



В. С. Н. Х.

Промбюро Северо-Западной Области.

Строительство Государственной Волховской
Гидроэлектрической Силовой Установки.

Материалы

по исследованию реки Волхова и его бассейна.

—...—
Под редакцией Начальника Отдела Водного Хозяйства и Отчуждений
Инженера В. М. Родевича.

=====
Выпуск XXIV.

Регулирование стока оз. Ильмень и р. Волхова.

Составили Инж. П. В. Иванов и Инж. Г. К. Лоттер.

—...—

Издание Строительства Государственной Волховской Гидроэлектрической
Силовой Установки.

ЛЕНИНГРАД—1929

Издание Строительства Волховской Гидроэлектрической Силовой Установки.

Вышли и поступили в продажу следующие издания:

1) №№ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9 Бюллетеней Волховской Гидроэлектрической Станции. Цена (без пересылки) за номер по 2 р. — к.

2) Материалы по исследованию р. Волхова и его бассейна:

Выпуск I. Инженер *Вальман, В. Н.* — Обзор уровней р. Волхова. Инженеры *Бернадские, Н. М.* и *В. М.* — Вскрытие и замерзание р. Волхова за период 1881—1921 г.г., с 26 графиками и чертежами и 8 таблицами уровней. 217 стр. 1924 г. Цена (без пересылки) 6 р. 50 к.

Выпуск II. Проф. *Черномский, В. И.* — О лотках и каналах прямоугольного сечения усиленной шероховатости в применении к рыбоходам, плотоходам, быстротокам и взводному судоходству. 31 стр. с 6 таблицами чертежей. 1924 г. Цена (без пересылки). 1 р. 50 к.

Выпуск III. *Домрачев, П. Ф., Правдин, И. Ф.* — Исследования рыбного промысла р. Волхова и озера Ильменя. Часть I. Инженер *Воронецкий, В. А.* — Описание рыбохода при Волховской Гидроэлектрической Установке. 169 стр. с 4 таблицами и рисунками и 6 чертежами рыбохода. 1924 г. Цена (без пересылки) 2 р. 50 к.

Выпуск IV. Проф. *Прасолов, Л. И.*, проф. *Ганешин, С. С.* и *Ануфриев, Г. И.* — Почвенные и ботанические исследования по берегам р. Волхова и озера Ильмень (предварительный отчет). 99 стр. с 11 таблиц. приложений. 1925 г. Цена (без пересылки). 3 р. 50 к.

Выпуск V. Инженер *Лоттер, Г. К.* — Изыскания на пойме р. Волхова (Отчет о работах 1922 г.). *Гуреев, В. М.* — Прецизионная нивелировка. 188 стр. с 11 приложениями. 1925 г. Цена (без пересылки) 4 р. — к.

В. С. Н. Х.

Промбюро Северо-Западной Области.

Строительство Государственной Волховской
Гидроэлектрической Силовой Установки.

Материалы

по исследованию реки Волхова и его бассейна.

Под редакцией Начальника Отдела Водного Хозяйства и Отчуждений
Инженера В. М. Родевича.

Выпуск ХХIV.

Регулирование стока оз. Ильмень и р. Волхова.

Составили Инж. П. В. Иванов и Инж. Г. К. Поттер.

Издание Строительства Государственной Волховской Гидроэлектрической
Силовой Установки.

ЛЕНИНГРАД—1929

Ленинградский Областлит № 35471.—Тираж 650 экз.—12 $\frac{3}{4}$ печ. лист.

Типография Первой Ленинградской Артели Печатников, Моховая, 40.

О Г Л А В Л Е Н И Е.

	СТРАН.
Предисловие	3— 4
Введение	5— 6
Глава I. Краткая характеристика гидрологических условий р. Волхова и оз. Ильмень.	
Влияние порогов на сток	7
Продольный профиль реки	8
Уклоны и падения реки Волхова	9
Характер весеннего потока р. Волхова	9—11
Соотношения стока оз. Ильмень и непосредственных притоков р. Волхова	11—12
Влияние притоков р. Волхова на сток озера Ильмень	12—13
Учет стока непосредственных притоков р. Волхова	13—14
Кривые расхода р. Волхова	14—17
Учет низового стока по верховым вод. постам	17—19
График расхода воды за ряд характерных лет.	19—21
Интегральные кривые стока и притока	21—22
Характеристика озера Ильмень	22—23
Сравнительная регулирующая способность озера Ильмень	23—25
Потери стока через испарение	25—26
Интегральные кривые притока в оз. Ильмень	26—31
Глава II. Режим стока р. Волхова после сооружения Волховской гидроэлектрической станции.	
Влияние плотины у гидростанции на сток у оз. Ильмень	31—33
Метод построения хода уровня на озере при подпертом режиме р. Волхова и кривые расхода при подпертом режиме	33—39

Глава	III. Характеристика силового режима Волховской гидроэлектрической станции.	
	Напор	40— 42
	Коэффициент полезного действия турбин и линии передачи	42— 46
	Силовой режим Волховской станции	46— 49
	Средние суточные мощности	49
Глава	IV. Суточное регулирование стока р. Волхова.	
	Общие данные	50— 53
	Суточное регулирование по графику нагрузки	53— 58
	Условия, ограничивающие применение суточного регулирования	58— 61
	Теоретические методы расчета регулирования	61— 75
	Влияние суточного регулирования на судоходные условия	71— 75
	Некоторые данные о применении суточного регулирования за 1927 и 1928 г.г.	75— 82
Глава	V. Общие соображения о годовом регулировании стока	
	Годовой график мощности Волховской гидростанции и методы возможного годового регулирования	82— 85
	Регулирование тепловым резервом	85— 87
	Регулирование стока оз. Ильмень и притоков	87— 90
Глава	VI. Предварительный проект годового регулирования стока р. Волхова путем сооружения плотины в его истоке (малый вариант).	
	Общее описание решения задачи	90—100
	Режим зарегулированного стока	100—102
	Режим действия регулирующей плотины	102—103
	Выбор места и типа плотины	103—108
	Место расположения шлюза и его основные размеры	108—110
	Общее описание сооружений	110—117
	Расчет сооружений	117—127
	Пропускная способность шлюза	127—132
	Стоимость работ	132—134
	Производство работ	135—139
	Судоходные условия р. Волхова после сооружения регулирующей плотины	139
	Убытки от затоплений	139—142
	Общие выводы по проекту малого варианта	142—143

Глава VII. Годовое регулирование стока путем обвалования оз. Ильмень.	
Схема проекта	143—146
Управление стоком и метод построения графика стока	146—148
Сооружения и соображения о производстве работ	149—162
Стоимость сооружений	162
Значение проекта для судоходства и сельского хозяйства	163—164
Выводы по проекту	164—165
Соображения об очередности исполнения проекта	165—167
З а к л ю ч е н и е.	
Донный лед на р. Волхове за зиму 1928—29 г.	169—182
Таблица суммарного стока	183—190

О П И С Ъ Ч Е Р Т Е Ж Е Й.

	№№ лист.
1. Карта расположения сети водомерных постов и гидрометрических станций р. Волхова и его притоков	1
2. График расходов воды за 1922 г.	2
3. График процентного отношения суммарного расхода воды притоков р. Волхова к расходу воды р. Волхова у Гостинополья	3
4. Кривые расходов воды р. Волхова у Гостинополья	4
5. Кривые расходов воды р. Волхова, отнесенные к рейке у Новгорода	5
6. График расходов воды р. Волхова у д. Завод и у Гостинополья, отнесенных к горизонтам воды у д. Завод	6
7. Сравнительный график расходов воды р. Волхова у Гостинополья 1923 г.	7
8. Годовые графики расходов воды р. Волхова	8
9. Годовые графики расходов воды р. Волхова за последнее десятилетие 1916—1926 г.	9
10. График длительности расходов воды Гостинопольской гидрометрической станции	10
11. График продолжительности характерных летних уровней р. Волхова у г. Новгорода за период 1881—1924 г.	11
12. Кривые испаряемости с водной поверхности оз. Ильмень за летние периоды 1924 и 1925 г. по наблюдениям испарителя сист. Лермантова-Любославского	12
13. График колебания напора на Волховской силовой станции (в зависимости от бытовых расходов воды р. Волхова и высоты уровня воды Ладожского озера)	13
14. График изменения напора и мощности Волховской станции при разных расходах воды	14

