами, и образуются вывалы.

Вообще же дренаж, часто необходимый при проведении туннеля, усиливает движение подземных вод, т. е., обратно, туннель должен быть проводим так, чтобы их режим не изменялся; иначе говоря, туннель должен быть отверстием не только с абсолютно водонепроницаемыми стенками, но и отверстием, стенки которого должны быть связаны с окружающими породами в одну непрерывную водонепроницаемую массу (тщательной выемкой и бетонированием). Это увеличивает прочность туннеля, но повышает стоимость его проведения.

Газы

По своему происхождению подземные газы могут быть разделены на три категории. К первой группе относятся газы, оставшиеся в недрах земли со времен образования земной коры и задержавшиеся там случайно в трещинах и пустотах. К таким газам относятся азот, водород, кислород и некоторые другие. Ко второй группе относятся газы, происшедшие от разложения остатков растительного и животного мира, главным образом при процессах обугливания, например углекислота, сернистый водород, метан и др. Наконец, третью группу составляют

газы вулканического происхождения. По составу своему газы этой группы весьма разнообразны.

Приведем примеры из практики постройки туннелей, по Евдокимову-Рокотовскому.

Встречи с газами при постройке туннелей довольно многочисленны и разнообразны.

При постройке Сурамского туннеля во многих местах туннеля из трещин пород выступали газы, которые от соприкосновения с пламенем моментально вспыхивали, что не раз служило причиной ожогов рабочих. Хотя выделение таких газов в одном и том же месте продолжалось обыкновенно недолго и поток газа быстро иссякал, но все же было крайне желательно предупредить скопление их в большом количестве, могущем послужить причиной взрывов. С этой целью над трещинами, из которых выделялось наибольшее количество газов, устраивались глиняные воронки, примыкавшие к грунту широкой стороной причем все соседние трещины тщательно замазывались глиной, выделяющиеся же через узкое отверстие воронки газы зажигались. Появление газов в Сурамском туннеле объясняется присутствием битуминозного песчаника, выходящегося в нескольких местах туннеля и содержащего более 2,5% битума.

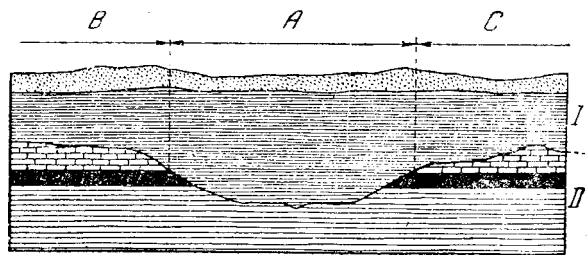


Рис. 170. Средняя часть свиты (*II*) была смыта и заполнена другой породой (*I*), в которую неожиданно может упереться проходка туннеля.

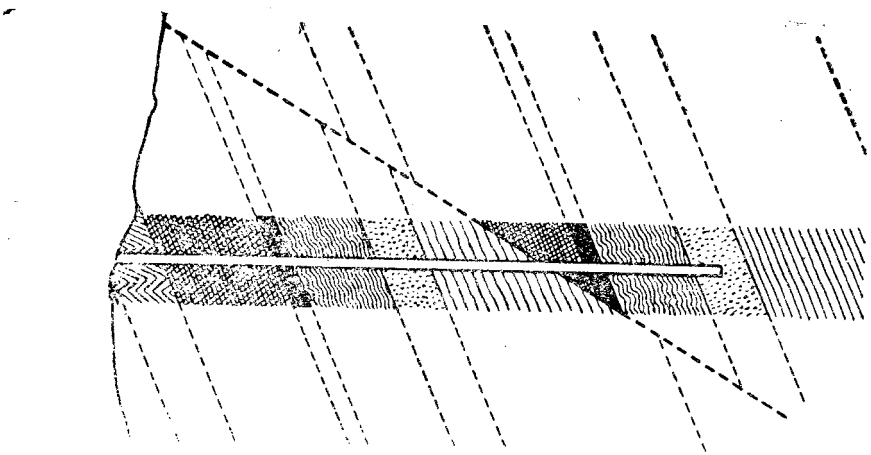


Рис. 171. Повторение пластов вследствие сброса.

Химический анализ этих газов показал, что они состоят главным образом из болотного газа метана (CH_4) с примесью малого количества чистого водорода.

Иногда скопление газов происходит незаметно. Трагический случай произошел при постройке Симплонского туннеля. Надо сказать, что при постройке этого туннеля вообще не было замечено появления каких-либо вредных газов из недр земли в сколько-нибудь заметных количествах. Но лишь когда северный и южный направляющие ходы близились к соединению (смычке), то со швейцарской (северной) стороны появились горячие водные источники. Чтобы предохранить

рабочих от потока горячей воды, были устроены железные ворота. Когда смычка произошла, то горячая вода устремилась в итальянскую сторону. При этом оказалось, что здесь за полным отсутствием вентиляции скопилось много вредных газов. Это была по преимуществу углекислота (CO_2).

Прорвавшись, они наполнили южный ход, и при этом два человека погибли.

По происхождению своему газы Симплонского туннеля глубинного происхождения. К такому заключению приводит, во-первых, то, что газы (CO_2) появились в месте смычки южного и северного туннельных ходов, там, где высота налегающего массива около 2 *км*, и во-вторых, то, что здесь был приток горячих вод явно глубинного происхождения.

Туннель № 5 Черноморской железной дороги принадлежит к числу довольно интересных туннелей нашего Союза. Длиной 665 *м* он находится на 72 *км* на юг от Туапсе, т. е. в 2 *км* к северу от Сочи. Массив горы состоит из сланцеватого, несколько песчанистого шифера, глинистых сланцев и глины. Падение пластов от 6 до 17° на восток. Крупных дислокационных трещин нет, но мелкие трещины, идущие в двух взаимно перпендикулярных направлениях, наблюдаются на обрывах и обнажениях. Здесь в этом туннеле еще со времени его постройки (1912 г.) наблюдается сильное выделение углеродистых газов. В настоящее время имеется два главных выхода газа на дневную поверхность.

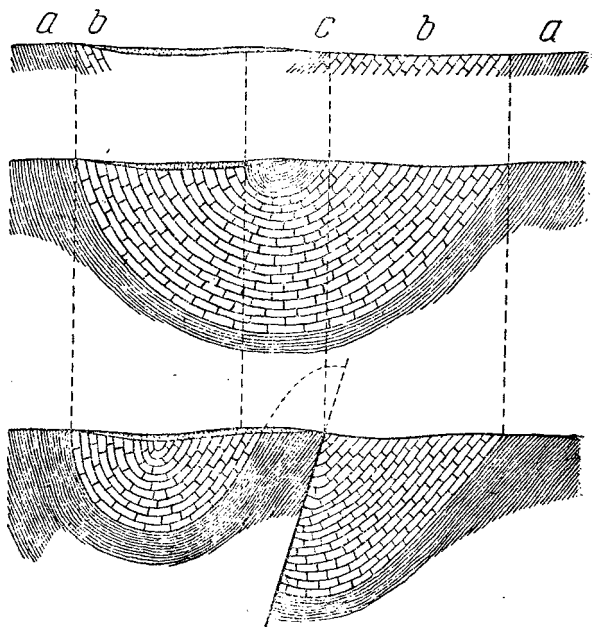


Рис. 172. На верхнем профиле — фактический материал, даваемый обнажениями, а на двух нижних — две разных способа его объяснения. Для разрешения вопроса необходимо бурение в точке *C*.

С левой стороны туннеля (на восток) эти газы выделяются из-за каменной обделки туннеля. С помощью трубки они собраны в один газовый поток и горят.

С правой (западной) стороны также имелся выход газов из-за обделки туннеля, но выделения газов в настоящее время нет.

Помимо этих двух источников углеродистых газов, наблюдается выделение их еще и поблизости туннеля во многих местах. Так например имеется колодец с выделяющимися газами в 80 *м* вправо (на запад), в 230 *м* от Туапсинского (северного) портала.

Газы в окрестностях этого туннеля наблюдаются весьма часто.

Появление газов наблюдалось также при постройке Лагарь-Аульского туннеля через Малый Хинган в 1911—1913 гг. на Восточно-Амурской железной дороге.

Заслуживает внимания встреча с газами при постройке туннелей Апулийского водопровода (акведука) в южной Италии. Этот водопровод расположен в горном массиве Аппенин. Его туннели залегают в серой несколько иловатой легко размываемой глине. При разработке порода обнаруживала твердость скальной породы, но при соприкосновении с водой (и с влажным воздухом) жадно впитывала ее и превращалась в вязкую массу. Уже в период постройки было замечено, что во многих местах кладка нарушается не вследствие давления окружающей породы, а от воздействия воды. Оказалось, что из горного массива во многих местах выходят углекислый газ CO_2, и сероводород H_2S. Эти газы в некоторых местах выходили ясно различными источниками, но в большинстве случаев были растворены в воде. Появление минеральных вод сказалось в виде сталактитов, натеков и в виде разрушения раствора кладки. В одном месте дело дошло даже до

прорыва через кладку воды сильно минерализованного источника, содержащего годную для питья углекислую воду. Повреждение газами стоит в прямой связи с тем, что сероводород разъедает как известковый раствор, так и кирпичную кладку. И то, и другое были в большом употреблении при постройке Аппулийского водопровода и его туннелей. Действие сероводорода частично сказалось также и на кладке из естественного камня, каковым служил известняк из неподалеку расположенных каменоломен. Газы, выступая даже в небольших количествах, разрыхляли известковый раствор и известняк, вследствие чего туннельная обделка должна была часто ремонтироваться и предохраняться защитным слоем. В туннелях даже в настоящее время можно наблюдать многочисленные трещины в обделке, вследствие просачивания минеральной воды. Большие источники газов были тщательно разысканы, взяты в трубы и закрыты пробками.

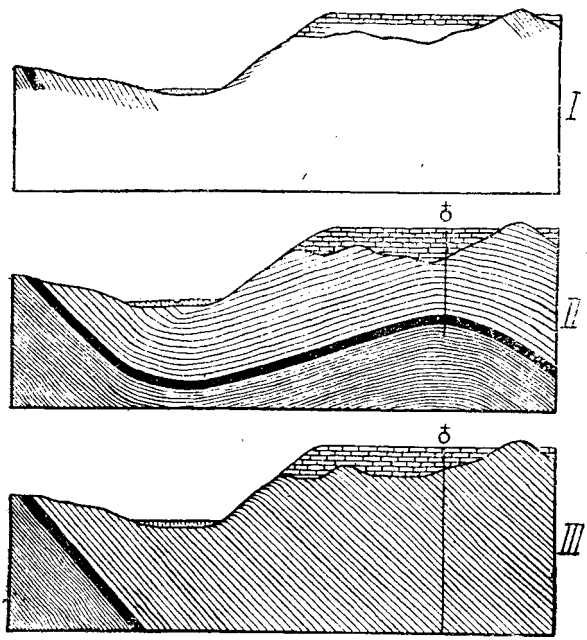


Рис. 173. Составленный на основании выходов на поверхность *I* разрез *II*; на самом деле много проще *III*. Необходимо было бурение в точке, обозначенной ♂.

Давление выходящих газов незначительно. Однако, если проба долгое время закрывает трубу, то при открывании ее газ выходит с заметным давлением. Исследования показали, что большей частью газ состоит из углекислоты, и только лишь 10% газа составляет сероводород. Ремонт в Аппулийских туннелях протекает в тяжелых условиях. При плохом проветривании газы действуют на слизистую оболочку, и рабочие часто отказываются от работы. Надо полагать, что газы Аппулийских туннелей вулканического происхождения.

Из сопоставления всех указаний практики и всех относящихся сюда теоретических соображений (например Левинсон-Лессинга), можно притти к заключению, что *благоприятными для большого горного туннеля условиями являются следующие:*

1) высокое положение над уровнем моря;

2) твердые, прочные породы и отсутствие частой смены пород;

3) отсутствие рыхлых, сильно пучистых пород;

4) в области слоистых или сланцеватых пород азимут туннеля должен быть направлен вкрест простирания пластов или плоскостей сланцеватости; при этом желательно крутое падение слоев;

5) отсутствие горячих источников и молодых вулканических образований.

Так как все эти условия зависят от геологического строения, то ясно, как важно правильное его определение до проведения туннеля.

Кроме рис. 169, приводим еще примеры возможных неожиданностей геологического строения (рис. 170, 171, 172 и 173).

§ 48. Добыча каменных строительных материалов

1. Устройство каменных ломок и карьеров для добычи щебня, глины, песка и т. д.

При устройстве ломок, карьеров и т. п. в первую очередь надлежит обратить внимание на расположение и геологические условия образования залежей, мощность, положение в свите пластов, отдельность и трещиноватость, степень чистоты и т. д.

Географическое положение определяет возможность дешевого вывоза и стоимость доставки добываемой породы к местам потребления. От суммы затрат по добыче и стоимости фрахтов зависит, насколько определенное месторождение может конкурировать с другими. Расположение месторождения на водном пути, вблизи большого города или от железной дороги уменьшает стоимость перевозки и обеспечивает необходимый спрос. Только для пород, к которым предъявляются повышенные требования в отношении прочности, окраски, полирования и т. п., вопросы фрахта имеют существенное значение.

Что же касается геологических условий залегания месторождения, то необходимо еще до начала разработок произвести тщательное исследование при участии специалистов. В этом отношении и до сих пор нередко грешат экономией, поспешностью и невежеством. Там, где месторождение плохо обнажено, следует проводить пробные шурфы и разрезы, в некоторых случаях и пробное бурение, изображая их результаты на планах.

Глубина залегания месторождения определяет *способ разработки*, т. е. открыто с поверхности или же рудничным способом. Породы для чисто строительных целей добываются в большинстве открытыми разработками. Горнотехнические методы подземной разработки применяются преимущественно при добыче руд, угля, солей и т. д. Иногда и при добыче строительного камня приходится применять рудничную разработку, так например, если влажность породы в значительной мере облегчает добычу, или же если толща пустой породы достигает слишком значительных размеров, так что отвал ее оказался бы экономически невыгодным. Мощная толща, перекрывающая полезное ископаемое и состоящая из пустой или смешанной с ненужными веществами породы, удорожает и затрудняет разработку месторождения. Для более значительных толщ пустой породы иногда может быть рекомендована выемка ее при помощи экскаваторов, драг или землечерпалок. При наличии в достаточном количестве воды, при отсутствии возможности беспрепятственно отводить воду, рыхлый некрупный щебень, песок и др. могут выбираться при помощи дешевого гидравлического способа.

Мощность всего месторождения определяет, в особенности при рудничной разработке (руды, угли, соли), хозяйственную выгодность его эксплоатации. Увеличение мощности залегания породы играет существенную роль также и при разработке каменоломен. Штоки, купола, лакколиты и интрузивные залежи редко, если только форма их определена правильно, обманут расчеты о запасах породы. Иначе дело обстоит в менее мощных жилах, покровах и пластах, в особенности в том случае, когда подножие изверженного покрова образовано мощ-

ными массами обломочных пород; неопытный исследователь, особенно при сильно выветривающихся породах, может предположить наличие значительно более мощного месторождения разведываемой породы, чем это имеется в действительности. Там, где естественные обнажения не гарантируют правильного определения запасов, должны быть использованы пробные шурфы и бурение.

При определении ценности месторождения не последнюю роль играет также чистота породы. Появление грубых рухляков, включений смежных пород, более твердых или мягких сращений всегда чрезвычайно нежелательно, например вростки роговика в известняке, шаровидные конкреции в песчанике, разнородные прослойки в песчанике, мягких мергелях, известняках, туфах, лавах и т. п.; такие примеси и прослойки сильно мешают правильной разработке и сокращают часто применение породы, сводя его иногда совершенно на-нет.

Что касается рельефа местности, в которой располагаются каменоломни, то крутые склоны благоприятствуют их устройству и разработке. В них быстро и дешево удается подготовить выемочную стену, на них большей частью залегает лишь незначительной мощности покров щебня и горного мусора из посторонних пород, они облегчают откатку всех грузов, как то: наносов, необтесанных глыб и готового товара, и позволяют отводить воду при помощи простых открытых канав.

Зон нарушений техник по возможности должен избегать. В них, как и по соседству с ними, породы, как общее правило, сильно разрушены, часто разрыхлены изнутри или сильно складчаты, измяты и изогнуты. Из таких месторождений редко удастся добывать хороший строительный камень необходимых размеров, прочности и стойкости на выветривание. Разрезы и штольни сильно страдают в зонах нарушения, главным же образом в зонах смятия. Взрывы проявляют лишь незначительное действие, ибо газы могут распространяться свободно во все стороны, к тому же трещины сбросов, главным образом поперечные трещины, часто являются водоносными каналами и изливают в штольни большие количества воды, отвод которой иногда вызывает серьезнейшие затруднения. Наличие таких сбросовых линий и зон нарушения устанавливается по геологическим картам.

Только в виде исключения такие нарушения в строении гор приносят технику выгоду. Это бывает в тех случаях, когда в сбросовых трещинах имеется вода, могущая быть использованной для водопроводных сооружений, или же, если в зонах нарушений встречаются брекчии, обломки которых так сильно сцементированы, что образуют вполне применимый, а при удачной комбинации окраски обломков и красивый строительный материал.[1]

Направление падения слоев также может иметь существенное значение для разработки ломок. Отделению и откатке плит и глыб наиболее благоприятствует отлогое падение слоев в сторону от выемочной стены. Если слои падают, напротив, вглубь выемочной стены, то выемка отдельных глыб сильно затрудняется, так как их приходится всегда передвигать на некоторое расстояние вверх по лежачему боку

[1] Подробнее о разных случаях подземных выработок в отношении условий залегания см. в небольшом учебнике Д. Мушкетова — Основы геологии. 1931.

и потом опрокидывать через край выемочной стены. Поэтому при закладке новых каменоломень надлежит всегда обращать внимание на направление падения пластов (рис. 168).

Большое значение для разработки ломок имеют также условия отдельности пород. В совершенно свежих породах они с трудом поддаются учету и обнаруживаются яснее лишь в процессе выветривания. Слишком большое развитие плоскостей отдельности, проходящих на небольших расстояниях друг от друга, наоборот, может совершенно испортить в общем хорошую горную породу, разрушая ее на мелкие части. Тончайшие трещины часто могут быть обнаружены лишь при помощи микроскопа, почему каждому новому использованию еще не испытанной породы обязательно следует предпослать подробное микроскопическое исследование специалистами. За техническое использование разрушенных пород рационально браться лишь в том случае, если произошло прочное зарубцевание и заполнение образовавшихся ранее трещин, и если, кроме того, отдельные сцементированные обломки не обнаруживают следов внутреннего разрыхления. От применения же разрыхленных и пересеченных мельчайшими трещинами пород в качестве щебня или даже для изготовления бетона должно воздерживаться. Внутренне разрыхленная порода не сопротивляется ни давлению колес, ни усилиям, действующим на нее в кладках стен и других сооружений. Скалы, состоящие из тектонически сильно нарушенных пород, угрожают обвалом камней, на что необходимо обращать внимание при сооружении путей сообщения (железных дорог, шоссейных путей и т. д.).

2. Отделение пород и их обрабатываемость

Количество работы, потребное для отделения глыб породы, соответствует ее обрабатываемости, т. е. тому сопротивлению, которое порода противопоставляет своей обработке. До сих пор мы еще не имеем постоянного мерила степени обрабатываемости пород, ибо последняя зависит при одной и той же породе от применяемого при ее обработке инструмента.