15.	Графики:	
	1) Коэффициент полезного действия.	
	2) Мощности на шинах Главной Понижающей Подстанции в Ленинграде при совместной равномерной работе группы турбин от 1 до 8 (в функции от потребляемого расхода воды)	15
16.	Номограмма для определения величины колебания уровня воды у плотины Волховской гидроэлектрической станции при суточном регулировании (по методу проф. И. В. Егиазарова)	16
17.	График изменения максимума мощности всех объединенных электрических станций Ленинграда на период с 1925 по 1931 г.г.	17
18.	График к вопросу о работе парового резерва Волховской станции	18
19.	График режима стока р. Волхова в условиях годового регулирования по малому варианту	20
20.	План истока р. Волхова	21
21.	План расположения регулирующей плотины по малому варианту	22
22.	План расположения буровых скважин	23
23.	Геологический профиль по линии, параллельной оси моста жел. дор. Ленинград—Орел в расстоянии 263 саж. выше по течению (I—I)	24
24.	Геологический профиль по линии, параллельной оси моста жел. дор. Ленинград—Орел в расстоянии 213 саж. выше по течению (II—II)	25
25.	Геологический профиль по линии, параллельной оси моста жел. дор. Ленинград—Орел в расстоянии 163 саж. выше по течению (III—III)	26
26.	Геологический профиль по линии, параллельной оси моста жел. дор. Ленинград—Орел в расстоянии 80 саж. выше по течению (IV—IV)	27
27.	Геологический профиль по оси жел. дор. Ленинград—Орел (V—V)	28
28.	Геологический профиль по линии, параллельной оси моста жел. дор. Ленинград—Орел в расстоянии 100 саж. ниже по течению (VI—VI)	29
29.	Геологический профиль по линии, параллельной оси моста жел. дор. Ленинград—Орел в расстоянии 152 саж. ниже по течению (VII—VII)	30

30.	Геологический профиль по оси проектируемого при регулирующей плотине шлюза (VIII—VIII)	31
31.	Продольный геологический профиль по направлению речной грани левого берегового быка жел. дор. моста линии Ленинград—Орел (IX—IX)	32
32.	Продольный геологический профиль по направлению нормальному к оси моста через р. Волхов жел. дор. Ленинград—Орел в средней точке среднего пролета (X—X)	33
33.	Продольный геологический профиль по направлению речной грани правого берегового быка жел. дор. моста линии Ленинград—Орел (XI—XI)	34
34.	График кривых расхода и перепадов в створе регулирующей плотины у Новгорода	35
35.	Поперечный профиль р. Волхова по оси регулирующей плотины по малому варианту	36
36.	Проект бетонного флютбета плотины Поаре нап. 5,34 мтр.	37
37.	Ферма Поаре для напора в 5,34 мтр. = 2,50 саж.	38
38.	Проект шлюза напором 5,34 мтр. на 6 вер. реки Волхова у с. Городище, масшт. 1:200. План	39
39.	Тоже. Поперечные разрезы эстокад	40
40.	Проект устоя без ниши и площадки для служебных помещений плотины Поаре на 6-й версте р. Волхова. План.	41
41.	Планы расположения перемычек и состояние работ в первый, второй и третий год, масшт. 1:200	42
42.	1) Поперечный профиль земляной перемычки, огражд. шлюз. 2) Поперечный разрез перемычки	43
43.	План оз. Ильмень с показанием расположения регулирующих сооружений по большому варианту	49
44.	План регулирующих сооружений в истоке реки Волхова по большому варианту (северный узел)	44
45.	План расположения регулирующих сооружений в районе слияния рек Ловати, Пола и Верготи по большому варианту (южный узел)	45
46.	График режима стока р. Волхова в условиях годового регулирования по большому варианту	46
47.	1) Типовые профили ограждающих валов. 2) Типовые профили дамб. 3) Типовые профили сопрягающих дамб плотин Поаре. 4) График величин основных элементов ограждающих дамбы в пойме оз. Ильмень	47
48.	Продольный разрез дюкера по одной из труб	48

49.	Эскизный проект джера	49А
50.	1) Мощность в часы максимума нагрузки по графику 1929 г. в самый маловодный зимний месяц при использовании суточного регулирования.	
	2) Приращение годового количества энергии при регулиро- вании.	
	3) Приращение количества энергии за 6 зимних месяцев при регулировании.	
	4) Сводный график количества энергии Волховской гидро- электрической установки за годовой период и за 6 зимних месяцев, могущей быть полученной	50
51.	Оз. Ильмень. Дельта р. Мсты, расположение регулирующих сооружений по Мстинскому варианту	51

Проект регулирования стока разрабатывался в 1924—26 г.г. на основании топографических и гидрологических исследований, произведенных Волховским Строительством. Так как все исследования велись в саженных мерах, то и все основные чертежи были также исполнены в этих же мерах.

В силу указанных обстоятельств описание проекта пришлось разработать в саженных мерах, давая по возможности переводы в метрические меры.

Для облегчения переводов из саженных мер в метрические ниже приводится переводная таблица.

Единицы саж. мер.	Длины мтр.	Площади кв. мтр.	Объема куб. мтр.	Примечание.
1	2,13358	4,55217	9,71242	
2	4,26716	9,10434	19,42484	
3	6,40074	13,65651	29,13726	
4	8,53432	18,20868	38,84968	
5	10,66790	22,76085	48,56210	
6	12,80148	27,31302	58,27452	
7	14,93506	31,86519	67,98794	
8	17,06864	36,41736	77,69936	
9	19,20222	40,96953	87,41178	
10	21,3358	45,52170	97,1242	

Редакция.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Волхов является рекой озерной, но озерность его не настолько велика, чтобы в природных условиях обеспечивать достаточную равномерность водному его расходу в течение года. Изучение режима Волхова за многолетний период показало, что Волховская Гидроэлектрическая Станция может рассчитывать на использование для энергии, в среднем, всего от $\frac{9}{10}$ до $\frac{6}{10}$ полного годового стока Волхова, с падением в самые маловодные годы, в зимние месяцы, работы Станции до действия лишь 2—3-х ее агрегатов.

Такое положение заставляло исследовать вопрос о возможности зарегулирования в наибольшем размере стока р. Волхова, и Отдел Изысканий Строительства Волховской Гидростанции получил задание от Главного Инженера Строительства изучить возможность и способы регулирования годового расхода воды Волхова, и составить проекты обращения озера Ильмень в регулирующее водохранилище, а также осветить вопрос об условиях создания и более мелких водохранилищ в бассейне Волхова для той же цели.

В 1921—24 г. Отделом Изысканий были исполнены гидрографические работы и топографические и гипсометрические съемки, необходимые для указанной задачи, а также изучен гидрологический режим Волхова и Ильменя. На основании полученных данных можно было приступить в 1925 г. к проектному разрешению задачи регулирования стока Волхова.

Работа была поручена инженеру п. с. П. В. Иванову, Начальнику партии по исследованию северной части Ильменя и истока р. Волхова; в течение 1925 г. и 26 г. П. В. Иванов разработал в партии вопрос регулирования стока Волхова, и составил проекты применения оз. Ильменя, как водохранилища, по трем вариантам. Результаты работ и существенные части проектов изложены в предлагаемом XXIV выпуске «Материалов по исследованию р. Волхова и его бассейна».

Инженеру П. В. Иванову, в частности, принадлежит идея проекта регулирования по схемам большого и переходного к большому вариантам, общий план компоновки сооружений, метод расчета режима стока и управления им.

В обсуждении разрабатываемых проектов регулирования принимали участие: Начальник Отдела, Начальник Технической Части Отдела Изысканий инж. Г. К. Лоттер, инж. В. Н. Вальман, и в качестве консультанта—инж. Б. Н. Алексеев. Отдельные части проекта были рассчитаны сотрудниками П. В. Иванова: инженерами—Ю. Н. Махлаюком, Б. Н. Федосеевым, Н. Я. Бурлаковым, В. А. Екимовым, В. А. Соколовой и А. А. Лохтиной.

Покойному (1929 г.) инж. Б. Н. Алексееву принадлежало руководство, в порядке консультации во время разработки проектов,—конструктивной стороной сооружений и методами расчета их по малому и большому вариантам.

Переработка материала проекта для настоящего выпуска принадлежат: инж. П. В. Иванову в отношении глав I—IV и главным образом инж. Г. К. Лоттеру (главы V—VII). Автором последнего раздела главы IV является инж. В. Н. Вальман.

Экономические расчеты проверены и дополнены инж. Г. К. Лоттером.

Таким образом, настоящий, вероятно последний ¹⁾ выпуск «Материалы по исследованию р. Волхова и бассейна» более чем другие выпуски является коллективным трудом многих сотрудников Отдела Изысканий Волховского Строительства (1921—1927 г.г.). Изложенные результаты исследований и проектов показывают, что задача регулирования стока Волхова может быть разрешена технически не сложно, целесообразно и экономически выгодно; поэтому надо надеяться, что предлагаемое регулирование своевременно станет на очередь осуществления, для увеличения производительности Волховской Гидроэлектрической Станции.

Редактор выпуска Начальник Отдела Изысканий
Волховского Строительства, Инженер *В. Родевич.*

Ленинград.
Май 1929 г.

¹⁾ Возможен выход еще вып. XXV о регулировании работы Волховской Гидростанции использованием стока озера Селигер.

В В Е Д Е Н И Е.

В зимний период на преобладающем пространстве нашей страны все открытые водные поверхности сковываются ледяным покровом, в связи с этим увеличивается сопротивление движению водного потока, а вновь выпадающие осадки в это время года не поддерживают питания реки, сохраняясь в потенциальном состоянии до весны. Уменьшение расхода воды в реках в этот период представляется обычным явлением.

В такой же мере обычным правилом для зимнего периода, по сравнению с летним, является повышенная потребность в электроэнергии у преобладающего числа ее потребителей, в противоположность тому, что дают для гидроэлектрических станций наши природные условия.

Река Волхов не представляет собой исключения из общего правила. Вытекая из оз. Ильмень, хотя и оказывающего своим значительным сливным слоем существенное регулирующее влияние на его сток, р. Волхов все же обнаруживает в обычные годы в величине своих расходов воды не очень резкое, но тем не менее постоянное понижение от весны к зиме, достигающее в отдельные годы весьма низких пределов.

Такие условия естественного режима р. Волхова вызывают вполне понятное стремление, с точки зрения интересов силового хозяйства, изыскать меры изменить режим его стока в соответствии с потребностью в электроэнергии Ленинграда, имея в виду использовать в первую очередь такой благоприятный естественный фактор, как озеро Ильмень.

Но при искусственном задержании в оз. Ильмень части весеннего стока одновременно с благоприятным изменением режима Волховской Силовой Станции, вносятся также изменения и в условия судоходства и сплава по р. Волхову, изменяется режим сельского хозяйства в пределах разлива оз. Ильмень, достигающего

до 1.000 кв. верст и в некоторой мере затрагиваются и интересы рыбного промысла.

Приэтом направление, в котором желательно изменить режим стока в интересах Волховской Силовой Станции, вообще говоря совпадает с интересами судоходства и сплава, имеет более или менее нейтральное значение для рыбного промысла¹⁾, но находится в противоречии с интересами сельского хозяйства.

Второй корректив, который требуется внести в работу Волховской Станции—это осуществление перераспределения стока на протяжении суток в случаях, когда сток бывает ниже нормы, потребной для полной мощности станции, в то время как таковая мощность в течение некоторой части суток является необходимой. При исследовании вопроса о таком суточном регулировании стока в рамках настоящего труда задача сводится к выяснению того, в каких пределах природные условия р. Волхова позволяют такое осуществить, и какое влияние вызываемые этим регулированием колебания уровней и расходов воды окажут на условия судоходства и сплава в отношении глубин и скоростей течения.

Задачей настоящего исследования в целом является разбор возможных решений вопроса о годовом регулировании стока р. Волхова и сравнение новых экономических условий работы станции, достигаемых при применении регулирования стока, с экономическим значением станции в ее современном состоянии.

¹⁾ Выпуск X Материалов Иссл. р. Волхова, Второй полутом, стр. 153—156.

I. Краткая характеристика гидрологических условий р. Волхова и оз. Ильмень.

Река Волхов.

Описанию гидрологических условий р. Волхова посвящены три выпуска отчетных изданий Волховского Строительства ¹⁾, поэтому в настоящем труде представляется возможным коснуться этого вопроса лишь в кратких чертах, оттенив только те его стороны, которые имеют особо существенное значение для вопросов регулирования стока.

Влияние порогов на сток.

Р. Волхов, соединяющая в себе воды четырех крупных рек: Мсты, Полы с Ловатью и Шелони, регулируемых в сильной мере озером Ильмень, представляет собой поток, находившийся уже от природы в подпертом состоянии со стороны Пчевских и Петропавловских порогов, расположенных первые на 140—150 в.в., а вторые на 176—186 в.в. от его истока (Лист 1).

Влияние этих двух участков порогов в отношении подпора на вышележащую часть реки различны при низких и высоких горизонтах воды. Если в первом случае подпорное влияние обуславливается, только характером описанного ниже продольного профиля реки, то во втором случае в периоды высоких вод в дополнение к тому выступает очень сильно на протяжении Пчевских порогов

¹⁾ Вып. I. Обзор уровней р. Волхова.—В. Н. В а л ь м а н. Вскрытие и замерзание р. Волхова.—Н. М. и В. М. Б е р н а д с к и е.

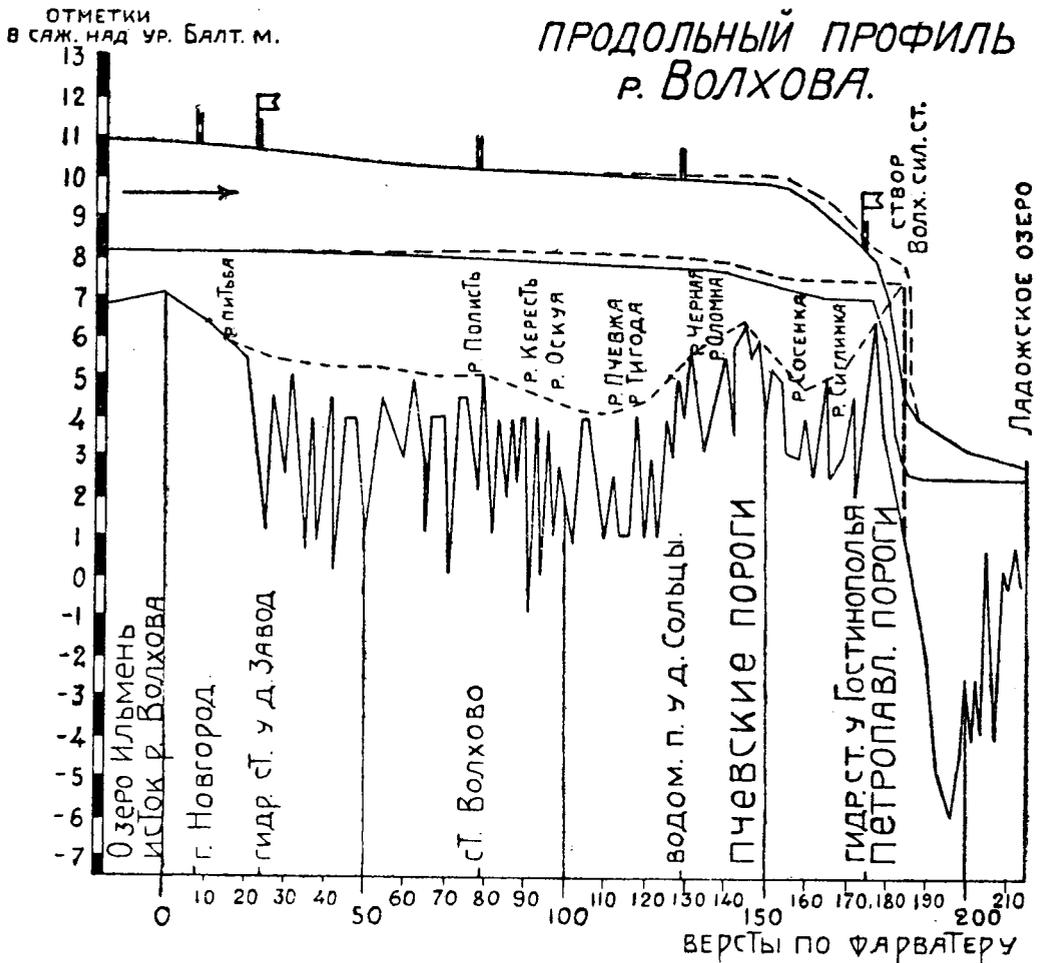
Вып. VI. Гидролого-Гидрометрические исследования в бассейне р. Волхова.—В. Н. В а л ь м а н.

Вып. XI. Речной сток в Волховском бассейне.—А. Ю. Э л ь с т е р.

влияние поперечных размеров омываемого русла. В нем создается, вследствие его сжатой формы, на всем протяжении порожистого участка, значительное добавочное сопротивление стоку, повышающее средний уклон на этом участке в весенний период в 2,5 раза.

Продольный профиль реки.