Рабочие каменоломен делят породы, в зависимости от их обрабатываемости, на твердые породы (все свежие изверженные породы, кремнистые песчаники, многие гнейсы, кварциты, богатые кварцем филлиты и слюдяные сланцы, амфиболиты) и мягкие породы (известняки, доломиты, мрамор, известковые и глинистые песчаники, известковая накипь, магнезит, тальк и тальковый сланец, хлоритовый сланец, змеевик и др.).

По этому грубому подразделению уже становится очевидным, что обрабатываемость породы зависит не только от твердости составляющих ее минералов. Глинистый песчаник, например, состоит большей частью из зерен весьма твердого кварца, но в то же время должен быть причислен к мягким породам, ибо твердые зерна кварца, не разрезаясь, легко вырываются инструментом из мягкой промежуточной массы. Твердые породы обладают не только твердыми составными частями, но последние проявляют одновременно и высокую степень прочности сцепления. Свежесть породы и характер испытанных ею тектонических усилий имеют также существенное влияние на обрабаты-

ваемость; породы, сцепление которых ослаблено, например, начинающимся разложением или давлением горных масс, проявляют легкую обрабатываемость. Богатое содержание слюды облегчает обработку пород. В породах с большим содержанием кварца стальные сверла быстро становятся тупыми (при проходке гнейса в штольнях Симплонского туннеля приходилось, например, заново оттачивать и закаливать ежедневно около 10 000 ручных и 1 200 машинных буров).

Некоторые породы, состоящие уже сами по себе из твердых составных частей (как то: роговая обманка, авгит, полевой шпат и др.), приобретают благодаря плотной волокнистой (нефрит) или переплетенной (диабаз) структуре совершенно выдающуюся вязкость и сопротивляемость. Из таких горных пород первобытные народы изготовляли свои каменные топоры и т. п., в наше время предпочитают применять их также всюду там, где приходится ожидать появления значительных ударов, сотрясений, толчков и т. д.

Пористое сложение пород тем более содействует облегчению обрабатываемости пород, чем больше совокупность объема всех полостей.

Естественное влажное состояние также сильно облегчает обрабатываемость всех пород.

Для установления постоянных норм, дающих возможность сравнения отдельных пород по степеням их обрабатываемости и позволяющих составление более вероятных смет, неоднократно делались попытки классификации различных пород в зависимости от степени их обрабатываемости на отдельные группы.

1. *Слабый мягкий грунт.* Раскалывается и отрывается легко заступом или лопатой. Сюда входят: рыхлый, сыпучий песок, тощая глина, пахотная земля, рыхлый торф, рыхлые чистые дресвы и подобные им рыхлые образования, обладающие столь незначительным сцеплением, что разработка их происходит без применения особых усилий, причем на выемку одного кубического метра породы рабочий употребляет только 0,5—0,9 часа.

2. *Мягкая кирковая порода или твердый грунт.* Легко обрабатываются киркой: среднежирная глина, лёсс, плотно залегающая болотная почва, суглинки, глинистый гравий, щебень и дресва, рыхлый горный щебень, хрящи выветривания изверженных пород, рухляковые мергели, плотные пески и т. д. Отделение одного кубического метра породы требует в среднем от 0,9 до 1,5 рабочих часов.

3. *Кайловый грунт.* Трудно поддается обработке кайлом: обломочный (глыбовой) щебень, валунные глины и подобные им отложения, гипсовые породы, включая ангидрит, вязкая и сильно высохшая глина, тяжелые суглинки, твердые мергели, мягкие песчаники, плотно отложившиеся изверженные туфы, сланцевые глины, разрушенные кристаллические сланцы, очень крупный щебень и др. Взрывы порохом разрыхляют некоторые породы этой группы в столь значительной степени, что дальнейшая их разработка этим чрезвычайно облегчается. Потребное рабочее время: 1,5—2,3 часа на кубический метр.

4. *Ломкие горные породы* отделимы ломом, кайлом, клином и кувалдой. К ним принадлежат многие богатые слюдой слюдяные сланцы, большинство филлитов, тонкослоистые, перемежающиеся с глинами, песчаники и известняки, базальты с значительной отдельностью и фонолиты, тонкослоистые кварциты, ломкие изверженные породы, рых-

лые конгломераты, известковые мергели, хлоритовые сланцы, выветрелые породы, мелколомкий шифер и др. Потребное рабочее время: 2,3—3,3 часа на кубический метр.

5. *Среднетвердые породы* отделяются частью порохострельной работой (применение взрывчатых веществ наряду с ломом и клином): твердые, но ясно слоистые толстопластовые известняки, песчаники, доломиты, некоторые туфы изверженных пород, многие гнейсы и некоторые разновидности слюдяных сланцев, более твердые хлоритовые сланцы, среднетвердые конгломераты, массивные, но трещиноватые известняки и изверженные породы зоны выветривания твердых пород. Потребное рабочее время: 3,3—4,5 часов на кубический метр.

6. *Твердые горные породы*, поддающиеся разработке только при помощи взрывчатых веществ; применение стальных сверл с точки зрения хозяйственной еще вполне допустимо: мрамор, доломит, средней твердости изверженные породы, твердые песчаники и конгломераты, очень твердые, богатые кварцем глинисто-слюдяные сланцы. Расход рабочего времени — 4,5—6 часов, а пороха — 0,3—6,45 *кг* на кубический метр.

7. *Очень твердые горные породы*, отделимые только сильными взрывчатыми веществами. Стальные сверла срабатываются в породе, состоящей из твердых и к тому же весьма плотно связанных составных частей, столь быстро, что применение сверл с алмазными и корундовыми коронками оказывается экономичнее. К ним принадлежат очень твердые изверженные породы (базальт, диорит, перидотит и пироксенит, многие габбро, диабазы), вязкие кристаллические сланцы (массивные амфиболиты, роговообманковые породы). Расход времени — около 6—10 рабочих часов на кубический метр, а взрывчатых веществ — около 0,50 *кг* пороха или 0,85 *кг* нитроглицерина.

Там, где слои, обладающие различными степенями обрабатываемости, перемежаются часто как по вертикали, так и по горизонтальному направлению, при определении обрабатываемости всего месторождения указывается среднее значение.

Более точные данные для определения степени обрабатываемости получаются из результатов испытаний сопротивления на разрыв. Так как обработка пород основана, в конце концов, на отделении частей породы, т. е. на преодолении сопротивления разрыву, то значение последнего может служить масштабом для определения сопротивления обработке.

А. Розиваль исследовал взаимоотношения между сопротивлениями породы бурению и раздроблению. При этом сопротивление бурению измеряется количеством работы в килограммометрах, необходимой для проходки одного кубического сантиметра буровой скважины. Розиваль нашел следующие средние значения сопротивления бурению (переведенного на скважину диаметром в один сантиметр), выраженные в килограммометрах на один кубический сантиметр:

10	*м/кг*	соответствует	170	*кг/см²*	сопротивлению	раздроблению
20	„	„	350	„	„	„
30	„	„	520	„	„	„
40	„	„	690	„	„	„
50	„	„	860	„	„	„
60	„	„	1030	„	„	„
70	„	„	1200	„	„	„
80	„	„	1370	„	„	„
90	„	„	1560	„	„	„

100	*м/к*	соответствует	1720	*кг/см²*	сопротивлению	раздроблению
110	„	„	1880	„	„	„
120	„	„	2020	„	„	„
130	„	„	2150	„	„	„
140	„	„	2270	„	„	„
150	„	„	2350	„	„	„
160	„	„	2430	„	„	„
170	„	„	2500	„	„	„
180	„	„	2560	„	„	„
190	„	„	2636	„	„	„

Рекомендуется дополнять определение обрабатываемости породы исследованием плоскостей излома. Если, например, в породах с непосредственным зернистым сцеплением наблюдается прохождение плоскости излома через зерна, то из этого можно вывести заключение, что сцепление зерен прочнее внутренней связи вещества самих зерен, если же зерна появляются на поверхности излома оторванными друг от друга без повреждений самого зерна, то твердость составных частей породы превышает степень их сцепления; наконец, сцепление зерен и внутренняя связь их вещества находятся приблизительно в равновесии, если в плоскости излома часть зерен разломана, другая часть ее только вырвана из сложной массы породы.

Микроскопические исследования чрезвычайно облегчают определение способа сцепления зерен, их сложения и т. д., т. е. определение данных, сильно влияющих на обрабатываемость горных пород.

Хрупкость некоторых пород нередко увеличивает успех работ, являясь в то же время в большинстве случаев нежелательной, ибо способ и направления происходящего отделения при этом не поддаются никакому расчету. Она представляет свойство некоторых пород образовывать трещины или даже распадаться, если они подвергаются сотрясениям, толчкам, ударам и т. п.; плоскости отделения часто тянутся на большие протяжения, как это, например, наблюдается в мраморах, очень чувствительных к действию взрывчатых веществ. Подобные породы выдерживают равномерную не быстро меняющуюся нагрузку, но не прочны, и поэтому их не рекомендуется употреблять ни в качестве щебня для шоссейных дорог или верхнего строения железных дорог, ни в качестве фундаментов для машин, мостов, мостильного камня и т. п. Степень хрупкости уже часто выявляется в породе при выемке пробных кусков ее.

При проходе штолен суточная скорость работ при трех сменах достигала:

а) при ручном бурении:

Габбро	0,4 –06	*м*
Гнейсовый гранит, очень твердый	0,5—0,8	„
Фельзитовый порфир	0,4—0,7	„
Слюдяный сланец	0,6—1,0	„
Твердый доломит	0,5—1,0	„
Глинисто-слюдяный сланец	0,7—1,2	„
Пестрый песчаник	0,9—1,5	„
Третичный песчаник восточного Штейермарка	1,2—1,8	„
Мергели	1,3—3,0	„
Третичные глины сарматские	1,8—2,1	„
Третичный конгломерат (в Вохеймском туннеле) в среднем	3,5	„

Известняк с содержанием роговика (Вохеймский туннель) в среднем	2,21 м
Известняк в Босрукском туннеле	1,2—1,5 „
Палеозойский шифер (Вохеймского туннеля)	4,11 „

б) при машинном бурении:

Гипсовый песчаник Гауенштейнского туннеля	11,5—14,7 „
Юрский мергелистый известняк и т. д. (Гауенштейнского туннеля)	8,3—10,4 „
Юрский кремнистый известняк с роговиком (из Вохеймского туннеля)	4,4— 5,4 „
Кварцитовый гнейс (Готардской туннель)	3,0— 5,0 „
Гнейс (Монте-Ценерский туннель Готардской железной дороги) в среднем	4,1 „
Порфировый конгломерат (Брандлейтенский туннель Прусских казенных железных дорог) в среднем	2,9 „
Твердый известняк с жилами известкового шпата (Босрукский туннель)	6,0— 6,5 „
Кристаллические сланцы (Лечбергский туннель)	5,0 „
Гранит (то же)	4,7 „
Антигорийский гнейс Симплонского туннеля	4,5— 5,2 „

§ 49. Применение каменных пород для разного рода строительных целей

Добыча каменных строительных материалов представляет вопрос, на который инженер и строитель, наученные горьким опытом многочисленных неудач, обращают теперь все большее внимание. Правильный выбор строительного материала в каждом определенном случае предполагает, с одной стороны, знание всех предъявляемых к нему целями сооружения требований, с другой же стороны, и знакомство с геологическими условиями окрестности места постройки или применения материала. Без привлечения опытного геолога в большинстве случаев не обойтись.

Поиски каменной породы, пригодной для определенного рода технических целей, облегчаются изучением и справками в имеющейся специальной литературе, в соответствующих геологических картах, в местных общественных и частных коллекциях, расспросом местных строителей, каменотесов, учителей, старожилов и исследованием валунов рек и ручьев. Личные исследования в поле послужат к получению дополнительных данных. При этом надлежит обращать особое внимание на процессы выветривания, наблюдаемые, например, в ломках, отвесных скалистых стенах, на каменных полянах, валунных полях и т. п. Ржаво-бурые пленки выветривания на породах, как общее правило, являются плохим признаком и указывают на присутствие легко разлагаемых, содержащих железо минералов, как например биотит, гранит, хлорит, глауконит и т. д. Каменоломы восточного Штейермарка выдерживают, например, добытые глыбы базальтового туфа по меньшей мере в течение года, выбирая из запаса их только те, которые за это время оказались стойкими на выветривание; остальные, обнаруживающие заметные явления выветривания, идут на свалку. Поэтому при разведках строительного камня не следует упускать из виду имеющихся в каменоломнях старых запасов добытой породы, подвергая их подробному исследованию. Далее рекомендуется посетить и тщательно осмотреть по возможности большее ко-

личество старых построек, при сооружении которых применялись известные породы; степень, в которой материал — в особенности в более старых постройках — оправдал свое назначение, позволяет тогда судить о применимости его для намеченных целей.

Если, наконец, определен ряд месторождений, оказывающихся удовлетворяющими предъявляемым требованиям, то для окончательного выбора надлежит произвести подробное исследование пород уже в лабораторных условиях с точки зрения намеченных к осуществлению задач.

По этому вопросу Терцаги пишет:

«Результаты произведенных в лаборатории исследований, строго говоря, действительны только для испытанного материала, с большей степенью вероятности они могут считаться справедливыми также и по отношению всех тех, встречающихся в природе, горных пород, которые по своим петрографическим свойствам в значительной мере сходны с исследованным образцом. Но ни в коем случае нельзя распространять результаты испытания на все горные породы данной каменоломни даже и в том случае, если они принадлежат к одной и той же разновидности. Отсюда следует правило — производить отбор предназначаемого для исследования материала с величайшей тщательностью.

Взятие пробы для петрографического исследования простирается на все разновидности горной породы данной каменоломни, включая разности с разной степенью и характером процесса разложения породы у поверхности и близ сбросов и жил. Первые из них дают основание для суждения о степени подверженности породы выветриванию, последние указывают на изменение качества материала под влиянием более молодых тектонических и вулканических процессов. Из возможно большего числа мест берут пробы размерами около 9 *куб. см*, наносят места взятия проб на карту и отмечают примерное количественное соотношение между отдельными типами пород.

В то время как при относительно недорогих петрографических исследованиях желательно иметь дело с возможно более многочисленными образцами пород, для дорого стоящих и длительных механических испытаний рекомендуется производить отбор сравнительно небольшого числа, но зато наиболее характерных образцов породы. Само собой разумеется, что приходится принимать во внимание лишь разновидности тех пород, которые предусмотрены также и планом предстоящего практического применения их. Для строительных камней и мостовых плит выбирают глыбы, размер которых обусловливается числом предстоящих отдельных опытных испытаний. Они добываются при условии применения минимального усилия, нумеруются, и места взятия их отмечаются на карте. Никогда не следует забывать отмечать на образцах разноцветными штрихами положение плоскостей слоеватости, отдельности, простирания и падения пластов и т. д. Если материал предназначается исключительно для переработки на щебень, то от каждого сорта породы берут пробные образцы в таком количественном отношении, чтобы получить смесь, отвечающую среднему составу щебня из данной каменоломни. Смотря по размерам каменоломни и разнообразию встречающихся в ней типов пород, возможно бывает обойтись количеством пробного материала в размере от

20 до 50 *кг*. Для определения сопротивления материала давлению и изнашиванию, согласно Гренту, на каждую пробу щебня следует брать по образцу наиболее твердого и наиболее слабого из тех сортов пород, которые имеются, в количествах, могущих оказать влияние на качественный состав щебня.

При наличии задания на галечники и пески, добытый из шурфов и разрезов материал испытывается на пригодность и крупность зерна, путем просеивания, причем негодная часть его выражается в процентах от общего количества. Если материал в общем довольно однообразен, то ограничиваются взятием одной средней пробы; но если месторождение состоит из разносортных, отделимых друг от друга при добыче слоев, то каждый из них должен подвергаться особому опробованию. Для песков, согласно Гренгу, достаточно брать пробы весом от 5 до 10 *кг*, при грубозернистом материале пробы берутся в количестве до 100 *кг* и больше. Строить профили на основании полученных из шурфов данных в случае рыхлых пород следует с осторожностью, ибо осадочные образования часто проявляют резкую изменчивость.

Так как целесообразный выбор материала для опробования требует больших познаний из области петрографии, то лучше всего поручить это дело опытному геологу, который может выполнить также и необходимые петрографические исследования. Пробы, в особенности если дело сводится к экспертизе товара, должны упаковываться в коробки или мешочки таким образом, чтобы была исключена возможность какого-либо умышленного или неумышленного подмена или изменения пробного материала. Обстоятельства, при которых производилось взятие проб, а также данные относительно личности и квалификации исполнителя, работы должны точно отмечаться в свидетельствах об испытании материала, так как это служит основанием для суждения о степени надежности подобных свидетельств».

Необходимо определить следующие свойства пород:

Строение. Наиболее удобными для строительных целей являются породы с беспористым строением, выдерживающие большую нагрузку и сопротивляющиеся выветриванию лучше, чем пористые или даже дырчатые (губчатые, ноздреватые) каменные породы. В этом отношении предъявляемым требованиям лучше всего удовлетворяли бы кристаллические сланцы, если только их сложение не сводило бы на-нет благоприятные следствия беспористого строения. Пористые строительные камни имеют тот недостаток, что высасывают из строительных растворов слишком много влаги; для избежания нарушения соединений они должны сильно смачиваться до употребления. От применения мелкопористого щебня лучше воздерживаться.

В ноздреватых породах, как например в некоторых известняках, ячеистых доломитах и т. п., несчастные случаи при взрывных работах вызываются нередко тем обстоятельством, что частицы взрывного заряда проникли в полости, примыкающие к буровой скважине, и воспламеняются с некоторым опозданием. От таких случаев можно обеспечиться забивкой буровой скважины глиной.

Мелкопористые породы могут быть использованы для построек, возводимых под открытым небом, лишь в виде исключения, но рекомендуются зато в качестве строительного материала для применения внутри зданий во всех тех случаях, когда приходится обращать вни-

мание на легкость материала, воздухопроницаемость и теплопроводность. При этом получается некоторая выгода также вследствие экономии в стоимости доставки породы, обладающей значительно пониженным удельным весом. В таких условиях ценность таких пород, как пенистый известняк, известковая накипь, пемза и т. п., возрастает тем больше, чем легче они поддаются обработке.[1]

Зернистость и сцепление зерен. При остальных равных условиях породы в общем тем тверже, стойче на выветривание, прочнее, но зато более трудно обрабатываемы, чем мельче их зерно. В каменных породах с порфировой структурой при этом играет существенную роль не только величина и количество вкрапленностей, но также и мелкозернистость основной массы. Последняя не должна быть только стекловидной.