Высказанные положения наглядно выступают на представленном на черт. 1 сокращенном продольном профиле р. Волхова, на ко-



Черт. 1.

тором виден оказываемый в низкую воду подпор от Петропавловских порогов, перекрывающий отчасти Пчевские пороги и оказывающий замедляющее воздействие на сток из озера Ильмень. Для более ясного представления характерных черт продольного профиля р. Волхова, необходимо подчеркнуть, что седловина перевала из оз. Ильмень в р. Волхов расположена на отметке 7,05 саж. и имеет ровное и почти горизонтальное дно. Гребень Пчевских по-

рогов на расстоянии 148 вер. от истока имеет отметку дна по фарватеру 6,29 саж., а Петропавловских—на расстоянии 177,6 от истока—6,35 саж., причем обе последние отметки относятся лишь к узкой судоходной борозде, поэтому в гидравлических расчетах средняя отметка дна в обоих случаях получается выше, в первом случае около 6,60—6,70 саж., а во втором—около 6,50 саж.

Между приведенными тремя участками переломов продольного профиля русла, нормирующими глубину Волхова, на всем остальном протяжении глубины гораздо значительнее, доходя местами до 8,00 саж. от низкой межени.

Уклоны и падения Волхова.

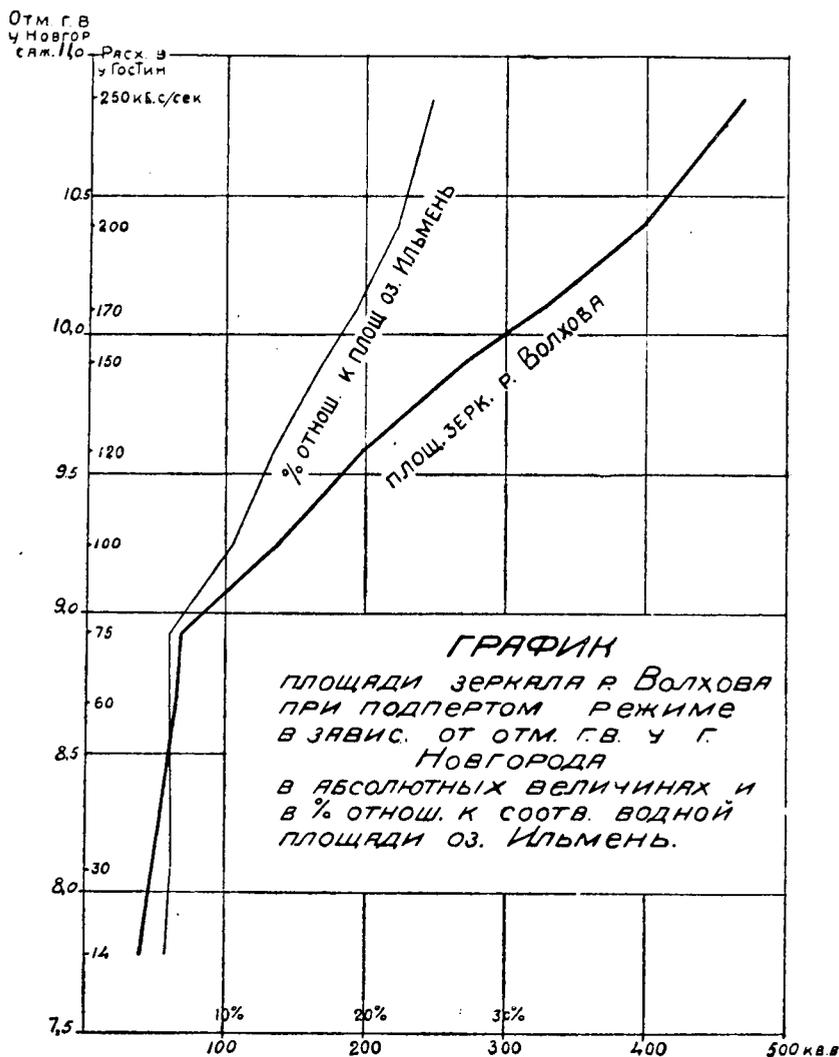
В связи с этим меженный уклон р. Волхова между озером и преддверием Пчевских порогов на протяжении 140 верст обнаруживает крайне малые значения порядка $3,10^{-6}$ — $8,10^{-6}$, соответственно среднему падению на версту 0,0015 до 0,0040 саж. с некоторым увеличением от 0,004 до 0,01 саж. только на первых 10 верстах от истока. Общее падение от истока до Новгорода (0—8 в.) колеблется от 0,03 саж. весной до 0,08 саж. в низкую межень; между Новгородом и Пчевой (8—140 в.) от 0,19 с. в низкую межень до 0,91 саж. весной, а между Пчевой и Гостинополем (140—176 в.) от 0,74 саж. в низкую межень до 1,78 саж. во время высокого половодья.

Характер весеннего потока Волхова.

Выше сжатого русла упомянутого порожистого участка от Пчевы до Гостинополя р. Волхов протекает на участке от ст. Волхово Окт. ж. д. до Пчевы в берегах с низкими меженными бровками на отметках около 8,80—9,50 саж. и весенний разлив в очень многоводные годы достигает на этом участке ширины до 20 верст. Этот участок, так называемой «широкой поймы Волхова», преобразуясь весной в большое озеро, оказывает значительное регулирующее влияние на весенний сток, поступающий как из оз. Ильмень, так и из боковых притоков р. Волхова.

Насколько велико это регулирующее влияние, можно судить по тому, как возрастает общая площадь зеркала р. Волхова с повышением его уровня. Это последнее обстоятельство иллюстрируется на черт. 2, где в зависимости от высоты стояния ур. в. по Новгородскому водомерному посту дано изменение общей площади

зеркала р. Волхова на всем его протяжении от истока до Силовой Станции в абсолютных величинах (в кв. верстах) и в %-ном отношении к соответствующим площадям водной поверхности оз. Ильмень. Вычисление исполнено на основании предварительных под-



Черт. 2.

порных кривых уровня р. Волхова с исходной его отметкой у плотины на высоте ее гребня и без принятия в расчет водной поверхности боковых притоков р. Волхова.

Из графика следует, что при низких горизонтах водное зеркало р. Волхова составляет всего 6% от соответствующей площади водной поверхности озера, а при наивысших горизонтах это отношение увеличивается до 25%, при возрастании водного зеркала Волхова по абсолютной величине до 12-кратного размера.

Выше станции Волхово до дер. Завод (21—80 в.) разливною входит в границы сближающихся коренных берегов реки с шириной в период половодья от 250 до 300 саж. и скорости течения на этом участке весной находятся в зависимости от разности уровней оз. Ильмень и озерного разлива широкой поймы. Разделение Волхова на два рукава между 6-й и 21-й верст. (коренной Волхов и М. Волховец), судя по весеннему профилю реки на весенний сток заметного влияния не оказывает, но в полуверсте выше разделения Волхова на рукава некоторое задерживающее влияние на весенний сток оказывает пересекающая р. Волхов насыпь железно-дорожной линии Ленинград—Орел, разобщающая озерный разлив от речного и собирающая весь весенний сток в отверстии ж. д. моста, вследствие чего на створе моста создается перепад в половодье около 0,03 саж. ¹⁾ При горизонтах озера выше 10,50 саж. наблюдается, кроме того, перелив из разлива озера между руслом Мсты и Московским шоссе вдоль последнего непосредственно в М. Волховец, но, ввиду небольшой толщины переливающегося слоя и малого перепада, на этом участке проходит незначительная доля общего стока.

Соотношение стока оз. Ильмень и непосредств. притоков Волхова.

Главное питание р. Волхова поступает из оз. Ильмень, площадь бассейна которого при 55.241 кв. верст. составляет 83,1% от общей площади бассейна р. Волхова выше Силовой Станции в 66.033 кв. верст, а, следовательно, бассейн непосредственных притоков р. Волхова составляет 16,9% от общей площади бассейна ²⁾.

В какой мере сток отдельных частей бассейна пропорционален площадям этих частей, в среднем, за продолжительный период может показать произведенный подсчет стока через створ гидрометрической станции у дер. Завод, расположенной на 21 версте от истока, непосредственно ниже соединения Волхова с

¹⁾ Перепад под мостом ж. д. линии Ленинград—Орел был наблюден инструментально три раза и обнаружил следующие результаты: 10 мая 1923 г. при отм. г. в. 10,38 с. перепад был 0,029 саж., 20 июня 1923 г. при отм. г. в. 9,39 с. перепад был 0,008 саж. и 15 мая 1926 г. при отм. г. в. 10,73 саж. перепад составил 0,028 саж.

²⁾ Вып. VI. В. Н. В а л ь м а н. — „Гидролого-гидрометрические исследования в бассейне р. Волхова“, стр. 6—7.

его рукавом М. Волховцем, и включающий, следовательно, сток бассейнов р. Питьбы и р. Вишеры—притоков р. Волхова. Исчисление выполнено за период времени с 10 января 1911 года по 10 декабря 1924 года и по сравнению со стоком у Силовой Станции, учитываемым гидрометрической станцией у Гостинополя, дало следующий средний годовой сток за указанный период.

Средн. годов. сток у Гостинополя . . 2.078,10⁶ кб. с.
 » » » » д. Завод 1.819,10⁶ кб. с.

откуда следует, что оз. Ильмень дало 87,5%, а непосредственные притоки Волхова 12,5% от общей суммы стока. Переходя к соотношению площадей бассейнов этих районов необходимо площадь бассейна озера Ильмень увеличить на величину площадей бассейнов р.р. Питьбы (512,3 кв. в.) и Вишеры (1.287,1 кв. в.), пренебрегая бассейном самого Волхова на первых его 20 верстах, вследствие малости этого бассейна, тогда соотношение частей бассейнов, для которых произведен расчет, составит от общей величины бассейна.

$$100 \times (55.241 + 512,3 + 1.287,1) : 66.033 = 86,4\%,$$

а для притоков Волхова 13,6%, что очень близко к соотношению количеств стока, особенно если учесть допущенное пренебрежение площадью бассейна самого русла Волхова. Необходимо отметить, что приведенные цифры среднего годового стока относятся к сравнительно многоводному циклу лет, а средний годовой сток за 44-летний период с 1 января 1881 г. по 1 января 1925 г. составил у Гостинополя 1.865 милл. кб. с., что соответствует среднему расходу воды в 59,1 кб. с./сек.

Влияние притоков Волхова на сток из оз. Ильменя.

Непосредственные притоки р. Волхова, главная масса которых (77% по площади их суммарного бассейна) впадает на 60 верстах между ст. Волхово и д. Пчева, при паводке, вследствие их сравнительно короткой длины, подводят сравнительно быстро выпавшие в их бассейне осадки к Волхову, в то время, как главные питательные артерии Волхова: Мста, Ловать с Полой и Шелонь, охватывающие 75% всего бассейна Волхова, подводят свой сток к Волхову значительно медленнее, как вследствие своей большей длины, так, главным образом, вследствие регулирующего влияния оз. Ильмень.

В периоды прохождения паводка на собственных притоках Волхова, поступающий из них в Волхов сток не имеет возможности тем же темпом слиться вниз по Волхову, вследствие преграды, создаваемой порожистой его частью. Благодаря упомянутому выше чрезвычайно ничтожному уклону на длине свыше 120 верст приток этот расходуется сначала на наполнение русла Волхова на всем его протяжении и только попутно с этим происходит усиление расхода воды в Гостинополю. Таким образом, русло Волхова является серьезным регулятором своего бокового стока. Одновременно с заполнением русла Волхова происходит выравнивание, а, следовательно, и уменьшение его уклона, что, в свою очередь, замедляет сток из озера. Уменьшение расхода воды в истоке Волхова при этом наступает иногда с одновременным подъемом уровня. Для иллюстрации возможных размеров этого явления представляется интересным указать на случай этого рода, зафиксированный точными наблюдениями и измерениями в начальный период необычайно сильного осеннего паводка 1923 г., когда за время с 23 по 28 октября (н. ст.) гор. воды в Новгороде поднялся с 8,52 до 8,72 саж., расход воды в истоке у д. Завод упал с 58 до 48 кб. с./сек., а расход воды в Гостинополю возрос с 72 до 99 кб. с./сек.

Учет стока непосредственных притоков Волхова.

Непосредственный учет стока собственных притоков Волхова представил бы собой чрезвычайно громоздкую задачу, не столько вследствие их многочисленности, сколько из-за того, что все эти притоки находятся под влиянием постоянного подпора от главной реки. В порядке общего гидрологического обследования бассейна р. Волхова на всех его непосредственных крупных притоках (Влоя, Оломна, Черная, Тигода, Пчевжа, Оскуй, Кереть, Вишера) определено свыше 200 расходов воды, но ни для одного из притоков не удалось получить скольконибудь определенной зависимости расходов воды от высоты уровня. Поэтому наиболее простым и в то же время достаточно точным способом учета суммарного расхода воды от всех притоков собственно Волхова между озером и Силовой Станцией является определение его по суточному балансу стока, т. е. по расходу воды в начале и в конце этого участка с одновременным учетом изменений объема русла Волхова между последовательными положениями его мгновенного уровня по дан-

ным промежуточных водомерных постов. Такими станциями и постами вполне могут служить упомянутые выше станции у д. Гостинополье (175,5 вер. от истока) и у д. Завод (23,4 в. от истока) и водомерные посты у Селищенских казарм (58 в.), у ст. Волхово (79 в.), у с. Грузино (90 в.), у д. Лезно (106 в.), у д. Сольцы (129 в.), у д. Пчева (142 в.) и у д. Подсопье (155 в.).

Вычисление средних секундных расходов воды притоков по этому способу было исполнено для летних периодов 1922, 1923 и 1924 года, когда на отдельных притоках Волхова велись инструментальные измерения расходов воды, которые могли быть распространены на остальные притоки пропорционально площадям их бассейнов. Полученные путем вычисления результаты достаточно хорошо совпали с данными непосредственных измерений. Не имея возможности остановиться подробнее на ходе расчета, ограничимся изображением на Л. 2 графика расходов воды притоков, полученный этим способом для наиболее характерного 1922 года и на л. 3 графика процентного соотношения суммарного расхода воды от притоков Волхова к одновременному его расходу у Гостинополья, из которого следует, что это соотношение может в отдельные моменты достигать внушительной цифры 80%.

Кривые расхода Волхова.

а) У Гостинополья.

Учет стока Волхова у Гостинополья представлял собой до сооружения Волховской Гидроэлектрической Станции в период свободного ото льда состояния реки задачу вполне определенную. Богатейший материал гидрометрических наблюдений в этом пункте (231 расход) позволил установить¹⁾ весьма точную зависимость расходов воды от отметок горизонта воды на водомерном посту в Гостинополье, выраженную кривой расхода изображенной на черт. л. 4, аналитическое выражение которой

$$(1) Q_c = 110,65 (H_0 \text{ саж.} + 0,42)^{1,5} \text{ саж.}^3/\text{сек.}$$

$$(2) Q_m = 344,84 (H_0 \text{ метр.} + 0,896)^{1,5} \text{ м.}^3/\text{сек.}$$

где Q_c , Q_m — расход воды,

H_0 — возвышение уровня над нулем графика, отметка которого = 6,82 над уровнем Балт. м.

¹⁾ Вып. VI. В. Н. Вальман.—„Гидролого-гидром. иссл. в басс. р. Волхова“, стр. 49—56.

Однако, ввиду того, что исследование вопроса о годовом регулировании необходимо было начать значительно раньше, чем была установлена указанная кривая расхода, расчеты настоящего труда исполнены по данным предварительной кривой расхода (Л. 4), выведенной на основании группы 47 расходов, определенных в 1915 г., и потому именуемой «кривой расхода 1915 года», аналитическое выражение которой

$$(3) Q'_c = (31,08 + 98,10 H_0 + 58 H_0^2) \text{ куб. саж./сек.}$$

где Q'_c и H_0 — те же, что ранее.

Как видно из чертежа (Л. 4), обе кривые обнаруживают настолько большую близость, что расходимость в количествах стока, исчисленная по каждой из этих кривых, вполне очевидно, никакого практического значения иметь не может, будучи даже меньше точности самих гидрометрических наблюдений.