Обозначения величины зерна различных каменных пород далеко не всюду равнозначущи. Изверженные породы называют тонкозернистыми, при преимущественном среднем диаметре частиц около 2 *мм*:

мелкозернистыми	2— 3 *мм*
среднезернистыми	3— 5 „
крупнозернистыми	5—10 „
очень крупнозернистыми	10—20 „

Из осадочных пород обозначаются тонкозернистыми (плотными), если средний диаметр их зерен около ½ *мм*:

мелкозернистыми	$^1/_4$—$^3/_4$ *мм*
среднезернистыми	$^3/_4$—$^5/_4$ „
крупнозернистыми	$^5/_4$—2 „
грубозернистыми	2—3 „

Способ сцепления отдельных зерен в породах в высокой степени влияет на технические важные свойства каменных пород, как например на снашиваемость, обрабатываемость, стойкость на выветривание, последующую обрушимость и др. Первым долгом надлежит противопоставить породы с непосредственным сцеплением зерен тем породам, в которых отдельные составные части не соприкасаются непосредственно, а разделены некоторой промежуточной массой (породы с посредственным сцеплением зерен).[2]

Чем плотнее соприкосновение зерен друг с другом, чем больше плоскость соприкосновения и чем меньше поверхность могущих встретиться полостей или пустот, тем выше будут технические качества породы. Большая плотность соприкосновения характерна, например, для переплетенного строения (офитового); мелкое зерно также считается признаком хорошего сцепления. Между мраморами и кварцитами встречаются разновидности, отдельные зерна которых не обладают ни округлыми, ни угловатыми очертаниями, обнаруживая зато разнообразные искривления и выпуклости; каждый выступ одного зерна входит в соответствующее ему углубление соседнего, и таким образом получается чрезвычайно прочное сцепление зерен. Сахаристо-зернистое строение многих доломитов не гарантирует прочного сце-

[1] См. изданную Институтом «Поверхность и недра» карту строительных материалов Европейской части СССР и сборник «Нерудные ископаемые» III, 1927 г. КЕПС. Академия наук. Ленинград.

[2] В Крыму раковинные известняки керченские и евпаторийские.

пления зерен. К породам с прочным непосредственным сцеплением принадлежат также кристаллические сланцы, но благоприятное действие плотного сцепления здесь отчасти сводится на-нет сланцеватым сложением. В породах, содержащих слюду, сцепление листочков слюды со смежными минералами может считаться вполне достаточным; но легкая раскалываемость слюды вызывает разделение всей породы, чем обусловливается причисление слюд к телам, ослабляющим внутреннюю связь горных пород.

Посредственное сцепление зерен встречается часто в обломочных породах (песчаниках, брекчиях, конгломератах и т. п.). Здесь прочность, обрабатываемость, стойкость на выветривание и снашиваемость породы зависят в первую очередь от свойств промежуточной массы. При описании песчаников уже указывалось, что мягкие промежуточные массы считаются только заполняющим средством, в отличие от твердых, придающих породам действительную прочность и называемых цементами.

Сцепление зерен исследуется при помощи увеличительного стекла и под микроскопом. Численно оно выражается *числом сцепления*, т. е. количеством зерен, оказывающихся связанными с каждым отдельным зерном в плоскости шлифа, и *степенью сцепления*, т. е. произведением из полного объема зерна и суммы его частей, связанных с смежными зернами.

Обрабатываемость. В дополнение к сказанному по этому вопросу выше; при добыче строительного камня надлежит иметь в виду также и возможность легкой обработки для некоторых целей лицевых и нижних плоскостей. Хрупкие или мелкопористые породы обтесываются лишь с большой трудностью или же совершенно не обтесываются по определенным линиям; сланцеватые породы, равно как и многие слоистые, хотя и позволяют вытесывать хорошие ровные поверхности, но обламываются зато часто неправильными очертаниями в стыках и швах. В общем же возможность соответствующей обработки необходимых плоскостей зависит в высокой степени от свойств и способов применения в работе инструментов; инструментами, действующими наподобие пилы, достигаются, конечно, более ровные плоскости, чем инструментами рубящими или бьющими.

Изнашивание породы определяется уменьшением ее массы при ее применении, оно имеет много общего с обрабатываемостью: например, также зависит от твердости преобладающих составных частей породы, от их количественного отношения по сравнению с другими составными частями и, наконец, от степени прочности сцепления зерен.

Что касается твердости составных частей породы, то она определяется тем, что пробная поверхность величиною в 4 $см^2$ шлифуется корундовым порошком (диаметр частиц 0,2 *мм*) в течение 8 минут; количество массы, утрачиваемое породой при шлифовке, является для минералов мерилом их твердости, для каменных же пород — мерилом для их средней твердости, т. е. их изнашивания. На этой основе Розиваль создал абсолютную шкалу изнашиваемости, исчисляя отношение уменьшения объема при шлифовке к затраченной для этого работе. При этом у него получились следующие значения в метрокилограммах, потребных для отшлифования 1 кубического сантиметра пробного тела минералов и образующих шкалу твердости Мооса.

Твердость	I. Тальк	49,6
„	II. Каменная соль	109
„	III. Полевой шпат (среднее значение)	202
„	IV. Плавиковый шпат	210
„	V. Апатит	322
„	VI. Ортоклаз (на конечной плоскости)	947
„	VII. Ортоклаз (на продольной плоск.)	1305
„	VIII. Кварц	5250

Исследования Розиваля для пород показали следующие цифры, являющиеся значением не только для абсолютной твердости, но также и для сна-шивания:

Кремень	7900 *м/кг*	на 1 *см*³
Лидит	5875 „	„
Роговик	5555 „	„
Кварцит из Полички (Чехия)	4000 „	„
Тонкозернистый (микро) гранит	2770 „	„
Наиболее твердые мостильные граниты	2200 „	„
Пористый кварцит	2200 „	„
Твердый венский песчаник (для щебня)	1.215—1500 „	„
Глинисто-слюдяный сланец	122 „	„
Хлоритовый сланец	111,8 „	„
Тальковый сланец	51,5 „	„

Шлифовка параллельно плоскости сланцеватости.

Бо́льшая равномерность изнашивания требуется от точильных камней. Неравномерная изнашиваемость образует неровные рабочие поверхности точила. Относительная шероховатость желательна в породах, идущих на мельничные камни (жернова), также при применении породы для изготовления ступеней, тротуарных плит, мостильных камней и т. п.

В этих случаях применения породы с равномерной по всей площади изнашиваемостью стали бы скоро скользкими (как например базальт, змеевик), затрудняя человеку и животным хождение по ним. Но неравномерность в изнашивании должна меняться во всех точках рабочей поверхности и не должна встречаться целыми более или менее значительными площадями, ибо в последнем случае в плитах образовались бы выпуклости и углубления; такое изменчивое изнашивание обнаруживает ряд кристаллических сланцев. Породами с выгодно проявляющимся неравномерным изнашиванием являются, например, граниты, порфиры с мелкими вкрапленностями, многие липариты, диабазы и т. д. Плотные полирующиеся известняки («мраморы» каменотесов) часто содержат глинистые прожилки, легко размягчающиеся в воде и изнашивающиеся в очень короткий срок; такие породы нецелесообразно употреблять в качестве материала для полов или панелей.

Сопровождающим изнашивание явлением является образование каменной муки, которая дает в сухую погоду пыль, а в мокрую — грязь; тончайшие чешуйки слюды, отделяющиеся при изнашивании гранитных мостовых и подолгу остающиеся взвешенными в воздухе городов, действуют раздражительно на слизистые оболочки дыхательных органов. Что же касается применения различных каменных пород в качестве отсыпки шоссейных дорог, то надлежит в первую очередь иметь в виду требования, предъявляемые грузооборотом и условиями

сообщения по данной дороге. Для мало проезжих, не употребляемых грузовыми автомобилями, дорог плотные известняки, доломиты и т. п. доставят отличную отсыпку. Повышенных требований, в особенности требований автогрузового транспорта, такие дороги удовлетворить не смогут; при солнце по таким шоссейным дорогам едешь как по муке, при дожде — по глубокой грязи. В таких случаях наиболее целесообразно применять для отсыпки базальт или диабаз, вязкие амфиболиты, диориты, не содержащие стекла порфиры с мелкими вкрапленностями, сиениты, граниты и др. Базальт, диабаз и диорит особенно удобны для применяемого за последнее время на дорогах с большим автогрузовым движением мелкого мощения «клейнпфластер» (размер отдельных камней 7—9 *см*.

В некоторых областях пыль и песок, переносимые ветрами, быстро стирают и полируют камни стен, если последние состоят из более мягких пород; неравномерно изнашивающиеся строительные камни получают в таких случаях разъеденный вид.

Делимость. Делимостью называется свойство пород более или менее легко делиться (раскалываться). Делимость является всесторонней, если порода делится по всем направлениям приблизительно одинаково хорошо. Она обусловливается аморфным строением породы, а также тем, что порода не содержит значительной примеси минералов, обладающих высокой спайностью и стремящихся сделать это направление господствующим. Бедные слюдою и богатые кварцем породы в большинстве обладают такой всесторонней делимостью. О определенно направленной делимостью мы сталкиваемся в тех случаях, когда деление по 2—3 определенным направлениям происходит более легко, чем по остальным. Она обусловливается наличием в породе минералов с высокой спайностью, например слюды, параллельным расположением составных частей породы или же различиями в сцеплении, образовавшими неоднократно упоминавшиеся плоскости отдельности под влиянием высыхания, остывания, давления горных масс и др.

В зависимости от применения породы желательна в одних случаях более высокая, в других более низкая степень делимости. Совершенная делимость по ровным, гладким плоскостям требуется для кровельных сланцев, литографского камня (Зольнгофская плита) и т. п. Излишек делимости строительных камней может оказаться вредным, ибо он вызывает иногда внезапное откалывание частиц. По своей форме наименее совершенная делимость проявляется в раковистом изломе, нередко наблюдаемом во многих плотных, часто аморфных, твердых и хрупких массах (вулканическое стекло, кварцевый камень, халцедон, базальт и т. п.). Раковистый излом верхней поверхности мостильных камней делает их края слишком острыми.

Прочность. Прочность пород довольно подробно разбиралась выше. В зависимости от целей применения строительного камня придется обратить при его исследовании главное внимание либо на определение его временного сопротивления раздроблению, сжатию, как например при сооружении сводов, высоких плотин, мостовых пролетов, либо же произвести также испытание сопротивления породы на изгиб, разрыв и срезывание. При испытании нельзя удовлетворяться средними данными их, а необходимо требовать также сообщения результатов отдельных испытаний, в особенности же максимальных и минимальных зна-

чений; если последние часто и являются лишь случайными данными, то они представляют все же иногда ценнейшие отправные точки для определения равномерности состава породы, указывают в некоторых случаях на присутствие в каменоломне недоброкачественных или наоборот более доброкачественных разновидностей породы, вызывая тем самым производство дальнейших планомерных исследований прочности.

Наряду с испытаниями прочности рекомендуется производить также планомерное микроскопическое исследование пород, которое опять-таки часто дает ряд ценнейших указаний, дополняющих результаты механического испытания; испытание микроскопом дает, например, подробную картину строения, степени выветривания составляющих породу минералов, наличия тончайших волосяных трещин и др.

Размягчаемость. Размягчаемость породы выражает уменьшение прочности породы в зависимости от ее увлажнения. Отношение прочности в насыщенном влагой состоянии (F_w) к прочности в сухом состоянии (F_t) называется коэфициентом размягчения и исчисляется по формуле $l = \frac{F_w}{F_t}$. Коэфициент размягчения не только дает временные указания для определения состояния пород под водой, т. е. при сооружении фундаментов, подводных построек и т. п., но является также и мерилом стойкости на выветривание, возрастающей при остальных равных условиях с увеличением коэфициента размягчения; сильно размягчаемые водой породы все очень слабо сопротивляются разрушениям, производимым морозом. Размягчаемость сама по себе зависит в большинстве от свойств минеральных составных частей породы и от ее пористости; все глинистые породы, как то: мергели, мергелистые известняки, известковые мергели, сланцевые глины, глинистые сланцы, песчаники с мергелистыми или иными богатыми глиной связующими веществами, легко размягчаются в воде, в противоположность трудно размягчающимся богатым кварцем породам.

по Ганишу	F_t		F_w		l	пористость в сотых долях объема
У гранита (Грассштейн) Тироль	1223	*кг/см²*	1169	*кг/см²*	0,95	—
То же, Маутгаузен, Восточная Австрия	1612	„	1444	„	0,89	1,63
Кристаллического известняка Кросталя (Каринтия)	1359	„	1262	„	0,93	0,71

По мнению Гиршвальда, применяемые в подводных постройках песчаники не должны иметь коэфициенты размягчения меньше 0,9: части сооружений, непосредственно соприкасающиеся с почвой, требуют коэфициента размягчения, превышающего 0,85; такое же требование следует предъявлять породам, идущим на скульптурные части зданий; в карнизах и выступающих камнях коэфициент размягчения может понижаться до 0,8, а в гладких тесовых камнях в наземных постройках и до 0,75. Для известняков перечисленные данные должно увеличивать на 0,03—0,05. В кристаллических породах коэфициент размягчения не должен быть ниже 0,9.

Удельный вес и плотность. Удельный вес породы определяется ве-

сом единицы объема (включая и пустоты). Он определяется большею частью по заготовленным образцам взвешиванием их и измерением объема. Вес образца, высушенного до постоянного веса, разделенный на его объем, дает его удельный вес. Величина его зависит в первую очередь от плотности составных частей породы и пористости ее строения. Удельному весу строительных камней техникам следовало бы уделять больше внимания, чем это наблюдается обычно.

Тяжелые камни для подводных сооружений более пригодны, чем легкие, потому что они могут лучше сопротивляться воздействию движущейся воды. Вес кубического метра пористого известкового натечного камня равняется, например, под водой приблизительно 900 *кг*; кубический же метр обладающего вдвое большим удельным весом базальта весит в воде до 2300 *кг*, т. е. почти втрое больше легкой породы. В береговых подпорных (набережных) и портовых постройках, а также в значительных барражах тяжелый строительный камень, как например амфиболиты или основные изверженные породы, повышают при одинаковых размерах сооружения его прочность; при заданной прочности они позволяют экономить строительный материал как в отношении объема, так и в отношении размеров сооружения.

Легкие породы предпочитаются всюду там, где при помощи легкости конструкции стремятся к меньшей нагрузке частей сооружений, как например в сводах, потолках, высоких стенах и т. п. Так например, для большого купола Айи Софии в Константинополе в качестве строительного материала была взята легкая пемза. При этом, конечно, ни в коем случае нельзя упускать из виду прочность самого строительного камня.

Во всех тех случаях, когда значительная прочность роли не играет, применением легких пород достигается существенная экономия в стоимости. Если, например, для сооружения каменной постройки, не требующей значительной прочности, необходимо около 900 *куб. м* строительного камня, то для доставки строительного материала потребовалось бы при применении известкового туфа (уд. в. 1,7) в среднем около 102 железнодорожных вагонов с подъемной силой в 15 *т*, в то время как доставка того же (объемного) количества базальта (уд. в. 3,0) потребовала бы 180 вагонов.

Удельному весу породы часто противопоставляют плотность чистой массы породы, т. е. вес объемной единицы беспористой массы породы по исключении из нее полостей и пустот. Одно лишь выражение «плотность» часто вызывает смешение понятий, почему для обозначения удельного веса чистой массы породы рекомендуется применение термина «плотность массы породы». В породах с беспористым строением удельный вес породы и плотность массы ее равны, в пористых, прорезаемых пустотами, удельный вес всей породы тем больше понижается в отношении плотностей массы породы, чем больше сумма объемов полостей породы. Отношение удельного веса (*r*) к плотности массы (*s*) называется *коэфициентом плотности*, количество, дополняющее его до 1 — коэфициентом неплотности.

Стойкость на выветривание требуется от всех каменных строительных материалов, соприкасающихся с внешним воздухом и подверженных влиянию погоды, в особенности же действию солнца, мороза, дождя и т. п. Об этом уже говорилось в § 26.

Водонепроницаемость и влагоемкость. Водонепроницаемость имеющих техническое значение пород уже также обсуждалась выше.

Почти все породы обладают свойством впитывать воду, так как почти не существует пород, которые не имеют мельчайших трещин, щелей и капиллярных трубочек. Степень влагоемкости (W) пород зависит поэтому существеннейшим образом от взаимной связи, количества и величины мелких полостей, значит от пористости пород, т. е. от отношения суммы объемов пустот к общему объему породы. Она выражается отношением веса массы породы в сухом виде (g) к приросту веса в насыщенном влагой состоянии ($g_1 - g$):

$$W \text{ (в сотых долях)} = \frac{g_1 - g}{g} \times 100.$$

Способность породы извлекать из атмосферного воздуха водяные пары и осаждать их на стенках своих пор называется гигроскопичностью породы. В противовес ей пропитываемостью (имбибицией) называется свойство породы наполнять свои поры водой или какой бы то ни было жидкостью вообще; последнее свойство имеет, например, большое значение для применения кизельгура в динамитном производстве. Пропитываемость пористых камней можно понизить или даже совершенно уничтожить покрытием их поверхности раствором извести, песка и растворимого стекла.

Коэфициент насыщения (S) определяет долю общего объема полостей породы, заполняемую впитываемой водой при обыкновенном давлении. Он определяется насыщением образца породы водой сначала при нормальном давлении (g — вес впитанного при этом количества воды), а затем (g_1) под давлением 150 атмосфер: $S = \frac{g}{g_1}$.

Коэфициент насыщения представляет до известной степени приблизительное мерило сопротивления породы морозу. Поскольку мороз разрушает стены пустот лишь в том случае, если вода при замерзании не имеет места для расширения, то разрушение морозом произойдет по расчету лишь в тех породах, в которых коэфициент превышает цифру 0,90. В действительности же высший предел коэфициента насыщения стойких в отношении мороза пород находится значительно ниже, в среднем около 0,80, понижаясь при правильном размещении пустот параллельными слоями, при размягчаемости цементирующего породы вещества водой и в других подобных случаях до 0,7. Весьма важен при бетонном строительстве вопрос достаточного предохранения от промерзания цемента до его схватывания; без этого возможны тяжелые катастрофы.

Воздухопроницаемость. Воздухопроницаемость имеет большое значение для вентиляции и для циркуляции воздуха в надземных и подземных помещениях, как то: в жилых помещениях, конюшнях, погребах и т. д.; такого рода помещения тем здоровее, чем легче они впитывают различные испарения и выделяют их в наружный воздух. Непористые породы плохо пропускают воздух, являются хорошими проводниками тепла; они мало пригодны для возведения жилых построек и могут действовать вредно на здоровье заселяющих их. Значительно лучше пропускают воздух пористые породы (многие песчаники, известняки, доломиты, трахиты и т. п.), представляющие в то же время

и плохие проводники тепла; наилучшими же в отношении воздухонепроницаемости являются искусственные строительные камни, как например кирпич. Китайцы сооружают себе в лёссе очень здоровые и дешевые жилища. Погреба виноградарей в лёссе Ваграма между Кремсом и Тулльном (Нижняя Австрия) также хорошо вентилируются и не страдают от накопления затхлого воздуха. Для воздухопроницаемости породы имеют значение не все поры породы, лишь те, которые связаны между собой. Поэтому воздухопроницаемость породы, как и водопроницаемость, определяется не суммой объемов полостей, а специальными испытаниями.

Теплопроводность и нагреваемость. Способность пород принимать и вновь излучать тепло в общем незначительна, но все же больше, чем теплопроводность искусственных строительных материалов. Поэтому большинство естественных пород представляются в противоположность искусственном на ощупь холодными; только гипс и еще ряд пород с сильно пористым строением на ощупь кажутся теплыми.

Степень теплопроводности при аморфном строении по всем направлениям одинакова; в слоистых же, сланцеватых, волокнистых и пластовых породах тепло распространяется по направлению слоев сланцеватости, волокон или пластов с бо́льшей скоростью, чем перпендикулярно к нему. Это свойство имеет значение при прокладке штолен и туннелей (см. выше). Богатое содержание слюды увеличивает в сланцевых породах теплопроводность.