Вопрос о кривой расхода для Гостинополя при наличии на реке ледяного покрова представил, напротив, большие трудности, вследствие наблюдающихся на нижележащем порожистом участке Волхова зажорных явлений, благодаря чему при отнесении измеренных зимних расходов к соответствующим показаниям водом. поста у Гостинополя обнаружилось чрезвычайное рассеяние точек, не допускавшее их обобщения в форме какой либо одиночной кривой или даже семейства кривых. Выход из положения, наиболее удовлетворительный, хотя и далекий от вполне точного решения вопроса, был найден в отнесении зимних расходов, наблюдаемых в количестве 253: [у Гостинополя (175,5 в.)—33 расхода, Братовиц (170,6 в.)—164 расхода, Помялова (169,5 в.)—29 расх., Извоз (193,0 в.)—9 расх., Черенцово (158,9 в.)—18 расходов],—к показаниям водомерного поста у ст. Волхово. Такой прием, давая допустимую для расчетов кривую расходов, открывал вместе с тем возможность исчислить зимний сток Волхова за все 44 года, с 1881 г. по 1924 г., вследствие наличия непрерывных наблюдений на этом посту за весь означенный период времени. Кривая зимних расходов показана на том же чертеже (Л. 4), причем относящуюся к ней рейку водомерных наблюдений следует рассматривать, как рейку водомерного поста у ст. Волхово. Аналитическое выражение этой кривой следующее:

$$(4) Q \text{ саж.} = (16,84 + 36,69 H_0 + 7,19 H_0^2) \text{ саж.}^3/\text{сек.}$$

или

$$(5) Q \text{ мтр.} = (163,56 + 167,02 H_0 + 15,34 H_0^2) \text{ мтр.}^3/\text{сек.}$$

где Q саж., Q мтр.—расход воды,

H_0 —возвышение гор. воды над нулем графика водомерного поста на ст. Волхово, отметка которого = 7,661 саж. (16,346 мтр.) над уровнем Балтийского моря.

Применение этой кривой дает значения расходов, в среднем, отличающиеся от действительно измеренных около 10%¹⁾, что, при трудности зимних наблюдений и сложности зимнего режима потока вообще, следует признать удовлетворительным.

б) У истока.

Учет стока в истоке р. Волхова представляет собой задачу более сложную, чем у Гостинополья, вследствие наличия, как ранее выяснено, переменного подпора от притоков Волхова. Непосредственные измерения расхода у д. Завод, отнесенные к показаниям водомерного поста на этой станции, обнаружили столь сильное рассеяние точек, что никакая единая кривая расходов не могла бы достаточно точно выразить их соотношения.

Тогда автором было сделано предложение построить семейство кривых, определяющее расход воды в створе Заводской станции в функции двух независимых переменных: одной—уровня воды на станции, а за вторую рекомендовалось принять падение уровня воды между створом гидрометрической станции и водомерным постом при ст. Волхово, исходя из того, что при чрезвычайно малых уклонах, величина падения на таком участке, хотя и насчитывающем длину в 57 в., но не имеющем переломов профиля поверхности воды, достаточно точно отразит влияние подпора, отчего бы последний ни происходил. Первоначально намечалось провести семейство кривых расхода воды ощупью, по точкам, которых имелось достаточно большое количество, и в такого рода постановке этот вопрос был доложен автором в заседании Речного Совета Росс. Гидрологич. Института 5 ноября 1924 г. В дальнейшем же решено было отнести измеренные у д. Завод расходы воды к одновременным показаниям Новгородского водомерного поста, за вторую переменную принять падение между водомерными постами Новгорода и ст. Волхово,

¹⁾ Вып. VI. В. Н. В а л ь м а н.—„Гидролого-гидрометрические исследования в бассейне реки Волхова“, стр. 89—99.

а для большей определенности очертания кривых применить способ, предложенный амер. инж. Hall'ем, на основании которого и построена окончательно принятая для Заводской гидрометрической станции форма зависимости расхода воды от высоты уровня и уклона в виде семейства кривых, изображенного на черт. № 21 атл. к вып. VI (В. Н. Вальман. «Гидролого-гидрометрические исследования в бассейне р. Волхова») с пояснением к нему в том же выпуске VI на стр. 61—67. В такого рода форме выраженную зависимость расходов воды возможно приложить к наблюдениям на водомерных постах за весь период времени с 1881 по 1924 г.

Учет зимних расходов воды в истоке р. Волхова, не представлял тех трудностей, как у Гостинополя, вследствие того, что во время зимнего режима паводки на притоках Волхова, будучи менее значительными, чем летом, не оказывали того влияния на условия стока как при открытом русле, а подпор, вызывавшийся зажорными явлениями ниже Гостинополя так далеко не отражался. Поэтому зависимость расходов воды от горизонтов для истока получилась более определенной, в форме прямой — при отнесении к показаниям водомерного поста у д. Завод, а при отнесении к показаниям Новгородского водомерного поста в форме пологой кривой (Л 5), определяемой уравнением

$$(6) Q \text{ саж.} = 28,823 (H_0 + 0,34)^{1,19} \text{ саж.}^3/\text{сек.}$$

$$(7) Q \text{ мтр.} = 113,615 (H_0 + 0,73)^{1,19} \text{ мтр.}^3/\text{сек.}$$

где Q саж., Q мтр. — расход воды,

H_0 — возвышение над нулем графика Новгородского водомерного поста, при абсолютной отметке последнего 7,531 саж. (16,068 м.).

Учет низового стока Волхова по верховым постам.

Дальнейшее исследование режима стока р. Волхова позволило обнаружить весьма интересную зависимость расходов воды у Гостинополя от отметок горизонта воды близ истока и среднего уклона, выраженного в виде падения между двумя отдаленными водомерными постами взятого на всю длину подпертого участка р. Волхова. Достигнутые результаты дали возможность внести значительную определенность в методологию управления регулирующей плотиной в истоке р. Волхова, в случае ее сооружения.

На чертеже (Л. 6) показаны полыми кружками измеренные на Заводской гидрометрической станции расходы воды, отнесенные к

показаниям того же поста, а полузалитыми кружками одновременные расходы воды у Гостинополья, определенные по кривой расхода, с цифрами при них, выражающими имевшее место в тот же момент падение между д. Завод и водомерным постом у д. Пчева (расст. 105 в.). Залитыми кружками обозначены расходы воды у Гостинополья, фактически измеренные.

Изображенные данные показывают, что случаям сильных отклонений Заводских расходов в сторону уменьшения соответствуют одновременные сильные уклонения Гостинопольских расходов в сторону увеличения с одновременным же уменьшением цифры падения между вышеуказанными водомерными постами. Наоборот, сближение величин расходов в обоих пунктах отвечает возрастанию цифры падения до наибольшей нормы.

По отношению к точкам, соответствующим расходам воды у Гостинополья, представляется возможным построить семейство кривых расхода воды, показанное на чертеже, отличающихся по признаку падения гор. воды на указанных 105 в., которое достаточно точно согласуется с результатами непосредственных измерений. Для иллюстрации точности этого способа учета низового стока р. Волхова на чертеже (Л 7.) построены расходы воды за период с 5 июля по 5 ноября 1923 г. по описанному способу и по Гостинопольской кривой расхода 1915 г., откуда видно, что расходимость результатов весьма незначительна. Необходимо подчеркнуть, что определенная зависимость может получаться по этому способу лишь в периоды установившегося режима, в периоды же неустановившегося движения точность уменьшается, но, как видно, из данных графика в такой степени, которая достаточна для практических расчетов. Изображенная на графике (Л 6.) зависимость Гостинопольских расходов воды от показаний вышележащих постов относится только к режиму до сооружения Волховской Силовой Станции, но так как сущность явления зависит от того, что сток совершается под постоянным подпором от порогов на нижележащем участке, в величину которого вносятся добавочные изменения паводками на притоках Волхова, то аналогичное явление, а, следовательно, и аналогичная зависимость должна будет иметь место и после сооружения Силовой станции, которая только несколько изменит величину постоянного подпора. Отличие возможно только в форме кривых зависимости, которые должны быть выяснены на основании наблюдений гидрологических факторов нового режима реки.

Описанный метод достаточно строг при равномерном режиме работы Силовой станции и менее правилен при применении суточного регулирования. Но летом станция и будет работать равномерно или почти равномерно, а зимой отпадает вопрос о возможности значительных внезапных паводков на Волховских притоках.

Достигнутая возможность учитывать низовой сток по верховым постам позволяет сделать вывод, что при наличии регулирующей плотины в истоке р. Волхова возможно по высоте уровня нижнего бьефа регулирующей плотины в истоке Волхова и по высоте уровня на втором, дальше отстоящем водомерном посту, каком—покажет опыт, судить о величине бытового расхода воды в реке, подходящего к Силовой станции.

Графики расхода воды за ряд характерных лет.

Питание, которым Волховская Силовая станция может рассчитывать располагать в разные периоды года при естественных условиях стока, нагляднее всего характеризуется годовым графиком расхода воды за истекшее время. Поэтому на Л. 8 приведены годовые графики расхода воды у Гостинополя за ряд наиболее характерных лет, а на Л. 9 такие же графики за последнее десятилетие показывающие, что несмотря на регулирующее влияние озера амплитуда колебаний осенних и зимних ветвей кривых весьма значительна. Так как зимний период является наиболее важным в эксплуатационном отношении, то на Л. 10 представлена длительность наличия определенного расхода воды в Гостинопольи за истекший 44-летний период на каждые 5 сутки за период с 1 сентября по 1 апреля (ст. ст.) ¹⁾. Из прилагаемого графика следует,

¹⁾ Построение этого графика выполнено следующим образом. На вспомогательной таблице в горизонтальных строчках, каждая из которых соответствует 7-месячному периоду с сентября по апрель месяц за 44 года, выписываются величины расхода воды на каждое 5 число месяца, соответственно датам, изображенным на оси абсцисс чертежа Л. 10. При этом в вертикальных рядах оказываются сгруппированными расходы воды на определенное календарное число за 44-х летний период. Далее величины каждого вертикального ряда систематизируются в нисходящем порядке. Если их выстроить последовательно, они дали бы для каждой из рассмотренных дат кривую длительность расхода воды за 44-х летний период в ее обычной форме. Полученные систематизированные ряды расходов воды на каждое число позволяют определить по каждому ряду границы перехода расхода воды через круглые нормы расходов в 5, 10, 15, 20 куб. саж./сек., каковые

что медианное значение расхода воды (22 г.) за этот период от 35 до 25 куб. саж./сек., а нижнее квадрилианное значение (33 г.) дает расходы от 25 до 15 куб. саж./сек.

Предельная наименьшая величина расхода опускалась на протяжении ряда недель в зимний период до величины 5—4 кб. с/сек. Эта норма, несмотря на то, что получена не только зимой 1882—83 г., но и зимой 1920—21 г., все же вызывает сомнения в том, чтобы она могла соответствовать фактической приточности всего Волхово-Ильменского бассейна. Если в нее не вкралась неточность, легко возможная при измерении в зимних условиях очень малых скоростей течения, да еще в столь тяжелый в смысле общих условий работы год, как 1920—21, то все же такой низкий расход воды может быть объяснен еще и влиянием зажорных явлений, которые задерживали естественный приток бассейна, вызывая накопление его в озере, что в свою очередь при расходах столь малого порядка ничтожно отражается на повышении уровня озера. Действительно, слой озера около 0,5 м. (0,25 сж.) высотой на уровне 7,80—8,05 саж., только объемом заключенной в нем воды в 46 милл. кб. сж. может поддерживать питание Волхова с расходом в 3 кб. с./сек. на протяжении 6 месяцев, не считая естественной приточности за этот период.

С сооружением Волховской станции возможность зажорных явлений исключается и, в случае наступления критически малых расходов, возможно идти на снижение уровня на плотине Силовой станции к концу зимы до 0,5 м. ниже гребня (оставляя остальные 0,5 м. возможного понижения на колебания при суточном регулировании стока) для стягивания из озера слоя воды той же высоты.

При этом низшей нормой расхода, принимая замеренную приточность в 5 кб. с./сек. явится уже величина не ниже 8 кб. с./сек. (78,0 кб. м./сек.). Потеря в напоре в 10% компенсируется увеличением расхода воды на 60%, и, кроме того, абсолютная вели-

границы норм расхода для каждой даты (вертикального ряда) отложены графически на предлагаемом графике (Л. 10) и соответственные величины соединены в непрерывные ломаные линии.

Таким образом линии чертежа своим положением показывают число лет, когда расход воды на данное число был больше величины, обозначенной при линии (левая вертикальная шкала) и число лет, когда он был меньше этой величины (правая вертикальная шкала).

чина напора не будет слишком низка вследствие очень низкого уровня нижнего бьефа при таких малых расходах воды. Изложенные критические условия питания станции крайне редки, но так как они сильно отклоняются от средней нормы, то делают вопрос регулирования серьезным в той мере, в какой Волховская Силовая станция является серьезным слагаемым в общей сумме силового хозяйства Ленинграда.

Интегральные кривые стока.

Расчеты стока значительно облегчаются при применении интегральных кривых стока, у которых по оси абсцисс откладывается время, от какого то начального момента, а по оси ординат—количество воды, протекающее через живое сечение реки от начального до данного момента времени, получаемое последовательным суммированием (интегрированием) за каждые из истекших суток суточного дебета реки, принимаемого равным $86.400 Q$, где Q —секундный расход воды, считаемый в течение суток постоянным и определяемый по кривой расхода, на основании показаний водомерного поста, а коэффициент 86.400 —число секунд в сутках ¹⁾. Характерным свойством этих кривых, легко вытекающим математически из их природы, является то обстоятельство, что tg угла касательной в данной точке равен секундному расходу воды в тот же момент времени, а любая хорда tg' ом угла своего наклона к оси абсцисс определяет средний секунднй расход за период между моментами, соответствующими ее конечным точкам. Описанные кривые за период с 5 апреля 1881 г. по 20 марта 1925 г. могут быть построены по данным таблицы А (приложение I, в конце

¹⁾ Из литерат. источников, тракующих вопрос применения интегральных кривых стока к расчетам регулирования стока можно указать:

1) Н. М а с т и ц к и й. Графический способ определения оросительной способности рек. Изв. Собр. Инж. Путей Сообщ. за 1910 г.

2) Н. В. М а с т и ц к и й. — О графическом методе водо-хозяйственных расчетов. Известия Научно-Мелиорат. Инст. Вып. 7.

3) Н. В. М а с т и ц к и й. Журнал „Электричество“ 1925 г. № 7.

4) Н. В. Ч и к о в. — Регулирование рек при помощи водохранилищ. Журн. М. П. С. кн. III за 1915 г.

5) Б. В е д е н е е в. Гидроэлектрические силовые установки. Изд. Инст. Инж. П. С., 1924 г.

6) И. В. Е г и а з а р о в. — Гидроэлектр. силовые установки. Изд. КУБУЧ. 1924 г.

7) L e i n e r. — Ertragreichste Ausbau von Wasserkraften.

8) L u d i n — Die Wasserkraften. Berlin. 1913 г. Часть I стр. 65—115.

текста), по интервалам через 10 суток, что при плавном изменении расходов р. Волхова не вызывает ощутимой погрешности. Кривая стока за каждый годовой период вычислена с момента начала весенней прибыли воды, который колеблется в разные годы от 10 февраля по 15 апреля ст. ст. и доводится до аналогичного момента следующего года, вследствие чего годовой период не совпадает с календарной продолжительностью года, колеблясь от 321 до 396 дней. Будем называть его в дальнейшем операционным годом. Необходимость такого распределения стока по времени вызвана необходимостью исследовать, как задержка весеннего стока может влиять на усиление последующих осеннего и зимнего. Интегральная кривая Гостинопольского стока в связном виде за весь период с 1881 по 1924 г. построенная в косых координатах по интервалам через месяц по средним месячным расходам и приведенная на черт. 40 атласа к вып. VI Мат. Иссл. р. Волх., дает наглядную картину колебания водоносности р. Волхова по периодам лет, но для подробных расчетов стока она имеет слишком малый масштаб.

Озеро Ильмень.

Характеристика озера Ильмень.

Озеро Ильмень при среднем меженином горизонте имеет размеры около 30 верст в меридианальном и около 40 верст в широтном направлении, с глубинами около 1,5—2,0 саж. Его главные характерные особенности, весьма невыгодные, с точки зрения интересов использования его в качестве водохранилища, составляют его исключительно низкие пологие берега по 75% его периметра и его чрезвычайно низкое положение по отношению к гребню плотины Силовой станции, имеющему отметку 7,39 саж. над ур. Балт. моря в то время как седловина перевала из озера в Волхов расположена на отметке 7,05 саж., так что если представить себе р. Волхов условно с горизонтальным уровнем на отметке гребня Волховской плотины, то этот уровень перекрыл бы на 0,34 саж. седловину перевала из озера.