Теплопроводность зависит также и от степени трещиноватости и пористости пород. Если трещины открыты и зияют, как это часто наблюдается в известняковых горах, то они благоприятствуют циркуляции воздуха и повышают теплопроводность. Узкие щели и всякого рода мелкие поры в породе, заполненные плохо проводящим тепло воздухом, понижают теплопроводность породы. На этом свойстве и основано применение мелкозернистых пород, как то: кизельгур, пемза, и т. п., для кожухов ледников, холодильников, паровых труб и т. п. Пористые породы на ощупь теплые.

В отношении нагревания сухие породы с наполненными воздухом порами в сильной мере отличаются от влажных пород. Вода требует для своего нагревания большего количества единиц тепла (калорий), чем одинаковое количество воздуха, являясь к тому же и худшим проводником тепла; глинистые породы и почвы, упорно задерживающие впитанную влагу, нагреваются поэтому значительно медленнее и называются вследствие этого холодными; противоположностью им являются рыхлые песчаные почвы, поры которых легко выделяют влагу, быстро наполняются воздухом и столь же легко нагреваются. Произведенными опытами установлено, что глины, даже кажущиеся сухими, проводят тепло раза в три хуже, чем базальт, гранит или мрамор. Приблизительно на середине между этими значениями находится теплопроводность глинистых сланцев. В зданиях, построенных из базальта, вследствие сравнительно высокой теплопроводности его, летом жарко, а зимой холодно, в то время как стены из известкового пористого натечного камня сильно замедляют обмен тепла между внешним и внутренним воздухом, тем самым благоприятствуя более или менее постоянной температуре помещений. Нагреваемость имеет большое значение при сооружении различных тепловых аккумуляторов, имею-

щих назначением впитывать в себя по возможности большое количество тепла в короткий срок и быть готовыми к быстрой его отдаче.

Свойства плоскостей излома и окраска. Шероховатая или гладкая поверхность плоскостей излома влияет, как это указывалось выше, на равномерность изнашивания породы. Свойства плоскостей излома зависят от величины, твердости, делимости и строения отдельных составных частей, далее, от строения и очертаний поверхностей излома, которые могут быть либо ровными, либо раковистыми, занозистыми или клиновидными. Землистый вид плоскости излома, пенистое строение и т. п. являются признаками незначительной прочности и стойкости против действия мороза. Окраска плоскости излома определяет применимость каменной породы для украшений или поделочных работ, имея для обыкновенных технических целей лишь подчиненное значение. Окраска всей породы зависит от цвета составных частей, а в однородных простых породах (мрамор, алебастр) от цвета единственного составляющего их вещества. Если порода состоит из приблизительно одинакового количества нескольких минералов, то окраска ее будет тем спокойнее, цельнее и равномернее, чем она более мелкозерниста (мелкозернистые граниты, диориты, диабазы, базальты и т. п.). Если же какая-либо составная часть количественно преобладает, то цвет ее преимущественно и определяет окраску всей породы. Столь же важной, как выбор окраски строительного камня, является также стойкость этой окраски, отсутствие которой в более темных породах приводит к выцветанию или побурению, а в более светлых к изменению основной окраски в сторону ржаво-красной или темной.

Темноцветные вследствие примеси углистых веществ породы, как то: некоторые мраморы, кровельные сланцы и др., окрашиваются на открытом воздухе постепенным сгоранием (окислением) органических примесей сначала в серо-синий, потом в серый и, в конце концов, в беловатый и даже белый цвет. Приобретение породами бурых оттенков, напоминающее процесс ржавения железа в сыром воздухе, происходит преимущественно вследствие разложения примесей железного (серного колчедана или изменения магнезиальной слюды, причем выделяется бурый железняк; содержание серного колчедана в строительном камне может испортить самые красивые памятники строительного искусства. Красный цвет, происходящий от тончайше распределенной окиси железа (красный железняк), обычно оказывается стойким на выветривание. Железистые и марганцовые карбонаты вызывают при выветривании буроватую окраску, подобно железному колчедану и магнезиальной слюде.

Полируемость. Способность пород образовывать после соответствующей обработки гладкие, зеркальные поверхности для техники также имеет значение. Полировка углубляет окраску, уменьшает осаждение пыли, копоти, спор растений, ускоряет сток вредной влаги и растворов и повышает тем самым прочность.

На способность принимать полировку в первую очередь влияют строение и сложение породы; пористые породы, как то: трахит, шлаковые породы, пемза и т. п., не полируются, так же как сильно сланцеватые — слюдяной, хлоритовый сланец и др. Породы, содержащие мягкие или также землистые составные части (глинистые породы, мергели) полировке не поддаются. В породах с составными частями весьма

разнообразной твердости более твердые из них при полировке становятся зеркально-гладкими, в то время как более мягкие остаются матовыми; по этой причине некоторые порфиры с выветривающимися полевыми шпатами не поддаются полировке.

Что же касается отдельных составных частей каменных пород, то кварц и известковый шпат принимают наиболее быстро, полевой шпат немного медленнее гладкий, блестящий вид поверхности. Авгиты и роговая обманка полируются труднее. Незначительная твердость и совершенная спайность слюд не допускают их полировки, каковое обстоятельство оказывается чрезвычайно мешающим при полировании строительного камня с богатым содержанием слюды.

Хорошо в общем поддаются полированию граниты, сиениты, диориты, габбро, кварцевые порфиры, диабазы, алебастр, мрамор, многие плотные доломитовые и известковые породы, некоторые кремнистые песчаники, змеевик, офикальцит и т. д. С хорошо полированной поверхности можно удалить свежее чернильное пятно, не оставив заметных следов.

Огнеупорность. Огнеупорные вещества хотя и не являются совершенно неплавкими, но все же выдерживают чрезвычайно высокие температуры. Лишь небольшое количество пород считаются огнеупорными, так, графит, глина, кварцит, магнезит, тальк и тальковый сланец, бедные слюдой слюдяные сланцы, кремнистый песчаник, пемза, трахитовый туф, змеевик, несодержащий горного стекла полевошпатовый базальт. Богатые стеклом и полевым шпатом базальты расплавляются в огне, гранит растрескивается, карбонаты (известь, доломит, мергель) теряют свое содержание углекислоты и обжигаются, то же самое известковые и мергелистые песчаники. Глина тем более огнеупорна, чем менее она загрязнена щелочами, железными и марганцевыми солями, известью и т. д.

Огнеупорные камни для печей должны сопротивляться не только высоким температурам, но также целому ряду химических процессов; в этом отношении предъявляемым требованиям соответствуют в особенности кварц, обладающий к тому же и большой прочностью, глина и графит; весьма огнеупорен также и обожженный магнезит (MgO). Примеси часто значительно понижают огнеупорность пород; так например, огнеупорность глины и магнезита уменьшается примесями железа, примеси же марганца, извести, щелочей и частей кварца столь же вредно отражаются на глинах. При выборе пород для лестничных ступеней рекомендуется осторожность. Гранит, известняк и другие распадаются и растрескиваются при поливании водой во время тушения пожаров. Для испытания огнеупорности образцы породы нагреваются или накаливаются до очень высоких температур и потом быстро охлаждаются; образцы, сохранившие при этом внутреннюю связь и сцепление составных частей, могут считаться огнеупорными и выдержавшими испытание.

§ 50. Применение геологии в военном деле

Все сказанное о выемках железнодорожных (§ 46) относится, конечно, и ко всякого рода другим гражданским, так и особенно военным сооружениям, требующим колоссального количества земляных работ

как поверхностных, мелких, так и глубоких, захватывающих коренные породы. Ввиду своеобразности этих работ приведем некоторые примеры из опыта германских военных геологов.

Во всех военных подземных работах преследуется цель возможно ближе, легче, бесшумно и безопасно, в смысле обрушения и затопления, подойти к намеченной цели. Так как легкость обработки породы обратно пропорциональна обычно способности ее давать прикрытие от снарядов, то при проведении защитных галлерей и блиндажей выгоднее сначала итти, например, по мягкому пласту (в горизонтальном залегании), а затем уже войти в твердый, и т. п. В кровле и почве штольни, однако, надо иметь срочные породы. Глубина заложения галлерей (на

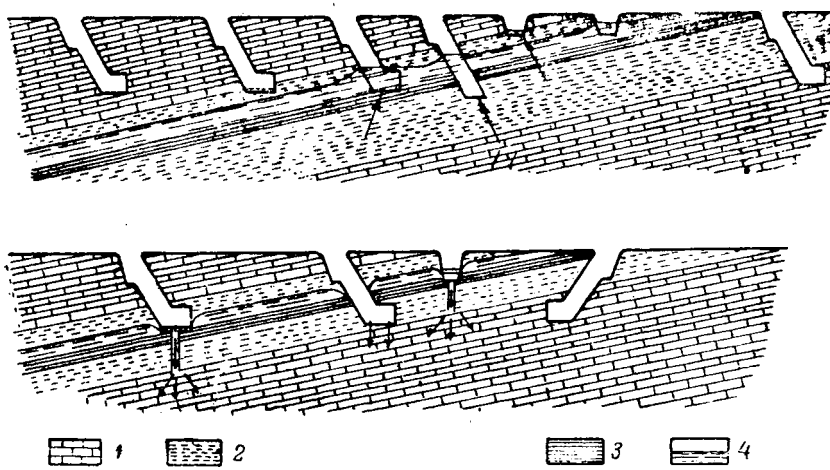


Рис. 174. Различное положение окопов в отношении водоносных горизонтов.

1—известняк; *2*—мергель; *3*—глина; *4*—водный слой.

германских фронтах 1915—1918 гг.) применялась в мягких грунтах в 10 *м* для прикрытия от снарядов 22 *см* калибра (Bombensicher) и 3 *м* от снарядов 15 *см* (Schussicher). [1] Одновременно ставится задача определять пространства, годные для таких позиций, исходя из соответственной глубины залегания грунтовых вод. На специальных геологических картах и условных к ним литологических разрезах следует

[1] Вес современных снарядов весьма велик (150 *мм* — 41 *кг*, 370 *мм* — 505 *кг*, 420 *мм* — 631 *кг*), а окончательные скорости до 350 *м/сек*. Эти данные достаточны для того, чтобы представить себе громадные силы ударов снарядов и аэробомб (вес последних при диаметре в 105 *мм* — 4,6 *кг*, 200 *мм* — 30,5 *кг*, 500 *мм* — 410 *кг* и 600 *мм* — 1900 *кг*).

Снаряд калибра 370 *мм* уходит в землю на 4,5 *м*, делая воронку в 7,25 *м* диаметром и 19 $м^3$ объемом; те же показатели для калибра 420 *мм* будут — 4,25 *м*, 10,5 *м* и 156 $м^3$. Для непробиваемости же грунта и полной защиты потолочного покрытия убежища надо углубиться в 2 раза более глубины воронки. Сравнительная сопротивляемость раздробляющему действию взрыва у разных грунтов и пород следующая:

Растительная земля . . .	+ 1,00 $м^3$	Песчаник	+ 1,47 $м^3$
Плотный чистый песок . .	+ 1,87 „	Известняк	+ 1,91 „
Плотная глина	+ 1,20 „	Гранит, гнейс	+ 2,26 „

наносить все данные по проведению штолен, руководствоваться которыми военачальникам уже легко (рис. 174).

Помимо чисто земляных и подземных работ, геологическая консультация на войне должна обслуживать следующие вопросы:

1. Водоснабжение: а — крепостей, б — фронта.
2. Отвод и обезвреживание грунтовых и сточных вод.
3. Исследование обрабатываемости горных пород.
4. Исследование устойчивости горных пород.
5. Специальные условия действия в горах (ледниках и т. п.).
6. Исследование устойчивости и проходимости торфяных болот.
7. Снабжение минеральным топливом.
8. Снабжение материалами для бетонирования.
9. Снабжение дорожными и балластировочными материалами.
10. Проведение полевых железных дорог.
11. Изготовление военно-геологических карт, которые должны примерно быть следующих типов:

а) Карты грунтовых водных горизонтов в горизонталях.

б) Карты водоснабжения,[1] ясно показывающие районы безводные, бедные и богатые водой, артезианские, а также простейшие способы получения воды (ключи, колодцы, мелкие и глубокие буровые скважины).

в) Карты сопротивления и устойчивости горных пород.

г) Карта мощности верхнего сухого слоя — с изображением шестью изогипсами (через 2 *м*), седьмая показывает все, что ниже 12 *м*.

д) Карта, показывающая целый ряд других важных для военных действий особенностей местности, как то: покров выветривания пород, наличие под верхними водоупорными влагоемких горизонтов (для спуска в них вод), размягчение и устойчивость грунтов, места нахождения песка, гальки и щебня для бетонирования и дорожных материалов, проходимость болот, глубины озер, броды, проходимость (плотность) речных наносов и вообще долинного аллювия, места опасные по обвалам и лавинам в горах, живые подвижные осыпи и пр.

Все предусмотреть невозможно, и в каждой отдельной области такие карты должны вырабатываться особо, требуя от их составителей большого геолого-технического чутья и хорошего глаза. Здесь более чем где-либо недопустима обычная шаблонная геологическая работа, вызывающая лишь справедливые нарекания и обрекающая подчас массы людей на смерть или страдания. Последнее особенно имеет место в проведении глубоких и больших подземных минных галлерей. Точные условия залегания пород должны быть выяснены заранее, до укрепления позиции; необходима отчетливая литологическая характеристика и тщательное измерение разреза осадочных свит (совершенно недопустимы, например, такие общие определения, как: «третичная глинисто-песчаная толща», или «перемежаемость известняков и глин,

[1] Вопросы гидрологические настолько широки и развиты в специальных руководствах, что здесь излагать их невозможно. Отметим поэтому лишь те совершенно особенные вопросы военной геологии, на которые ранее не обращалось внимания, отсылая за остальным к немецким и английским источникам.

в общем n метров», и т. п.). Особенно важно выделение глинистых слоев и твердых пород: первых — в связи с указанными гидротехническими вопросами, вторых — по трем причинам:

а) Трудность, т. е. медленность проведения хода, связанная с необходимостью применения механического бурения и взрывчатых веществ, что не всегда возможно.

б) Шумность при работе, которая может выдать последнюю врагу. По этой причине, например, избегали механических бурений, а из последних предпочитали вращательные перфораторы ударным и т. п., но работа первых ограничена известной твердостью пород.

в) Трещиноватость хрупких пород, вызывающая легкое проникновение через них ядовитых газов и воды.

Степень распространения звука, столь опасного в окопах, галлереях и т. п., ближайшим образом зависит от состава, залегания и влажности горных пород, т. е. опять-таки может быть предсказана геологически. Воздушные полости в породах влияют заглушающе и поэтому в трещиноватых и пористых известняках на расстоянии уже нескольких метров не было слышно производящейся подземной работы. Высокое стояние грунтовых вод легче выдает работы. Твердые выполнения (жилы) трещин иногда далеко проводят звук, как по металлическим трубам в зданиях. В рыхлых выветрившихся грунтах работа была слышна не далее 10 *м*; в мелу Пикардии обнаруживали подземную работу на расстоянии 100 *м*. Шум перфоратора в твердых породах распространялся до 1—3 *км*, особенно в граните. Наибольшую опасность в минных работах представляли ядовитые газы как естественные, так и искусственно введенные или оставшиеся от взрывов. Распространение их зависит от структуры (пористости) пород, наличия в них трещиноватости; определенным расположением последней пользовались для напускания газов в галлереи противника, и поэтому обратно можно предсказывать возможное направление появления газов. В связи с этим необходимо устраивать и вентиляцию (исключительно нагнетательную) галлерей. Нередко наблюдалось внезапное выделение газов через несколько дней уже после проветривания. Породы коренные и почва как бы пропитывались ими соответственно своей пористости, и последующее малейшее изменение давления, под влиянием атмосферных колебаний, ветра, обстрела, сотрясений, давало газам снова выход наружу, неожиданно отравляя солдат. Иногда на большом расстоянии от места взрывов и через много времени наступали загадочные отравления, объяснявшиеся исключительно медленной циркуляцией газов по трещинам пород или порам. Время удержания газов породами всецело зависит от состава и строения последних; например, в глинах отравления бывали еще несколько месяцев спустя, тогда как в прилегающих участках песчаных все были совершенно здоровы. Естественные ядовитые газы (углекислота и др.) часто встречались при работах среди пород битуминозных, углистых, богатых серным колчеданом, иногда в течение нескольких часов заполняя собой всю выработку и требуя применения предохранительных ламп. Во всех случаях проникновения газов в галлереи или возможности ожидать такового стены их должны обмазываться глиной.

Использование пещер влечет также необходимость геологических поисков таковых и осмотра в смысле безопасности от обрушения и за-

топления, а также указания возможности проведения из них новых выходов, что легко сделать при знании карстовых явлений (§ 29).

Определение геологического строения мест *расположения неприятеля* и даже характера и *глубины его подземных работ* возможно местами сделать *с аэроплана*, наблюдая цвет склонов, естественных и искусственных выемок, выбросов из них и из разорванных мешков укреплений, если геолог-наблюдатель знает разрез местности и глубины залегания пород определенного цвета. Внезапное изменение режима грунтовых вод может навести на обнаружение неприятельских подкопов, их спустивших.

Устройство складов вооружения и взрывчатых веществ, исходя из вышесказанного, требует особенного внимания.

Прокладка различных *проводов и кабелей* требует поисков неплотного грунта, но и не заболачиваемого, не пучащегося; геолого-химические процессы, связанные с наличием глин, ангидрита, свободных кислот и др., играют при этом большое значение.

Чрезвычайный интерес представляет исследование различной проводимости грунтами и коренными породами электрических волн, так как с этим связано действие телеграфа. Геофизические методы исследования земной коры, сделавшие за последние годы значительные успехи и разработанные несколькими специальными учреждениями в Германии, а также у нас Институтом прикладной геофизики, должны сыграть большую роль и в военной геологии.

Достаточно сказать, что главный нерв всех военных действий — служба связи — всецело зависит от умелого использования геологического строения фронта. Не говоря уже про обыкновенный телеграф и телефон, где «земля» имеет решающее значение для правильного функционирования и устранения подслушивания, ряд вопросов возникает и при радиотелеграфии. Свойства грунта, на котором установлены отправные и приемные станции, равно и промежуточного пространства влияют на интенсивность принимаемых волн. Хорошо и равномерно проводящие грунты благоприятны, чем объясняются хорошие результаты радиотелеграфии над морями (соленая вода). Геологическое строение местности (на суше) оказывает сильное влияние именно на малых расстояниях, т. е. как раз в условиях небольших фронтовых установок; влажная почва с равномерным высоким положением грунтовых вод оказывается более выгодной, так же как равномерное по составу и мощности геологическое строение верхнего покрова; неблагоприятно, повидимому, действуют резкие колебания рельефа, геологического строения, близость открытых водоемов — озер, рек и т. п. Но вообще вопросы эти еще лишь нащупываются и нуждаются в большой разработке.

Аэродромы — станции для воздушных сообщений — должны выбираться на ровных местах с сухими водопроницаемыми грунтами. Необходимо уметь избежать мест, способных увлажняться и заболачиваться. Для обозначения станций выгодно размечать их полосами камней естественной яркой окраски (например мел и др.).

Для установки тяжелых машин и орудий необходимо исследовать прочность грунта, увеличивать ее иногда искусственно. Особенно это важно в болотах, где (в областях древнего оледенения) надо уметь находить места сравнительно близкого от поверхности залегания корен-

ных пород или плотных скоплений. Зондировка производится ручными щупами. Громадное значение имело при этом отыскание подчас весьма узких выходов или проходов для войск среди болот. На нашем западном фронте (по Припяти, Ракитно и вообще в Полесьи) целый ряд успехов объясняется именно большим уменьем ориентироваться в болотах, а большое наступление Брусилова летом 1916 г. было возможно лишь благодаря умелому использованию понижения грунтовых вод вследствие сухой весны.

Отражение танков должно базироваться преимущественно на выборе и искусственном создании условий поверхности, непреодолимых для их движения; таковыми являются главным образом два условия: 1) заболочение, полное для ровных пространств, и простое увлажнение наклонных (при сухой поверхности большие танки поднимались на самые крутые склоны, а до 35° — все типы танков) и 2) наличие резких уступов на склонах, высота которых должна быть выше «носа» танка. Для создания первого условия необходимо уметь использовать все поверхностные и подземные водяные артерии; на склонах, например, достаточно вскрыть водоносные горизонты и т. п. Для второго весьма выгодны позиции на высотах, сложенных горизонтально залегающими свитами, среди которых резкими карнизами выделяются более плотные пласты (например песчаников или известняков среди глин или песков). В этих случаях танки вынуждены двигаться лишь по дорогам, и задача обороны ограничивается только разрушением последних.

Весь геологический опыт прилагался обратно к угадыванию намерений, расположений и сооружений противника, заведомо выбиравшего определенные места; часто тактика имела целью заставить его перейти в заведомо невыгодное геологическое расположение из благоприятного. Об определении глубины подземных галлерей по цвету выбросов было уже сказано, и из этого же вытекает обязательность закрывать, маскировать таковые.

Громадное количество совершенно своеобразных задач и разрешения таковых в вопросах водоснабжения, затопления, орошения и очистки вод накоплено опытом последней позиционной войны, перечислить и изложить которые здесь, однако, невозможно.

§ 51. Различные случаи применения геологии

Кроме вопросов, изложенных в предыдущих частях книги, имеется громадное число различных случаев применения геологии в народном хозяйстве. Перечислим лишь некоторые из них.

1. *Выбор мест для поселений* — вопрос весьма важный при освоении новых районов и увеличении уже существующих городов — сводится к выбору грунтов. Задачи геолога в общих чертах сводятся к следующему.

Следует избегать увлажненных песчаных, глинистых, болотистых мест как с гигиенической точки зрения, так и технической.

Необходимо отыскивать коренные породы для заложения оснований, чтобы не располагать их на различных породах во избежание различной осадки и растрескивания здания. Кроме того, возникают *вопросы водоснабжения и строительных материалов, отвода нечистот* (в пори-

стые горизонты) и т. п., *расположения кладбищ* вне водосборных районов и в районе глубоких грунтовых вод.

Выбор мест для полей орошений и водопроводных фильтров.

2. *Консультация в сельскохозяйственных вопросах* — а) оценки и классификации земель, б) определения грунтовых вод, в) орошения и осушения, г) поисков минерального удобрения и т. п.

3. *Установление округов охраны* минеральных источников и оползневых мест.

4. *Товарная экспертиза и судебная.* Все полезные ископаемые массового потребления, особенно руды, горючие и строительные материалы разбиваются рынком на сорта, определенные торговые марки (стандарты). Знание их и умение подойти к вопросу о стандартизации товара необходимо инженеру. При приемках часто возникают сомнения и споры о принадлежности данного ископаемого к законтрактованной марке. В этих случаях вопрос возникает из-за происхождения, т. е. месторождения ископаемого и химического состава. Решающее значение имеет химический анализ; однако часто возникают недоразумения из-за несхождения данных анализа, произведенного в разных лабораториях, и поэтому необходимо в договорах оговаривать место производства анализов.

Большое влияние при определении процентного содержания металла в руде имеет способ взятия проб, которые поэтому должны браться одновременно, абсолютно одинаково представителями продающей и покупающей сторон, а третья — как решающая, запасная (для арбитражной комиссии). Разности анализов делятся до известного предела (½—1%), а свыше — разрешаются дополнительным анализом. Договор должен содержать ряд оговорок, особенно в отношении низшего процента содержания металла и высшего содержания вредных примесей (золы и серы в каменном угле и т. п.). Важными условиями договоров являются обозначения места приемки.

Возникающие недоразумения в этой области могут дезорганизовать работу даже крупного предприятия или повредить экспорту. В некоторых случаях, однако, беспристрастное расследование может установить и невиновность поставщика в изменении марки товара или отказе в исполнении поставки, так как оно произошло под влиянием изменения с ходом разработки свойств самого месторождения полезного ископаемого (появление примесей, трещиноватости и т. п.). Для материалов осадочного происхождения, помимо данных химических и физических анализов и механического исследования, признаком, могущим установить подлинность происхождения ископаемого, может быть и наличие в нем определенных окаменелостей (флора в каменных и бурых углях, раковины в известняках, мергелях и т. п.). Большое количество примеров судебных процессов, решавшихся при помощи геологической экспертизы, можно найти в специальной работе Круша.

Громадное значение хорошего балласта для железнодорожного полотна и главные требования, предъявляемые к балластировочному материалу, выяснены выше (§ 46). При приемке его, однако, весьма трудно следить за равномерностью состава и отсутствием вредных примесей — мягких выветрелых частиц, если только последних уже не слишком много. Единственной рациональной мерой предупреждения

этого является постоянный контроль опытным инженером самых карьеров и каменоломен, поставляющих материал, с указанием на недопустимость разработки определенных прослоев и вообще худших частей месторождения. Резкие изменения качества материала возможны даже в каменоломнях, много лет доставлявших однообразный продукт высокого достоинства, в особенности опасны появления глинистых и гипсовых прослоев, прожилок и скоплений серного колчедана и т. п. Присутствие последнего в некоторых кровельных сланцах (шиферах) также сильно понижает их качество, так как после разложения колчедана получаются отверстия. Поэтому определенные месторождения шифера (в Тюрингии) завоевали себе хорошую репутацию, как совершенно лишенные пирита. При одном подряде замечено было, однако, изменение обычного качества; геолог-эксперт обнаружил в шифере присутствие окаменелостей, совершенно несвойственных тюрингенскому месторождению; возникшее поэтому подозрение о замене шифера было проверено и установлено.

При взятии проб можно посоветовать давать набросок карьера в плане и разрезе, с указанием как мест и номеров взятых проб, так и мощности слоев или пластообразных частей породы. Самые пробы следует брать в кусках по возможности в наименьшей степени их обработки, следовательно в глыбах таких размеров, чтобы из них можно было без затруднения приготовить кубики для испытания. Практика всех подобных вопросов весьма обширна.

Наконец, оригинальны случаи установления преступления помощью геологической экспертизы. Так, однажды было послано по почте охотничье ружье из Германии в Тифлис. На месте был получен ящик с камнями. Нельзя было установить, какое почтовое ведомство было виновно и отвечало за кражу. Геолог-эксперт определил, что раковины, содержавшиеся в песчаной примеси к куску цемента, бывшему среди камней, находятся только на берегах Черного моря. Этот факт доказал, что кража не могла произойти в Германии, так как возможность доставки песка для приготовления цемента с Черного моря в Германию заведомо исключена.

В добавление и развитие различных мест руководства даем в виде приложения небольшой инструкционный материал.

1. Простейшие методы определения горных пород в поле (с помощью только карманной лупы)

Общие замечания

1. Рассматривать породы следует всегда только в свежем изломе, невыветрелые.

2. *Установить, является ли порода обломочной или кристаллической; если* последнее, то расположены ли составные части беспорядочно или линейно. В первом случае эта порода, вероятно, изверженная,[1] во втором — кристаллический сланец.

3. Породы мелкозернистые определяются труднее; если составные части трудно различимы, то полезно раздробить кусок в порошок и, разделяя одни минералы от других острием ножа, их изучать; при этом все железные соединения могут быть выделены магнитом; минералы, обладающие высокой спайностью, будут отличаться от лишенных таковой правильными (табличатыми) очертаниями и блеском плоскостей.

Для удобства определения в поле все наиболее обычные породы можно разбить на четыре следующих группы:

1) породы глинистые, 2) известковистые, 3) породы кремнистые, 4) полевошпатовые.

Породы глинистые и известковистые узнаются легко. Их твердость от 1 до 3,5, поэтому все они царапаются ножом, а некоторые и ногтем. Мягкая порода, тусклого землистого вида, при намокании делающаяся пластичной, должна быть *глиной*. Если порода плотнее и тонкого неправильно-листоватого сложения, то она называется *сланцеватой* глиной и *рухляком;* если же она при раздавливании зерниста и царапает, то это — *песчанистая* глина; если черная, то вероятно *углистая* или битуминозная; более светлые глины, вскипающие с HCl, — известковистые и мергелистые. Глинистый сланец легко узнается своей сланцеватостью. Все глинистые породы при дыхании на них издают характерный землистый запах, причем этот признак является особенно надежным, если при царапании они имеют и землистый вид.

Известняки (т. до 3) все легко чертятся ножом и бурно вскипают с разбавленной соляной кислотой. Чистые известняки при выветривании покрываются лишь тонкой желтоватой или коричневатой коркой разложения, с возрастанием же примеси (глина, песок, окислы железа) корка соответственно утолщается. Доломитизированные известняки немного (3—4) тверже обыкновенных и вскипают с холодной соляной кислотой гораздо слабее, но сильно — с нагретой.

Кремнистые породы отличаются главным образом своей твердостью. Некоторые разновидности их столь плотны и мелкозернисты, что составные части неразличимы даже под лупой; они обычно встречатся в виде желваков, неправильных стяжений, жил и прослойков, преимущественно в известняках. Эти породы однородного, компактного сложения, тусклого, ротового вида, не чертятся даже

[1] Может быть и простая осадочная — известняк, доломит и гипс; эти, однако, легко определяются действием соляной кислоты.

твердым ножом и не вскипают с соляной кислотой. Все кремнистые породы отличаются от некоторых похожих на них плотных изверженных пород (фельзитов) своей неплавкостью перед паяльной трубкой.

Зернистые кремнистые породы представлены *песчаниками и конгломератами*, определение которых легче всего. Твердые и в разной степени округленные или угловатые зерна песчаников состоят преимущественно из кварца. С помощью лупы можно установить обломочный характер даже самых мелкозернистых песчаников (залегающих всегда пластообразно).

Разновидностей песчаников однако весьма много, в зависимости от изменения характера зерен и связывающей их массы — цемента, причем если последний глинистый или известковистый, то он легко узнается действием на него воды или соляной кислоты. Песчаники с кремнистым цементом — *кварциты*, самые твердые, обычно блестят в изломе, который характерно раковистый, занозистый с острыми краями; при этом, благодаря чрезвычайно тесной спайке зерен с цементом, первые не разъединяются при изломе, т. е. линия разлома проходит и через зерно, а не только по цементу, как в других песчаниках. Поэтому кварциты в изломе гладкие, а другие песчаники шероховатые.

Полевошпатовые породы весьма разнообразны по твердости и строению.

а) *Стекловатые* породы легко отличимы своим блеском, иногда прозрачностью, раковистым, острым изломом (обсидиан, смоляной камень).

б) *Плотные и мелкозернистые* породы определяются в поле с трудом и вполне надежно — только под микроскопом.

Мелкозернистая, плотная, гладкая порода, которая в свежем изломе с трудом или вовсе не чертится ножом, не вскипает с соляной кислотой, но в тонких осколках плавится перед паяльной трубкой, — вероятно, *фельзит*. Если она содержит большее или меньшее количество вкрапленников — фенокристаллов полевого шпата, кварца, а также возможно биотита и роговой обманки, то это — *кварцевый порфир*. Цвет этих пород различный, обычно не темный, — преимущественно белый, желтоватый, коричневый и красный; при выветривании они покрываются тонкой светлой коркой. Кварц-порфиры часто смешиваются с *риолитами*, породами полукристаллическими и гораздо менее распространенными. Риолиты часто содержат мелкие пустоты, по стенкам которых располагаются кристаллы кварца или какого-либо силиката (миндалекаменное сложение), а основная масса их обычно явно стекловатая; на ощупь они грубые и шероховатые. Все кислые полевошпатовые породы имеют на свежих поверхностях твердость не менее 6—5, светлой окраски, и кора выветривания (тонкая свежая) с трудом отделяется от породы.

Менее кислые породы по сложению своему, мелкозернистому и сплошному, мало отличаются от предыдущих кислых. Из наиболее распространенных к ним относятся *андезиты* и *порфириты*. Твердость их от 5,5 до 6. Интенсивность окраски средняя между породами кислыми и основными. При значительном количестве железистых магнезиальных минералов окраска темнее, а корка выветривания темная, ржавая.

Фонолиты, светлых цветов, издают звон при ударе молотком, раскалываются на пластины и дают отчетливую белую кору выветривания.

Мелкозернистые *трахиты*, серых оттенков и шероховатые на ощупь, этим и во многом другом напоминают риолиты, от которых отличаются отсутствием кварца.

Диориты зеленоватых оттенков (благодаря роговой обманке), с твердостью около 6, с ржавой корой выветривания, нижние части которой вскипают с HCl. Из основных пород этой группы наиболее распространены *базальты* темных (до черного) цветов, с твердостью 5—6 (выветрелых много меньше). Для них характерна гораздо более отчетливая и правильная отдельность, чем у пород кислых, разбивающая базальт на призматические колонны. Кора выветривания толстая, ржавая, легко концентрически отслаивается.

в) *Крупнозернистые полукристаллические* породы, в них нередко весьма мало выделяется основная масса, причем именно по различному характеру этой мелкозернистой массы различаются отдельные разновидности, что представляет значительные трудности для начинающих. Ввиду того, что породы этого типа в значительной мере повторяют представителей предыдущей группы, отличаясь от них большими размерами зерен, при определении их следует иметь в виду все общие признаки пункта б (цвет, кора выветривания и пр.), а с другой стороны — возможность определения составляющих минералов, выделившихся более крупными кристаллами, классифицируя согласно общей таблице.

Легче всего определяются зерна кварца с раковистым блеском, полосатые двойники плагиоклазов, листочки биотита, столбчатые пластинки роговой обманки,

шестигранные призмы нефелина, стеклянные водяно-прозрачные большие кристаллы санидина (ортоклаза — известковые полевые шпаты, преимущественно образуют длинные кристаллы), черные зерна магнетита. Кварц-порфиры при этом в свежем виде легко смешать, благодаря кажущемуся полнокристаллическому сложению, с гранитом, однако, на выветрелых поверхностях между обеими доминирующими составными частями, кварцем и ортоклазом, проступает землисто-глинистая основная масса.

г) *Крупнозернистые полнокристаллические* породы легче определимы, благодаря возможности определения всех породообразующих минералов. Иногда приносит пользу и характер коры выветривания, густота окраски которой пропорциональна количеству железо-магнезиальных минералов.

д) *Обломочные изверженные породы* по сложению (крупности частиц) весьма разнообразны. Мелкозернистые, землистого и глинистого вида, легко чертятся ножом, а иногда растираются между пальцами. В них иногда рассеяны листочки слюды и обломки кристаллов различных минералов вулканического происхождения. Эти породы обычно ясно слоисты и залегают пластами, чередуясь и с нормальными осадочными породами, песчаниками и глинами, а иногда незаметно переходят в них. Многие туфы иногда состоят из обломков весьма различных изверженных пород и содержат вулканический пепел, лапилли и застывшие капли лавы. Часто такие породы переслаиваются с покровами эффузивных пород. Грубые вулканические агломераты и брекчии чаще залегают не пластообразно, а выполняя или окружая древние вулканические жерла.

е) *Кристаллические сланцы.*

Если составные части различимы и порода свежа, то определение аналогично определению полнокристаллических массивных пород. Труднее определение мелкозернистых типов. В этом случае, если порода бледно-зеленоватых цветов, жирная на ощупь и легко чертится, то это, вероятно, *тальковый сланец; хлоритовый сланец* хотя также чертится, но менее жирен и темнозеленый. *Филлит* лишь слегка жирен, зеленоватый, трещиноватый, гверже предыдущих. Порода, состоящая из мелкозернистого слоистого агрегата зеленых волокнистых чешуек и пластинок, вероятно *роговообманковый сланец*, а при их лучистом расположении — *актинолитовый сланец.*

Легче всего определяются по характерному виду главных минералов *слюдяной сланец и гнейс.*

2. Определение элементов залегания горных пород (по В. Н. Веберу)

Пласты редко представляют собой на больших площадях правильные плоскости, во-первых, потому, что всегда у них есть некоторая волнистость вследствие ли тектонических причин, или вследствие неровностей того дна, на которое осадки откладывались, и, во-вторых, сами пласты не сохраняют на большое пространство свою мощность, так как главная масса осадков образуется не в открытом море, и фациальные изменения обусловливают изменение и в составе, и в мощности.

Затем пласты, кроме способности изменяться, могут сжиматься и растягиваться, поэтому наблюдения на поверхности не могут быть продолжены на любую глубину.

Однако, элементы залегания, получаемые непосредственными наблюдениями и соответствующими построениями, имеют большое значение, притом не меньшее, чем буровые скважины, где они есть, потому что обнажение дает залегание со всеми его характерными особенностями; обнажений много, и все наблюдения приурочены к определенному горизонту, а буровых скважин мало, и сами горизонты в них часто едва узнаваемы, настолько породы изменены процессом бурения; притом буровые журналы часто искажают факты, когда небрежно ведутся.

Горный компас. Обращение с горным компасом, служащим для определения направления падения и его угла, настолько просто, что является странным мнение, будто оно может кого-нибудь затруднять (см. рис. 133).

Так как азимуты считаются от 0 до 360° по часовой стрелке, то надо твердо запомнить, что на N мы будем считать 0 и 360°, восток — 90°, юг — 180° и запад — 270°, промежуточные азимуты от 0 до 90° будут NO, от 90 до 180° — SO, от 180 до 270° — SW и от 270 до 360° — NW

Горный компас дает *по северному концу отсчет азимута*, или *направления от наблюдателя вперед*, когда вперед направлена сторона компаса, имеющая индексы N и 0° и 360°; так и следует всегда держать компас — вперед буквой N, так что винт, останавливающий стрелку, приходится справа, сзади. Азимуты не *от* наблюдателя вперед, а *к* наблюдателю (т. е. назад) отличаются на 180°; для обратных азимутов компас держат по-старому, но отсчет делают по *южному концу* стрелки.

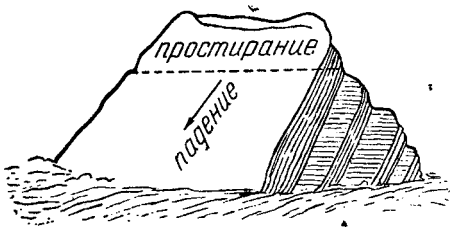


Рис. 175. Положение пласта — его простирание и падение.

Простирание пласта есть горизонтальная линия его плоскости, оно имеет, конечно, два азимута, отличающихся на 180° (рис. 175 и 176).

Падение пласта — направление наибольшего его уклона; оно перпендикулярно простиранию и имеет один азимут, направленный в сторону наклона пласта. Кроме азимута, падение пласта имеет угол падения, определяемый отвесом у компаса.

Для определения залегания пласта достаточно знать азимут и угол падения. Простирание записывается так: простирание NW 345, простирание NE, простирание NNE (в последних двух случаях, если точнее не определено); если дается полное определение залегания, то если пласт поставлен на голову, записывается так: падение SE 150 ∠ 38, падение NW 280 ∠ 40—45, падение SSW крутое, простирание NW 290 ∠ 90; если же пласты опрокинуты, то записывается, что пласты опрокинуты и падают туда-то, под таким-то углом.

Часто пласты дают настолько ровные плоскости, что определение может быть сделано с достаточной точностью непосредственным прикладыванием компаса. Если можно выбрать хорошую площадку поверхности пласта, все же полезно положить на вычищенную плоскость записную книжку, затем по линии простирания прикладывают в вертикальном положении грань компаса и поворачивают его, пока отвес покажет 0°, т. е. сначала определяется линия простирания, затем к полученному направлению прикладывают заднюю (S-ую) грань компаса и определяют по северному концу стрелки азимут падения; по отвесу затем определяют и угол падения.

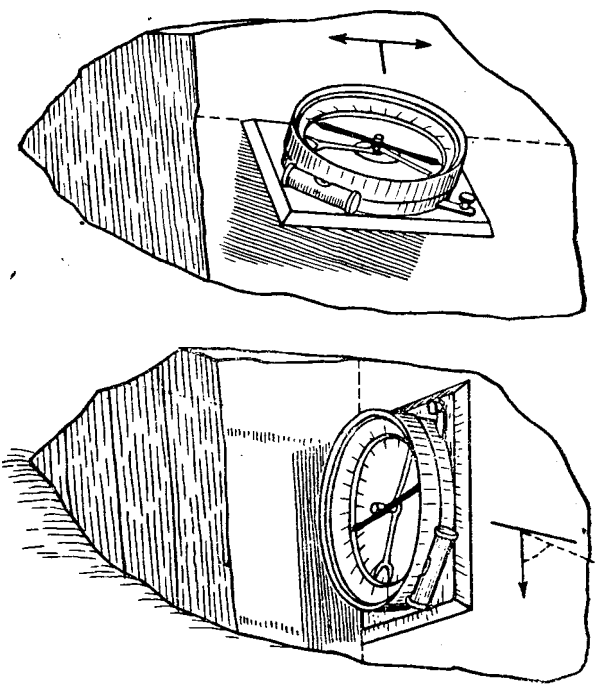


Рис. 176. Измерение азимута падения пласта (сверху) и угла падения (внизу).

Определить сначала простирание удобнее, чем сразу падение по наибольшему углу падения, как некоторыми советуется, потому что проще определить положение при отвесе 0°, чем искать наибольший угол. Для определения углов падения компас надо наклонять, чтобы отвес отходил от лимба, т. е. висел свободно, при отсчетах отвес должен касаться лимба (рис. 176).

При крутых углах падения легче прямо определять азимут падения, т. е. на-глаз держать при этом горизонтально доску компаса.

Если по условиям обнажения (пласты падают к наблюдателю) трудно держать компас так, чтобы передняя сторона компаса была обращена в сторону падения, то направляют ее в сторону восстания пласта, отличающуюся на 180°, а поэтому нужно отсчет делать по южному концу стрелки, что даст азимут падения.

Вообще могут быть различные случаи, затрудняющие непосредственное измерение; в каждом случае надо применяться к обстоятельствам для получения точного результата.

Точность определения залегания может быть увеличена многократными измерениями, а также построениями для более крупных поверхностей того же пласта.

В редких случаях может быть очищена площадка для непосредственного прикладывания компаса; часто приходится, наоборот, отходить от выхода пласта и на-глаз брать азимут падения, или если есть линия его выхода на горизонтальной поверхности (например гривка), то брать простирание. Для увеличения точности отсчета угла падения класть на неровную поверхность пласта палку, к которой прикладывать грань компаса. Иногда для определения угла падения следует зайти сбоку, чтобы глаз пришелся на продолжении плоскости пласта, компас держать в руке навесу, все время встряхивая его, чтобы отвес принял верное положение (рис. 177).

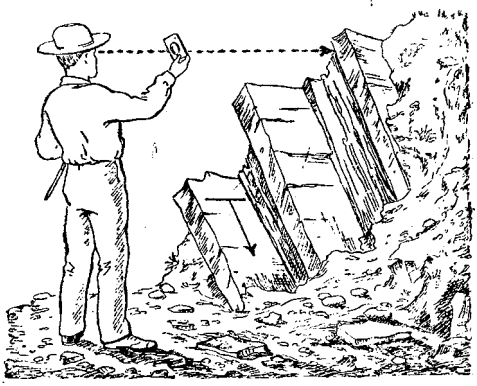


Рис. 177. Измерение залегания пластов издали.

Наконец, бывают случаи, когда залегание не может быть определено ни непосредственным прикладыванием, ни на глазомер, и возникает задача — определить залегание не в определенной точке, но построением для нескольких точек пласта.

3. Коллектирование (по В. Н. Веберу)

Коллекции могут собираться с тройкой целью: 1) для целей обработки и сравнения между собой отдельных наблюдений, 2) для иллюстрирования строения известного района в музее и 3) как собирание образцов, по своему научному интересу имеющих самостоятельное значение. Для первой цели часто берется в поле временный образец, например для сравнения с ранее взятым из того же горизонта или той же изверженной породы; такие образцы и коллекции будут повторными, могут служить дубликатами, выбиваются менее тщательно и меньших размеров, чем образцы для музея.

Отбивание горных пород. Образцы для музея выбиваются тщательно в виде параллелепипеда, толщиной около 1,5 *см* и размерами 6 × 9 или 9 × 12 *см* (размеры фотографических пластинок). Образец должен иллюстрировать свежую породу, для чего от скалы сначала отбивается верхний выветрившийся слой, и затем уже подготовляется свежая грань для будущего образца, притом с таким расчетом, чтобы при отбивании образца молотком получилась другая грань; получив таким способом плоский образец больших, чем надо, размеров, уже на руке обкалачивают его до требуемых размеров.

Для каменных *строительных материалов* образцы берутся не меньше 7 *см* в ребре для слабых пород и 5 *см* для крепких (американцы берут не меньше 7,5 *см*, но лучше 20 *см*). Если на образце не видно направления плоскостей наслоения или трещиноватости (отдельности), то их надо на нем пометить, потому что сопротивление раздавливанию по различным направлениям часто разное. Образцов для разного рода механических испытаний нужно не меньше пяти. Рыхлые строительные материалы, например дорожные, берутся в количестве 15—20 *кг*.

При взятии образцов угля необходимо отмечать, в каком расстоянии от поверхности угольный пласт превращен в сажу. Образцы угля берутся для анализа, а так как качества угля весьма изменчивы даже в пределах одного пласта, то, кроме образцов для коллекций, должны быть взяты для анализа средние пробы.

Пробы жидкостей. Образцы («пробы») *воды* берут в количестве около 2 *л* в бутыли, которые многократно споласкиваются водой пробы. Температура источника измеряется особыми «ленивыми» термометрами, сравнительно долго держащими свою температуру (пока термометр будет выниматься). Расход воды в источниках измеряется каким-либо сосудом по секундам наполнения. Взятие пробы *газа* требует особого прибора; домашними средствами газ собрать из источника нельзя.

Этикетки. Каждый взятый образец должен быть упакован с этикеткой. Когда в поле берутся образцы, то до вечера их надо пометить. Самый удобный способ — это нумерованные мешочки. Геолог запасает сотню холщевых мешочков со шпагатовыми завязками, размерами около 13 × 17 *см;* с каждой стороны нижней части мешка есть номер (мешков с повторяющимися номерами иметь не надо). Небольшой запас таких мешков имеется в поле у геолога или его помощника. Каждый образец без этикетки кладется в мешочек, а в записной книжке отмечается, что такой-то образец положен в мешок с таким-то номером. Можно для себя установить правило — писать эти временные до вечера номера слева, обводя номер, например, кружком.

На другой день вчерашние мешки снова идут в дело. Вечером коллекция снабжается *этикетками.* На отрывных этикетках должны быть написаны или напечатаны: 1) год работы, 2) фамилия геолога с инициалами, пишется; 3) дата, когда образец взят, и 4) в двух противоположных углах этикетки номер обнажения (эти же номера пишутся на корешке). Этикетки складываются и заворачиваются в угол той бумаги, в которую заворачивается образец.

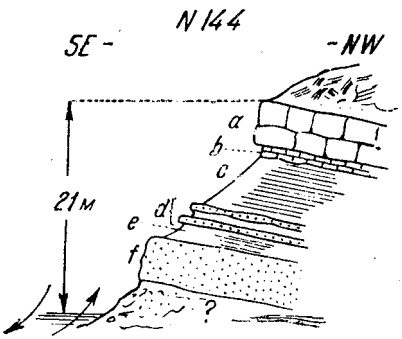


Рис. 178. Измерение геологического обнажения; *a, b, c, d, e, f,* — различные пласты или горизонты разреза.

Бумага обертывается так, чтобы она равномерно охватывала образец. Если образцы в завернутом виде укладываются в большие мешки, то перевязывать их бечевкой — лишнее. Количество оберточной бумаги зависит от дальности пути; обыкновенно бумага в труху обращается лишь от дальнего колесного пути, все же иные способы перевозки мало отражаются на сохранности коллекций.

Для *рыхлых* или рассыпающихся образцов надо иметь запас коленкоровых мешочков, куда надо укладывать и этикетки. Количество заготовляемых мешочков зависит от тех отложений, с которыми предполагается иметь дело.

Нумерация на образцах должна строго соответствовать нумерации в записной книжке и на карте; каждое обнажение имеет лишь одну свою цифру, отдельные горизонты обозначаются буквами около цифры (рис. 178), а если из одного и того же слоя взято несколько образцов, то при буквах еще ставятся цифровые значки (например $285b_2$). Дубликаты имеют одно обозначение с основным образцом.

Еще раз напомним, что все должно быть сделано аккуратно и совершенно однообразно зарегистрировано, никаких условных пометок в расчете на память не должно быть. Все должно быть сделано так, чтобы любой человек, да и сам геолог, через много лет по этикетке легко мог установить, откуда взят образец.

Упаковка коллекций. Образцы пород сохраняются завернутыми в бумагу, рыхлые породы в мешочках, хрупкие окаменелости заворачиваются либо в бумагу, либо в вату, каждый кусок отдельно, и все вместе с общей этикеткой в новую бумагу, перевязанную бечевкой. Мелкие окаменелости хорошо укладывать в толстостенные пробирки или в вату, коробки от консервов и т. п. Сено, как упаковочный материал, непригодно.

По мере накопления коллекций, их упаковывают в ящики или мешки, снабженные внутри общей этикеткой, на которой указываются пределы номеров обнажений и даты сборов. Эти же данные обозначают и снаружи ящика химическим карандашом или у мешка на привязанной деревянной дощечке.

При маршрутных работах коллекции партиями отправляются в надежное место, откуда уже вся коллекция отправляется на место окончательной упаковки в ящики для отсылки в город — место обработки; у этих ящиков также снаружи и внутри содержатся указания, какие и чьи коллекции упакованы. Вообще ни

одна этикетка не может быть лишней, не надо скупиться повторять указания на содержимое в ящике, притом всегда указывать год сбора и фамилию геолога.

Если работа детальная, коллекции упаковываются по мере накопления. Укладка должна быть плотная; образцы перетираются, лишь когда они могут двигаться друг относительно друга. Маленькие образцы для шлифов следует отсылать почтой к шлифовальщику заранее, чтобы не обременять его потом сразу большими заказами.

4. Способы бурения (по Евдокимову и Геферу)

Исследование горного массива при посредстве буровых скважин есть наиболее распространенный способ разведки горных пород. Бурение может быть или ручное, или машинное. Ручное бурение может быть вращательное, или ударное. В рыхлых и легко расыпающихся породах, каковы глина, песок и т. д., следует применять вращательное бурение в породах мягких, каковы мергель, сланцевая глина, и т. п., можно применять, смотря по обстоятельствам, и вращательное и ударное бурение. В твердых горных породах следует применять исключительно ударное бурение. Диаметр буровой скважины принято делать тем меньше, чем прочнее порода, и тем больше, чем глубже скважина. Минимальный диаметр буровой скважины следует принимать в 6 *см* или же в 8 *см*. Если в нашем распоряжении имеются буровые инструменты (долото и бур) различного диаметра, то следует всегда выбирать инструменты большего диаметра, когда приходится проводить скважину в породах легко рассыпающихся, рыхлых. Впоследствии, когда встретятся более твердые породы, можно перейти к меньшему диаметру скважины. Если для разведочного бурения заказывается новый буровой инструмент, то рекомендуется рассчитывать все части его для скважины диаметром 10 или даже 12 *см*. Инструменты меньшего размера пригодны для бурения в штольнях тунеля и для разведок в подземных выработках вообще, так как именно здесь, ввиду ограниченности пространства, бывает тем удобнее бурить, чем легче инструмент, тем более, что скважины, проходимые из подземных выработок, не бывают глубже 20 *м*. Но и в таких случаях диаметр скважины не должен быть меньше 6 *см*, иначе своей зондировкой мы не достигнем нужных нам результатов. Вообще можно принять для скважины глубиной от 100 до 150 *м* диаметр их от 10 до 15 *см*, при глубине от 150 до 200 *м* диаметр их может доходить до 20 *см*, и при глубине до 400 и свыше метров — диаметр их следует принимать от 26 и до 30 *см*.

Успешность бурения при ударном способе работ зависит от тяжести падающего снаряда, от скорости его падения и от числа ударов в минуту. Эти теоретические соображения не вполне применимы на практике, так как ради сбережения инструментов нельзя, например, слишком увеличивать их вес. То же следует сказать и о высоте падения долота. Вообще принято назначать высоту падений от 0,3 до 0,8 *м*, при весе ударной части снаряда от 150 до 200 *кг* и при 16—20 ударах в минуту. Высота падения изменяется с твердостью пород: она увеличивается при твердых породах и уменьшается при породах мягких и легко поддающихся. При бурении непрерывной штангой при более или менее значительной глубине высота подъема не превышает даже 0,15 *м*. Чем глубже скважина и чем тверже порода, тем меньше высота подъема, так как иначе неминуемо произойдет поломка штанги. Так как при разведочном бурении целью работ является выяснить не только характер отдельных пород, но и разрешить не менее важный вопрос о водоносности и водопроводимости отдельных слоев, то весьма часто при разведочном бурении применять воду совершенно не приходится. При вращательном бурении присутствие воды в скважине не составляет необходимости, но при ударном без нее решительно нельзя обойтись. Поэтому количество воды, приливаемое в скважину, необходимо свести к минимуму. При проходе аллювиальных отложений еще возможно обойтись без приливания воды. Но если приходится разбивать огромные куски твердых пород или же приходится проходить в сплошных сланцеватых или кремнистых породах, то вода в скважине уже настоятельно необходима, однако, даже в таких случаях следует наливать в скважину самое незначительное количество воды, иначе столь важный при разведочном бурении вопрос о водопропускной способности тех или иных пород останется невыясненным.

По миновении надобности буровые скважины или засыпают снова грунтом, или затрамбовывают.

Машинное бурение для разведки горных пород еще в конце прошлого столе-

тия получило значительное распространение и совершенствуется ныне с каждым годом. Существуют два основных типа машинного бурения: безалмазное и алмазное. При безалмазном бурении в состав полного комплекта бура (например бур фирмы Каликс), кроме поверхностных приспособлений, входят 4 существенных элемента: буровая коронка, которая проникает во встречаемые горные породы и которая бывает двоякого рода: зубчатая коронка Дэвиса и дробовая — для бурения дробью; затем колонковый цилиндр, на который навинчивается буровая коронка такого же диаметра, что и цилиндр, буровые штанги ввинчивающиеся нижним концом в пробку на верхнем конце колонкового цилиндра и соединяющиеся на дневной поверхности с приводным механизмом, и, наконец, приспособление так называемое «Каликс», представляющее собой трубку такого же диаметра, как и колонковый цилиндр, навинченную на ту же пробку сверху и окружающую нижний конец буровых штанг.

При бурении пород мягких и средней твердости и при буре Каликс применяется коронка Дэвиса. Она очень удобна при проходке наносных отложений. Коронка Дэвиса представляет собой стальной цилиндр, снабженный на нижней кромке зубьями из специального сорта стали. Зубья коронки легко заостряются, и в соответствующих породах коронка Дэвиса срубает породу легко и свободно. Она с успехом применяется при бурении в таких породах, как сланцы, песчаники и пр. При бурении посредством дробовой коронки употребляется закаленная дробь, полученная путем распыления расплавленной стали или чугуна. Такая дробь приобретает большую твердость: она может царапать стекло; средний размер ее около 2 *мм*. Закаленная дробь уже давно применялась для распиловки и полировки камня.

Если при проходке скважины встречаются отдельные валуны, то для раздробления их применяются ударные долота из лучшей стали. Долота имеют внутри канал для прохода промывной воды и навинчиваются на нижний конец буровых штанг, затем штанги приводятся в движение. При встречах крупных валунов иногда в них пробуривается небольшая скважина дробовой коронкой, затем закладывается динамит и взрывается, после чего представляется возможность пройти долотом данное место скважины. Для буровых инструментов типа Каликс диаметр скважины колеблется от 6 до 20 и даже 50 *см*. Двигателем служат конный привод, паровая машина, газолиновый двигатель и механический привод. Возможная глубина бурения с конным приводом достигает от 60 до 150 *м*, с газолиновым двигателем от 150 до 250 *м*.

За последние годы алмазное бурение стало применяться весьма широко. Особенно славятся алмазно-буровые машины фирмы Сулливан. Алмазный бур состоит из ряда полых штанг, длиной каждая от 1,5 до 3 *м*, приводимых во вращательное движение от какого-либо двигателя. На нижнем конце штанги помещается коронка, усаженная черными алмазами или карбонатами, которые по мере вращения штанг высверливают в породе кольцеобразную скважину, оставляя в центре ее нетронутый стержень горной породы. Через штанги нагнетается вода для того, чтобы алмазы не нагревались, а так же для вымывания буровой муки. Получение столбиков породы представляет много ценного для непосредственного суждения о характере проходимых пород. Буровые станки можно получать приводимые в движение от руки, лошадиной силой, действующие от газового или нефтяного двигателя, электрического мотора, паром или же сжатым воздухом. Компания Сулливан строит более 30 различных типов и размеров буровых машин, работающих на глубину от 76 до 1800 *м*. Наиболее существенную часть представляют черные алмазы. Они непрозрачны и аморфны, добываются в Бразилии и применяются в кусках от 1,75 до 4,0 карата. Цена за карат колеблется от 2 долларов.

Стоимость алмазного бурения довольно высока.

Все общеизвестные способы геологических изысканий сопряжены с непосредственным обнажением недр земли или хотя бы частичным проникновением инструментов в глубину горного массива. Однако, такого рода работы стоят дорого, зависят от многих случайностей и не всегда могут дать исчерпывающую картину. Поэтому чрезвычайно желательно усовершенствовать новейшие способы геофизических разведок горных пород.

Все новейшие способы разведки могут быть разбиты на две группы: одну группу составляют методы, основанные на исследованиях путем изучения тех или иных свойств и особенностей горного массива в его естественном состоянии без создания искусственным путем каких-либо особых условий состояния горных пород. Сюда относятся:

1. *Гравитационный метод*, основанный на изучении аномальных изменений силы тяжести в зависимости от состава близлежащих горных пород.

2. *Магнитометрический метод*, основанный на наблюдениях над магнитными аномалиями в зависимости от состава близлежащих пород.

3. *Геотермический метод*, основанный на наблюдениях над изменениями и аномалиями в возрастании температуры горных пород по мере углубления в недра земли.

4. *Радиометрический метод*, основанный на измерении радиации земли.

5. *Метод*, основанный на изучении *естественного электрического поля.*

Вторую группу составляют методы разведки, основанные на изучении явлений и особых аномальных состояний, возникающих в горных массах как результат специфических свойств данных пород, под действием искусственных внешних влияний на горный массив. Сюда относятся:

6. *Акустический метод*, основанный на изучении распространения упругих колебаний под действием искусственно производимого звука.

7. *Сейсмометрический метод*, основанный на изучении упругих колебаний под действием искусственных землетрясений, вызванных взрывами.

8. *Электрический метод*, основанный на применении электрического тока: постоянного или переменного.

9. *Метод*, основанный на применении электромагнитных волн *(радиоволн).*

ЛИТЕРАТУРА

Наиболее важные монографии или руководства отмечены звездочкой.

* *Белелюбский, Н. А.* Механическая лаборатория Ин-та путей сообщения. СПБ. 1886.

* *Берг, Л.* и *Дубянский, В.* Формы и растительность русских пустынь. 1911.

Бернацкий, Л. Деформация железнодорожного полотна и меры борьбы с ней.

* *Богданович, К.* Каменные строительные материалы. СПБ. 1913.

Богданович, Мушкетов и др. Землетрясение в сев. цепях Тянь-Шаня 1911 г. Труды Геол. ком. 1889.

Богословский, Н. А. Геологические наблюдения вдоль ж.-д. линии Н.-Новгород—Тимирязево. Изв. Геол. ком. 1900.

Богуславский, Н. А. Волга как путь сообщения. Сборник Ин-та путей сообщения. Выпуск IX.

* *Бокий, Б. И.* Практический курс горного искусства. 1923.

* *Вебер, В.* Геологическая съемка. (Полевая геология). 1933.

Вечная мерзлота. Сборник. 1930.

Войслав. Краткое описание причины пучения полотна Николаевской ж. д. Труды бюро исслед. почвы. 1896.

Гейслер, А. Н. Строительные камни. Сборник «Нерудные ископаемые». 1927.

Гинзберг, А. С. О желательности привлечения геологов к обслуживанию фронта. Труды Комиссии сырья. В. IV.

* *Глинка, С.* Каменные строительные материалы. СПБ. 1891.

Гомилевский, Е. В. О капитальном ремонте ствола Александровской колонны. Горный журнал. Кн. 8. 1913.

Евдокимов-Рокотовский. Основы геологии при проведении туннелей. Томск. 1928.

Заварицкий, А. Н. Введение в петрографию осадочных горных пород. 1932.

Зброжек. Сток атмосферных осадков. СПБ. 1901.

Иванов, Д. Значение геолог. исслед. для устойчивости полотна Уссурийской ж. д. Изв. О-ва горн. инж. 1894 г. — Обвалы железнодорожных откосов. Изв. Вост.-Сиб. отд. географ. об-ва. 1901.

Его же. Уфимские воронки. 1892.

Каракаш, Н. И. Геологический очерк проектированной ж.-д. линии Пермь — Екатеринбург — Курган. СПБ. 1906.

* *Кейльгак.* Подземные воды. Перевод Стопневича. 1914.

* *Костычев, П. А.* Алешкинские пески. СПБ. 1884.

Краснопольский, А. А. Грунтовые и артезианские колодцы. СПБ. 1912.

* *Крубер, А.* О карстовых явлениях в России. Землеведение VII.

Его же. Карстовая область Крыма.

Лахтин, В. О механизме речного русла. 1895.

Лахтин, Н. О выветривании каменных строительных материалов.

Лебедев, С. Глина как материал. В журнале «Строит. промышленность». № 4, стр. 263.

Левинсон-Лессинг, Ф. Ю. Петрография. 1933.

* *Его же.* О значении геологии при проведении туннелей. (Труды 2-го съезда по практ. геологии 1912 г.). Литература.

* *Левинсон-Лессинг, Ф. Ю.* и *Зайцев.* К вопросу о давлении в туннелях. Петроград. 1915.

* *Лукашев, К.* Грунтоведение. 1933.

Ляхницкий, В. Е. Основы морского портостроения. (Труды отдела портостроения. В. LXII. 1919 и 1924).

Львов, А. Постройка Кругобайкальской ж. д. Технико-геологическая пояснит. записка. 1904. — Технико-геологическое описание линии западной части Амур-

ской ж. д. 1911. — Поиски и испытания водоисточников водоснабжения на зап. части Амурской ж. д. в условиях «вечной» мерзлоты почвы. 1916.
Максимович, Н. М. Днепр и его бассейн. 1901.
Максимович, В. Исслед. каменных материалов, употребляемых для ремонта шоссе и мостовых в Варшавском округе П. С. 1905.
* *Мушкетов, И.* Перевод книги Вагнера «Приложение геологии к инженерному делу». Сборник Ин-та пут. сообщ. Выпуск XI. 1887.
Его же. Геологический очерк ледниковой области Теберды и Чхалты на Кавказе. Труды Геолог. ком. Т. XIV. № 4. 1896.
Его же. Физическая геология. Том I и II. 3-е издание. 1924 и 1925.
Мушкетов, И. и др. Геологические исследования вдоль линии Кругобайкальской ж. д. СПБ. 1904.
Никитин, С. Н. Грунтовые и артезианские воды на русской равнине. СПБ. 1900.
Николаевский, Ф. Торфяные богатства и культура болота. Природа. 1915. Приведена литература вопроса.
Отоцкий, П. Грунтовые воды. СПБ. 1905.
Павлов, А. П. Доклад об оползнях, содержание которого подробно изложено в журнале «Строит. промышленность». 1924. № 4, стр. 285.
Его же. Заметка об образовании оползней в глинистых и глинисто-песчаных породах. Протокол заседания О-ва исп. природы. 1910. № 4, стр. 29.
* *Его же.* Оползни Симбирского и Саратовского Поволжья. М. 1903. То же. Отзыв комиссии Геол. ком. (Изв. Г. К. 1904).
* *Его же.* Оползни около Батраков на правом берегу Волги. М. 1907.
Пальчинский, П. А. Основные задачи развития промышленности строительных материалов и *Малявкин, С.* Карта естественных минеральных строительных материалов Европейской России. Издание НТО ВСНХ. 1924.
Петров, В. Наледи Амурско-Якутской магистрали. Изд. Академии наук. 1930.
Подъяконов. Наледи Вост. Сибири. Изв. Р. Г. об-ва. 1903.
Раунер, С. Ю. Дюны, их укрепление и облесение. СПБ. 1884.
Синцов, И. Об одесских оползнях и о причинах их происхождения. Записки Новоросс. общ. естеств. Том. XXII. 1898.
Соболев, Н. О карстовых явлениях Онежско-Двинского водораздела. Изв. Геогр. об-ва. Том XXXV, 5. 1899.
Сокович, Е. А. Железнодорожные работы в неустойчивых грунтах. (Инженерное дело, 1905. № 2—3).
* *Соколов, Н. А.* Дюны. СПБ. 1884.
Сукачев, В. Н. Болота. Петроград. 1915
Сумгин, М. И. Вечная мерзлота. Изд. Академии наук. 1931.
Терцаги, К. Инженерная геология. Ленинград. 1932.
Тове, Л. Приложение горной и геологической техники в условиях современной войны. Вестник О-ва сиб. инж. Т. I. 1916. № 1.
Толмачев, И., Тихонович, Н., и *Мамонтов, В.* Геологическое описание района проектируемой Южно-Сибирской ж. д. СПБ. 1913.
Ционглинский. О наблюдениях над замерзанием р. Невы. СПБ. 1905.
Цишевский, И. О наблюдениях над замерзанием р. Невы. СПБ. 1905.
Его же. Исследование перехода Астраханской жел. дороги через дельту р. Волги. 1904.
Цыбульский, В. Инженерная геология. Ленинград. 1932. Часть 2-ая.
Чарноцкий, С. Отчеты о геолог. исслед. вдоль Армавир-Туапсинской ж. д. и Рязано-Уральской. Изв. Геол. ком. 1915.
* *Федоровский, Н. М.* Опыт прикладной минералогии. 1924. Чрезвычайно полезная краткая сводная работа.
Феофилактов, Н. Приднепровские оползни и обвалы в гор. Киеве.

Весьма важными являются следующие сборники:

Геологические исследования в области Перевальной ж. д. через Кавказский хребет. СПБ. 1914.
Геологические исследования вдоль линии Сибирской ж. д. Большая серия трудов ряда авторов.
Труды экспедиции для исследования источников главнейших рек Европейской России. 1895.
Труды 1-го (1903) и 2-го (1912) Всероссийских съездов деятелей по практической геологии и разведочному делу в С.-Петербурге.
Комитет военно-технической помощи. Карта-справочник строительных материалов по Западному фронту. 1916. На правах рукописи.

Химико-технический справочник. Ископаемое сырье. 1919. НТО ВСНХ.

Естественные производительные силы России. Материалы — вып. 41 — каменные строительные материалы. 1923. Том IV. Полезные ископаемые, из нескольких выпусков, составленных б. Геологическим комитетом.

Кроме того большое количество различных статей по геологическим исследованиям вдоль ж.-д. линий с другими практическими вопросами содержится в изданиях Геолотического комитета («Известия»), в журнале «Инженер» (работы *Корейши, Дмоховского, Балабуева* и др.).

Наконец весьма *важны инструкции*, составленные Русским географическим обществом для специальных наблюдений, а именно: древнего оледенения (1909); установки на ледниках меток; изучения мерзлоты почвы (1912); исследования озер (1908 и 1924); рек (1896); над зимним состоянием рек. Изд. Отдела земельных улучш. (1910); летучих песков (1898) и сыпучих песков (1911); определения высот барометром и много других.

Beyschlag, F. Wert der Geologie für die Praxis besonders für den Eisenbahnbau Berlin 1902.

Brauns, D. Die technische Geologie. 1878.

van der *Broeck, E.* A propos du rôle de la géologie dans les travaux d'interét public. Procès verbaux de la Soc. Belge de la Géologie. 1888.

* *Dann, P.* Elastic stresses in the rock surraunding pressure tunnels. (Proceed. of the Amer. Soc. of Civil Engineers. April. 1923).

* *Gerhardt, P.* Handbuch des deutschen Dünenbaues. Berl. 1900. Специальное сочинение по изучению и закреплению дюн.

* *Hermann, O.* Steinbruchindustrie unb Steinbruchgeologie. Berlin. 1916.

* *Hirschwald, J.* Leitsätze für die praktische Beurtheilung, zweckmässige Auswahl und Bearbeitung natürlicher Bausteine. Berlin. 1915.

* *Höfer, H.* Anleitung zum geologischen Beobachten, Kartieren, Profilieren. Braunschweig. 1921.

* *Его же* (*Гёфер*) Справочная книга по горному делу. СПБ. 1913.

Keilhack, K. Lehrbuch der praktischen Geologie. IV Aufl. 1923. Stuttgart.

Krusch, P. Gerichts und Verwaltuugsgeologie. IV Aufl. Stuttgart. 1923.

* *Lahee. F. H.* Field geology. 1923.

Mac Donald. Some engineering problems of the Panama Canal in their relation to geology and topography (Bur. of Mines Bull. 86. Washington. 1915).

Parks. Rapport sur les pierres de construction et d'ornement du Canada Min. des mines. Rap. № 280. 1916.

* *Prinz, E.* Handbuch der Hydrologie. Berlin. 1919.

Proetel, H. See und Seehafenbau. Подробное изложение различных методов укрепления морских берегов.

* *Ries, H.* und *Watson, T.* Engineering Geology. N. Vork. 1915.

* *Rinne, F.* Gesteinskunde für Studierendeder Naturwissenshaft. Forstkunde und Landwirtschaft, Bauingenieure, Architekten und Bergingenieure. V. Aufl. 1920. Leipzig.

* *Schöndorf, Fr.* Verwertung Geologischer Karten und Profile. Berlin. 1922.

* *Singer, M.* Die Bodenuntersuchung für Bauzwecke. Leipzig. 1911.

* *Singer, M.* Der Baugrund. Wien. 1932.

Sorsbie, R. F. Geology for Engineers. London. 1911.

Slichter, Ch. Подземные воды. В русском переводе Стопневича. СПБ. 1912.

Stiny, J. Technishe Geologie. 1922. Stuttgart.

* *Stutzer, O.* Geologisches Kartieren und Prospektieren. Berlin. 1919.

* *Wilser, J.* Grundriss der angewandten Geologie. Berlin. 1921.

Wilser, J. Geologische Veraussetzungen für Wasserkraftanlagen. Berlin. 1925.

Абразия 233
Авгит 52
Агальматолит (пагодит) 111
Актинолит 52
Алебастр 54, 301
Аллювиальные массы 225
Аллювий 286
Альбит 50
Алюминий 16
Амфиболит 114
Амфиболы 52
Анамезит 75
Ангидрит 54
Андезит 75
Анортит 50
Антиклиналь 283
Антрацит 258
Апатит 54
Аркозы 290
Асбест 52
Асфальт 259
Атмосфера 2, 121
Афанит 75
Аэротермический градиент 22

Базальт 75
Барисфера 17
Барит или тяжелый шпат 54
Барраж 239
Барханы 137
Батолит 41
Берега, их перемещение 233
Береговые валы 232
Бинокль призматический 305
Биотит 51
Бок висячий 41, 265
— лежачий 41, 265
Боковые конусы 154
Бомбы вулканические 38
Брекчия 285
— трения 103
Бурение 403
Бурый уголь 257

Валуны 213
— ледниковые или моренные 147
Вариометр гравитационный 18
Веерные наносы 220
Век 270
Величина ускорения 94
Взброс 280
Вкрапленники 58
Влагоемкость 386
Вода 363
— артезианская 171
— несвободная, напорная 157
— ювенильная 167
Водная оболочка, гидросфера 33
Водоворот 216
Водонепроницаемость и влагоемкость 386
Водоносный слой 164
Водоснабжение 176
Водохранилища 153
Воды грунтовые 164
— подземные 162
— проточные 210
Военное дело, аэродромы 393
— — использование пещер 392
— — отражение танков 394
— — применение геологии 389
— — прокладка проводов и кабелей 393
— — установка тяжелых машин и орудий 393
— — устройство складов 393
Воздухопроницаемость 386
Воздушное седло 283
Воронки 176
Вулканизм 33, 79
— на глубине 40
Вулканические извержения 35
Вулканические туфы 39
Вулканический песок 38
Вулканы 36
— массивные 36
— однородные 36
— слоистые 36
Выбор места для поселений 394
— — — полей орошения 395
Выветривание 122
— органическое 125
— физическое 122
— химическое 124
Выводной канал муры 219

Габбро 71
Газы вулканические 39
Галечники 286
Галоиды 56
Гальки 213
Гафы 231
Гейзеры 40
Гематит 55
Геоид 16
Геоизотерма 22
Геологический или горный компас 305
Геотектоника 78
Геотерма 22
Геотермический градиент 22
Геофизика 83
Геофизические способы разведок 404
— — — метод акустический 405
— — — — геотермический 405
— — — — гравитационный 404
— — — — магнитометрический 405
— — — — радиометрический 405
— — — — сейсмометрический 405
— — — — электрический 405
Гидрогеология района 312
Гидроизогипсы 168
Гидросиловые сооружения 250
Гидросфера 33
Гипоцентр 84
Гипс 301
Гипсовые воронки 158
Главные минералы 55
Глауконит 52
Глины 297
— битуминозные 298
— горшечные 298
— известковые 298
— мергелистые 298
— происхождение глин 299
— сланцеватые 298
— соляные 298
Гнейс авгитовый 108
— жильный 40
— ленточный 40

Гнейс ротовообманковый 108
Горная смола, асфальт 259
Горное давление 114, 116
Горный воск, озокерит 259
Горст 281
Горшечный камень 111
Горячие ключи 40
Грабен 281
Гравий 289
Гравиметрические наблюдения 17
Гранит 66
— гнейсовый 67
Гранитогнейс 67
Грунтовые воды 164
Грунт кайловый 374
— мягкий 374
— твердый 374
Грунты оснований 327
— — цифровые показатели их свойств 330
Группа каолина 53
— оливина 51
— слюд 51
— хлорита 51
Грязевой поток 184

Давление 356
Дайка 41
Дебит 171
Делимость 383
Дельта 220
Делювиальные образования 127
Денудация 229
Дефляция 133
Деятельность ветра 132
— льда 142, 144
— организмов 252
— снега 142
Деятельный слой 20
Диабаз 75
Диаллаг 52
Динамометаморфизм 101
Диорит 70
Дислокационный метаморфизм 101
Дислокация 101
Добыча каменно-строительных материалов 371
Доггер 270
Долерит 75
Долинные ледники 145
Долины антиклинальные 227
— диагональные 227
— корытообразные 150
— косые 227
— моноклинальные 227
— образование 224
— продольные 227
— размывания 227
— сбросовые 227
Долины синклинальные 227
— структурные 227
— тектонические 227
— торговые 150
Доллины 159
Доломит 54, 296
Донный лед 144
Дресва 285
Друзы 161
Дюны 132, 137

Железные руды 54
Железо 16
Жеоды 161
Жилы 41, 162

Закись железа 55
Залегание 317
— дислоцированное 277
— нарушенное 277
— ненарушенное 277
Залежи песка и гравия 289
Запись полевых наблюдений 305
Землетрясения 83
Землетрясения денудационные 85
— интрузивные или магматические 85
— классификация 85
— обвальные 85
— последствия 91
— скрытовулканические 85
— тектонические 85
Земля, плотность 16
— поверхность 33
— происхождение 15
— теплота 18
— фарфоровая 297
— физические свойства 16—32
— форма 16
Земная кора 16
Земное электричество 31
Зерна кристаллические 45
Зернистость 380
Змеевик 51
Зола 253
Зоны 270
— анаморфизма 34
— земной коры 33
— катаморфизма 34
— магмы 34
— нарушений 280
— новообразований 34
— растяжения 34
— сжатия 34

Извержения вулканические 35
— линейные 36
— площадные 36
Извержения поверхностные 36
— центральные 36
Известковая накипь 294
Известковый сланец 294
Известняк 293
— асфальтовый 294
— глинистый 294
— доломитовый 294
— железистый 294
— кремнистый 294
— песчанистый 294
— фосфоритовый 294
Изогоны 30
Изодинамы 30
Изосейсты 91
Изоклинали 30
Ил 213
— гнилой 255
Инструменты для геологических работ 304
Интрузия 40
Исландский шпат 53
Исполинские котлы 146
Источники 166
— восходящие 173
— горячие 173
— грунтовые 172
— минеральные 175
— нисходящие 172
— переливающиеся 172
— пещерные 172
— пластовые 172
— подпорные 173
— сбросовые 172, 173
— склонов 172
— теплые 173
— трещинные или жильные 173

Кайловый грунт 374
Калий 16
Кальций 16
Кальцит 53
Каменная соль 54
Каменный уголь 257
Камень огнеупорный 292
— полировальный 292
— пробирный 292
Каньоны 153
Каолин 50, 53, 297
Каолинизация 53
Карбонаты 56
Карровые рытвины 157
Карст массовый 273
Карстовые образования 160
Карта водоносности 308
— геологическая 306
— литологическая 307
— нефтеносности 308
— обзорная 307
— пластовая 307
— полезных ископаемых 308

Карта тектоническая 308
— четвертичных отложений 308
Кварц 49
Кварцевые порфиры 72
Кварцит 290
Кварцитовые сланцы 110
Кизельгур 293
Кислород 16
Классификация грунтов 332
— долин 227
— озер 230
Кливаж 103
Колебания магнитной стрелки 30
— в сейсмических областях вертикальные 96
— волнообразные 96
Коллектирование 401
Колодец артезианский 174
Компас горный или геологический 266
Конгломераты 286, 361
— аллювиальные 286
— базальные 233
— дилювиальные 286
— ледниковые 286
— основные 233
— речные 286
Конус боковой выносов 154
— горного щебня 127
— набухания 37
Коралловый риф 258
Котловины 153
Коэфициент насыщения 386
— стока 212
Краснозем 124, 157
Кратер 36
Кремний 16
Кристалл 46
Кристаллография 48
Кровля пласта 265
Куполы 38, 43

Лава 37
Лавины 145
Лавовые потоки 28
Лагуны 231
Лакколиты 43
Легенда литологическая 309, 310
Ледники 144
— висячие 145
— долинные 145
Ледниковая эпоха 149
Ледниковый покров 270
— стол 146
Лейас 270
Лёсс 135, 272
Лимонит (бурый железняк) 55
Линариты 72
Лиственит 111
Литература 311
Литосфера 17
Лупа карманная 305
Ляпилли 38

Магма 34
Магнезит 293
Магнетизм земли 29
Магнетит 55
Магний 16
Магнитная буря 30
— линия 30
— (магнитометрическая) разведка 31, 405
— стрелка 30
— черная окись 55
Магнитное колебание 30
— наклонение 29
— напряжение 29
— склонение 29
Магнитность минералов 48
Мальм 270
Массив интрузионный 41
Мел 294
Мелафиры 75
Мергели 296
Мерзлота вечная 21
— слоистая 20
Метаморфизация 101
Метаморфизм 40
— дислокационный 101
— кинетический 101
— контактовый 44
— региональный 101
Метеориты 17
Микроскоп 48
Микроскопическая классификация пород 48
Милонит 103
Минералы вторичные 55
— главные 55
— макроскопическая характеристика 48
— первичные 47, 55
— породообразующие 47
— самородные 56
— физические свойства 47
Миоцен 271
Млекопитающие 270
Молоток геологический 304
Моноклинальная свита 283
Морены боковые 148
— верхние 148
— внутренние 148, 149
— конечные 149
— нижние 148
— основные 150
— поверхностные 148
— поддонные 150
— срединные 148
Моретрясение 83
Мощность пласта 266
Мрамор 111, 293, 295
Мульда 283
Муровой поток 194, 216
Муры 129, 194, 216
Мусковит 51
Муть 213

Надвиг 277, 280
Накипь известковая 294
Наледь грунтовых вод 20
Наносы 79
— веерные 220
— снежные 141
Натрий 16
Нефелин 51
Нефрит 59, 112
Нефть 258

Обвал 176 179
Области асейсмические 91
— пенесейсмические 91
— сейсмические 91
Обнажения 317
Обрабатываемость 373
Образования см. Отложения
Овраг 224
Огнеупорность 389
Огнеупорный камень 292
Озера бессточные 230
— денудационные 230
— дюнные 231
— карстовые 230
— кратерные 231
— ледниковые 230
— моренные 231
— обвальные 231
— проточные 230
— тектонические 230
Озерный мел 255
Озокерит 259
Окаменелость 268
Окислы 56
Округ охраны 395
Оледенение 153
Оливины 51
Описание маршрутов 309, 311
— обнажений 309, 311
Оплывина 184
Оползень 175, 176, 179
Оползни, их распространение 197
— -надвиги 199
— соскальзывания 199
Органическое выветривание 125
Ортогнейс 77, 108
Ортоклаз 49
Осов 182
Осыпь 285, 335
— склонов 182
Отделение пород 373
Отделы 270
Отдельность 46, 61

Отдельность неправильно-многогранная 64
— осадочных пород 267
— пластовая 61
— плитообразная 61
— правильношестиугольная 65
— столбчатая 62
— шаровая 64
Отложения ветра 134
— глубоководные 236
— делювиальные 127
— прибрежные 236
— эоловые 134
Отмели 221
Отчет окончательный 309
— полный 309
— предварительный 308
Офикальцит 295
Охра 229, 298
Очерк геоморфологический 311
— гидрографический 311
— орографический 311

Падение 41, 266
Паратнейсы 108
Пемза 33
Пепел 38
Переброс 277
Перевал 315
Перегиб воздушного седла 283
Перидот 51
Перидотит 51, 71
Период 269
Пески для стекла 288
— кварцевые 288
— литейные 288
— огнеупорные 288
— рыхлые 287
Песок 289
Песчаники 289
— битуминозные 291
— глинистые 291
— доломитовые 290
— известковые 290
— кремнистые 290
— лимонитовые 291
— мергелистые 290
— слюдистые 291
Пещера 158
Пирит 55
Пироксен 52
Пироксенит 71
Плагиоклаз 49
Пламенные угли 257
Пласт 265
Пластовые жилы 42
— штоки 43
Плейстоцен 271
Плиоцен 271
Плоскость излома 388
Плоскость скольжения 91
Плотины 239
Плотность 70
Плывуны 117, 171
Поверхность земли 33
— зеркала 278
— скольжения 278
Подземные воды 162
Полевой шпат 49
Полевошпатовые порфиры 73
Полезные ископаемые 312
Полируемость 388
Породы, влагоемкость их 386
— водонепроницаемость 386
— воздухопроницаемость 386
— вулканические 36
— глубинные 36, 57
— горные 46
— делимость 383
— жильные 36
— зернистые 380
— изверженные 36—56
— излившиеся 36
— изнашивание 381
— интрузивные 36, 58
— их строение 379
— их технические свойства 65
— кирковые 374
— кластические 47
— коренные 79
— кремнистые 292
— кристаллические 46
— магнитные 30
— мягкие 374
— нагреваемость 387
— обломочные 47, 261
— обрабатываемость 381
— огнеупорность 389
— окраска 388
— оолитовые 267
— органогеновые 261
— осадочные 261
— плотность 384
— плутонические 36, 57
— полируемость 388
— полнокристаллические 57
— применение для строительных целей 377
— прочность 383
— размягчаемость 384
— роговообманковые сланцевые 112
— свойства плоскостей излома 388
— слоистые 266
— стойкость на выветривание 385
— сцепление зерен 380
— твердые 374
Породы, теплопроводность 387
— углекислые 293
— удельный вес 384
— эффузивные 36, 58
Постель или почва пласта 265
Постплиоцен 271
Постройка плотин 239
Поток грязевой 184
Пояс выветривания 34
— нарушений 280
— постоянной температуры 18
— цементации 34
Предел липкости 331
— пластичности грунта 331
— текучести грунта, верхний 331
— — — нижний 331
— усадки грунта 331
Пробирный камень 292
Провал 158, 176, 182
Происхождение земли 15
Просачивание 167
Прослойки 266
Простирание 41, 266
Простирание и падение жилы 41
Процессы внешней динамики земли 80
— внутренней динамики земли 80
— горообразовательные 79
— горообразующие 80
— денудационные 80
— колебательные 81
— орогенические 80
— тектонические 79
— эпейрогенические 80, 81
Пуддинг 287
Пуццоланы 89
Пучение 344
— грунта 178
Пучина 176, 344

Радиоактивность 28
Радиоволны 405
Развевание 132
Разложение пород 124
Размягчаемость 384
Разрез геологический 307
Распадение пород 122
Расход твердых материалов 214
Регистрация современных ледников 152
Ригель 153
Рисовальный уголь 300
Роговая обманка 52
Роговик 46
Роговообманковые сланцевые породы 112
Родник 166

Россыпь 288
Рулетка холщевая 305
Рытвины карровые 157
Рыхлые и твердые галечники 286
Рыхлые продукты извержения 38
Рябь (песчаная) 137

Самородное железо 55
— золото 56
Сапропель 253
Сброс веерообразный 284
— вращательный 280
— диагональный 278
— зигзагообразный 284
— изоклинальный 284
— косой 278, 283
— наклонный 283
— нормальный 279
— опрокинутый 283
— поперечный 278
— продольный 278
— прямой 283
— сложный 280
— стоячий 283
— ступенчатый 281
— террасовидный 281
Свита несогласно залегающая 268
— одновозрастная 268
— согласно залегающая 268
Своды воздушные 283
Сдвиги 277, 278
Селенит 54
Седло воздушное 283
— — крыло 283
— — перегиб 283
— — ядро 283
Сейсмогеология 83
Сейсмограмма 86
Сейсмометр 86
Сидерит 55, 293
Сиенит 69
Сила влечения 214
Сили 216
Силикаты 56
Синклиналь 283
Системы 270
Складки 80, 277
Складчатость 79, 282
Скорость выветривания 125
Слабый мягкий грунт 374
Сланцеватость 103, 266
Сланцы аспидные 300
— глинисто-слюдяные 109
— глинистые 299
— грифельные 300
— известковые 294
— кварцитовые 110
— кремнистые 292
— кровельные 300
— мергелистые 300
Сланцы полировальные 292
— слюдяные 109
— тальковые 110
— точильные 300
— углистые 300
— хлоритовые 111
Сложение глазное 106
— очковое 106
— узловатое 106
Слои 265
Слоистая мерзлота 20
Слой деятельный 20
Слюды 51
Смыв 80
Смывание 156
Снеговая линия 142
Согласно залегающая свита 268
Соляная кислота 305
Сооружения гидросиловые 250
Сопротивление породы изгибу 116
— — раздроблению 114
— — разрыву 115
— — скалыванию 116
Спайность 48
Способ разработки 371
Сталагмиты 161
Сталактиты 161, 264
Старица 223
Стеатит 52, 111
Стойкость на выветривание 323
Сток 212
Стратиграфия 311
Стреляние пород 118
Строение — см. Структура
Строительство гидротехническое 237
— дорожное 334
— железнодорожное 334
— туннелей 354—370
Структура или строение 56, 66, 267
— брекчиевая 267
— гранитовая (гранитная) 58
— илистая 267
— катакластическая 103
— конгломератовая 267
— ленточная 266
— пелитовая 267
— песчаниковая 267
— полнокристаллическая 57
— полосчатая 266
— полукристаллическая 57
— порфировая 58
— псаммитовая 267
— равномернозернистая 58
— равномерномассивная 56
— сланцеватая 66
— слоистая 66
Структура стекловидная 57
— шарообразная 267
Судебная экспертиза 395
Сульфаты 56
Сульфиды 56
Съемка геологическая 306

Талая почва 19
Талик 19
Тальк 52
Тальковые сланцы 110
Твердость минералов 47
Текстура или сложение 66
Тектоника 79, 312
Температура 18
Теория инфильтрационная 162
— конденсационная 157
Теплопроводность горных пород 23
— и нагреваемость горных пород 387
Теплота земли 18
Теплые источники 28
Террасы аллювиальные 229
— береговые 232
— коренные 229
— поперечные 229
— продольные 229
Технические свойства изверженных пород 65
— вопросы в сейсмических областях 96
Товарная экспертиза 395
Томпание 118
Торф 254
Трапп 77
Трасса 89
Трахит 73
Тремолит 52
Троги 153, 227
Туннели 176, 351
Туф известковый 294

Угол выхода удара 97
Уголь бурый 257
— жирный 257
— каменный 257
— пламенный 257
— рисовальный 300
— спекающийся 257
— тощий 257
Удельная мощность потока 214
Удельный вес 48
Узловатое сложение 106
Упругие волны 86
Уступ волноприбойный 233
Устьевые выносы 220

Фельдшпатиды 50
Фён 145
Филлиты 109

Фирн 145
Флексура 277
Фонолит 74
Форма земли 16
Формы рельефа 301
Фосфаты 56
Фосфорит 259

Химическое разложение пород 124
Хлорит 51
Хребты 302
Хризотил 51

Цвет минералов 47
Цемент 290

Черты минералов 48
Чинполин 295

Шарриаж 285
Шифер 300
Шкала землетрясений 87
Шлаки 38
Шлейф предгорий 220
Шпат железный 293
Штоки 40
Штрихи ледниковые 148

Эклиметр 305
Электрическое поле 405
Элювиальные отложения 127
Эоцен 271
Эпицентр 84
Эпоха 270
— голоцен 271, 272
— девонская 271
— каменноугольная 271
— кембрийская 271
— меловая 271
— неогеновая 271
— палеогеновая 271
Эпоха пермская 271
— плейстоценовая 271
— силурийская 271
— современная 271
— триасовая 271
— юрская 271
Эра 270
— вторичная 270
— допалеозойская 270
— кенозойская 270
— мезозойская 270
— палеозойская 270
— первичная 270
— третичная 270
— четвертичная 270
Эрозионный базис 226
Эрозия 215

Ядро свода (седла) 283
Ярусы 270

Оглавление

Стр.

Предисловие 3

Введение . . . . .

I. Происхождение и физические свойства Земли

§ 1. Происхождение Земли 15
§ 2. Форма Земли 16
§ 3. Плотность Земли 16
§ 4. Теплота Земли 18
§ 5. Проявление собственной теплоты Земли 22
§ 6. Радиоактивные вещества и их геологическое значение . . . 28
§ 7. Магнетизм Земли 29
§ 8. Земное электричество 31

II. Вулканизм и происхождение изверженных пород

§ 9. Физические условия вулканических явлений 33
§ 10. Вулканизм и происхождение изверженных пород 35
§ 11. Поверхностные извержения 36
§ 12. Вулканизм на глубине 40
§ 13. Состав земной коры 46
§ 14. Наиболее распространенные минералы 47
§ 15. Изверженные горные породы 56
§ 16. Отдельность 61
§ 17. Технические свойства изверженных пород 65

III. Геотектоника

§ 18. Горообразовательные процессы 79
§ 19. Медленные поднятия и опускания земной коры 81
§ 20. Землетрясения 83
§ 21. Причины, характер и распространение землетрясений . . . 84
§ 22. Последствия землетрясений 91
§ 23. Технические вопросы в сейсмических областях 96
§ 24. Изменение пород при горообразовании 101
§ 25. Влияние горного давления на инженерные сооружения . . . 114

IV Динамика внешняя (процессы денудационные)

§ 26. Геологическая деятельность атмосферы 121
§ 27. Геологическая деятельность ветра 132
§ 28. Геологическая деятельность льда 142
§ 29. Смывание (геологическая деятельность дождевой и просачивающейся воды) 156
§ 30. Подземные воды и источники 162
§ 31. Смещение масс на поверхности 177
§ 32. Следствия смещения масс 193

Стр.

§ 33. Распространение оползней 197
§ 34. Проточные воды 210
§ 35. Образование долин 224
§ 36. Озера и моря 230
§ 37. Гидротехническое строительство 237
§ 38. Геологическая деятельность организмов 252

V. Осадочные породы

§ 39. Осадочные породы и их технические свойства 261
§ 40. Четвертичные отложения 272
§ 41. Условия и формы залегания осадочных горных пород . . . 277
§ 42. Некоторые, технически более важные, разновидности осадочных пород 285
§ 43. Краткие сведения из геоморфологии 301

VI. Приложение геологии к инженерному делу

§ 44. Организация геолого-разведочных работ при технических изысканиях 304
§ 45. Горные породы в качестве основания искусственных сооружений 315
§ 46. Дорожное и железнодорожное строительство 334
§ 47. Проведение туннелей 351
§ 48. Добыча каменных строительных материалов 569
§ 49. Применение каменных пород для разного рода строительных целей 375
§ 50. Применение геологии в военном деле 387
§ 51. Различные случаи применения геологии 392

Приложения:

1. Простейшие методы определения горных пород в поле 395
2. Определение элементов залегания горных пород 397
3. Коллектирование 399
4. Способы бурения 401
Литература 404
Указатель геологических терминов и названий 407

Ответственный редактор *М. Ф. Шитиков.*
Сдана в набор 17/XII 1933 г.
Формат 62 × 94¹/₁₆.
Бум. листов 12³/₄.
Горгеонефтеиздат № 260.
Тираж 8.000 — авт. л. 32¹/₂.
Ленгорлит № 1249.
Технический редактор *Р. Аронс.*
Подписана к печати 20/III 1934 г.
Тип. зн. в 1 бум. л. 101.504.
Заказ № 1931.

2-я типография ОНТИ им. Евгении Соколовой. Ленинград, пр. Красных Командиров, 29.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ГОРНО-ГЕОЛОГО-НЕФТЯНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

УЧЕБНИКИ ДЛЯ ВТУЗОВ

Левинсон-Лессинг Ф. Ю. акад. — Петрография. Изд. 3-е, исправленное и дополненное. 1933. Стр. 460. Ц. 6 р., пер. 1 р. 25 к.

Левинсон-Лессинг Ф. Ю. акад. и **Белянкин Д. С.** проф. — Петрографические таблицы. Изд., 5-е., исправленное и дополненное. 1933. Стр. 102. Ц. 1 р. 75 к.

Кайзер Э. — Краткий курс общей геологии. Изд. 4-е (стереотипное), 1933. Стр. 236. Ц. 2 р. 75 к., пер. 75 к.

Лодочников В. Н. — Главнейшие породообразующие минералы. 1933. Стр. 248. Ц. 3 р. 50 к., пер. 1 р.

Разумовский Н. К. — Определение минералов по наружному виду и при помощи паяльной трубки. 1933. Стр 197. Ц. 2 р. 50 к.

Свитальский Н. И. проф. — Курс рудных месторождений, том I. Месторождения магматические. 1933. Стр. 369. Ц. 5 р. 50., пер. 1 р. 25 к.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ГОРНО-ГЕОЛОГО-НЕФТЯНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Свитальский Н. И. проф. — Курс рудных месторождений, том II. Месторождения выветривания, осадочные и метаморфические. 1933. Стр. 167. Ц. 2 р. 25., пер. 1 р. 25 к.

Терцаги К. проф. — Инженерная геология. Перевод с немецкого под ред. проф. Н. В. Бобкова. Изд. 2-е, дополненное, 1934. Стр. 444. Ц. 5 р. 75 к., пер. 1 р.

Тиррель Г. В. — Основы петрологии. Перевод с английского под ред. проф. А. Н. Заварицкого. Изд. 2-е. 1933. Стр. 323. Ц. 5 р. пер. 75 к.

Уткин И. А. — Курс глубокого и сверхглубокого вращательного бурения. 1933. Стр. 316. Ц. 4 р. 25 к., пер. 1 р. 50 к.

Шамшев Ф. А. горн. инж. — Курс разведочного бурения. Ударно-вращательное (ручное) и колонковое бурение. 1933. Стр. 376. Ц. 4 р. 50 к., пер. 1 р. 50 к.

Яковлев С. А. проф. — Учебник геологии. Изд 7-е, переработанное и дополненное. 1933. Стр. 280 Ц. 4 р., пер. 75.

GPNTB RUSSIA
104918