Нормальный режим уровня озера протекает следующим образом. Весеннее его наполнение обычно происходит в течение 3—4 недель (в апреле месяце н. ст.) и только сильные дожди в этот период могут растянуть подъем до 2 месяцев. Максимальная скорость подъема уровня достигает до 0,15 саж./сутки. Высший уро-

вень половодья лежит между крайними пределами 8,95 саж. (1890 г.) и 10,85 саж. (1922 г.) и его медианное значение за 44 года приходится на отметке 9,90 саж. Наступающий после этого спад воды носит очень постепенный и затяжной характер, со скоростью не превышающей 0,02 саж. в сутки и часто продолжается до глубокой осени, так что говорить о среднем меженном уровне, как о величине, характеризующей период более или менее устойчивого стояния уровня, нельзя. Высота уровня оз. Ильмень в характерные гидрологические моменты летнего и зимнего периодов по данным Новгородского водом. поста за 44 года изображена графически на Л. 11. Арифметически средний уровень озера получается на отметке 8,50 саж. Низкие горизонты, на которых непрерывный ход понижения уровня озера прекращается и начинают обнаруживаться его волнообразные колебания, начинаются от отметки 8,00 саж. Наинизший уровень был отмечен по Новгородскому водом. посту на отметке 7,35 саж., следовательно, на озере около 7,45 саж. Поэтому за мертвый объем озера до сооружения плотины мог быть принят кругло его объем ниже уровня 7,50 саж. емкостью в 104,34 милл. кб. саж. Амплитуда колебаний уровня озера составляла $10,85 - 7,50 = 3,35$ саж. Площадь водного зеркала озера на разных уровнях через 0,10 саж. и объем сливного слоя его над уровнем 7,50 саж. приведены в табл. № 2, из которой следует, что площадь озера при повышении уровня от низшего до высшего уровня увеличивается, примерно, в три раза и объем озера увеличивается в 10 раз.

После сооружения Волховской плотины вследствие подпорного ее действия, граница мертвого слоя озера повысится до отметки, кругло 7,80 саж., а амплитуда колебаний уровня понижается до $10,90 - 7,80 = 3,10$ саж.

Сравнительная регулирующая способность оз. Ильмень ¹⁾

Чтобы оценить степень зарегулированности годового стока Ильменя по Волхову, воспользуемся 3 цифрами среднего годового расхода Волхова (и соответственно годового объема стока): средний многолетний (за 44 года) — 59,1 кб. с./сек., — 1.869,174 м. кб. с.; средний годовой наименьший — 34,0 кб. с./сек., — 1.072,220 милл. кб. с.; средний годовой наибольший — 87,6 кб. с./сек., — 2.762,554 милл. кб. с.

¹⁾ Настоящий абзац заимствован из записки по этому вопросу инж. В. М. Родевича.

Объем озера 297,422 милл. куб. саж.—при среднем его уровне +8,50 саж., по отношению к указанным объемам годового стока из озера составляет всего $\frac{1}{6}$ часть, с пределами от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{9}$.

Если сравнить с этими объемами годового стока объем регулирующего слоя озера без мертвого пространства, то для среднего многолетнего стока это соотношение дает 683,725 (при отм. г. в. = 10.00 с.) · 1.869,174 = $\frac{1}{3}$; для наименьшего стока 327,852 (при отм. г. в. = 9.00 саж.): 1.072,220 = $\frac{1}{3}$; для наибольшего стока 901,458 (при отм. г. в. = 10.50 саж.): 2.762,554 = $\frac{1}{3}$, так что регулирующее сток озера заполнение его весной почти всегда составляет лишь $\frac{1}{3}$ объема полного годового стока Ильменя.

Таким образом, регулирующая способность Ильменя, как водохранилища для Волхова — слаба и вообще оно, как водохранилище имеет плохие качества вследствие больших разливов—свыше 1.000 кв. верст.

Для сравнения отметим, что в Ладожском озере, площадью 18.724 кв. килом. и объемом 882 куб. килом., помещается не менее 10 полных годовых стоков Невы, но что обычное годовое колебание его уровня в 0,40 саж. от высокого стояния к более низкому в течение года, отвечает менее $\frac{1}{4}$ годового стока Невы (при ее расходе в 250 куб. саж./сек.). Так как предельная амплитуда колебания уровня Ладожского озера достигает 1,40 саж., то даже при накопе в +1,00 против обычного возможно задержать в озере лишь половину годового стока Невы, но зато можно было бы свободно пользоваться озером как регулятором, понижая его уровень ниже ординара. В Ильмене также, форсируя почти всю амплитуду колебания уровня озера в +3,00 саж. (из 3,50) под накоп до +10,50 саж., возможно будет скопить лишь половину среднего годового стока из озера по Волхову. Поэтому многолетнее регулирование Волхова через Ильмень является по природе невозможным и по необходимости надо остановиться на годичном регулировании.

В этом отношении Волхов значительно уступает Свири, которая, при среднем расходе 650 куб. метр. в секунду, площади Онежского озера, кругло, 9.700 кв. килом. и объеме его 294,83 куб. килом., имеет в озере 14 годовых запасов своего расхода, а используемый на регулирование слой воды озера равный годовой амплитуде колебаний его 0,78 с. = 1,66 метр., получает регулирующий запас в 0,8 своего среднего годового стока, а при добавочном

подъеме или спуске озера + 0,25 с., регулирующий объем в Онежском озере достигает полной величины среднего годового стока Свири, чего на Ильмене для Волхова достичь нельзя.

Для полноты сравнения необходимо также отметить, что колебания расхода воды этих рек от самого низкого к самому высокому характеризуется отношениями: для Невы—3 (450 : 150 кб. с.), для Свири — 3,5 (1.250 : 380 кб. м.) и для Волхова — 50 (250 кб. с. : 5 кб. с.).

Отсюда следует, что при регулировании расхода Волхова придется иметь дело со сбережениями и накопами относительно гораздо больших количеств воды, чем при регулировании Невы и Свири.

Потери стока через испарение с водной поверхности озера.

Из дальнейших вопросов режима оз. Ильмень, представляющих интерес для расчетов стока, необходимо еще остановиться на количествах стока, теряемых с поверхности озера через испарение.

Наблюдения в этом отношении были поставлены Отделом Изысканий с 1923 г. и производились помощью пловучего испарителя системы Лермантова-Любославского, установленного при гидрометрической станции у дер. Завод в 23,4 в. от истока. За 1923 г. не удалось собрать полных данных, и таковые имеются лишь за 1924 г. (с 1 июня по 3 ноября) и за 1925 г. (с 1 апреля по 15 октября).

Метеорологическая обстановка этих двух периодов, в общих чертах, в форме средних месячных величин и средние месячные нормы испарения по Лермантову-Любославскому и по Вильду, при ведены в таблице:

Т а б л и ц а № 1.

Новый стиль.

№	Наименования.	Год.	Апрель.	Май.	Июнь.	Июль.	Август.	Сентябрь.	Октябрь.
1	Относительная влажность в %	1924	—	—	80,5	82,5	79	83	88
		1925	72	69	77	75	81	86	83
2	Средняя суточная температура воздуха в °С.	1924	—	—	15,7	16,9	16,9	13,1	6,2
		1925	9,2	12,5	14,1	19,9	16,2	10,3	3,8
3	Скорость ветра в мтр./сек.	1924	—	—	2,3	1,8	2,1	4,2	2,7
		1925	3,4	2,8	3,8	2,2	2,4	3,7	5,5
4	Суточные испарения по Лерм.-Люб. в мм.	1924	—	—	3,1	4,7	4,3	2,4	0,6
		1925	1,6	3,6	4,1	4,9	2,7	1,4	0,6
5	Суточные испарения по Вильду в мм.	1924	—	—	1,4	1,5	1,3	1,1	0,4
		1925	1,3	1,5	1,2	1,4	0,8	0,6	0,6

На чертеже Л. 12 представлены за эти два сезона: 1) интегральные кривые испарившейся за сезон слоя в мм., 2) интегральные кривые испарившегося за сезон с поверхности озера объема воды в милл. куб. саж. и 3) средний за каждые 10 суток секундный расход воды, потерянной через испарение, в куб. саж.

Полученные результаты показывают, что испарение в середине лета достигает весьма значительной величины 8,5 куб. саж./сек. и может в засушливые годы превысить естественную приточность в озеро в этот период, что, напр., имело место летом 1906 г., когда все питание Волхова шло преимущественно за счет сработки запасов воды озера.

Характеристика угодий, расположенных в пойме озера между крайними пределами колебания его уровня приведена ниже в главе «Влияние годового регулирования стока р. Волхова на сельскохозяйственную ценность угодий в пойме оз. Ильмень».

Интегральные кривые притока в озеро.

Сток, определяемый рассмотренными выше (стр. 21) интегральными кривыми, представляет собой приток воды в озеро Ильмень из впадающих в него притоков, за вычетом потерь на испарение с площади озера, и боковой сток самого Волхова, отрегулированные природой через озеро Ильмень и русло реки Волхова на его 175 верстном протяжении, в пределах которых все элементы, оказывающие регулирующее влияние на сток (форма русла и характер берегов реки, живое сечение перекатов и порогов), остаются измененными.

С устройством в истоке р. Волхова регулирующей плотины появится новый элемент, могущий оказывать на этот подходящий из бассейна приток воды регулирующее влияние, подчиненное воле человека и тем самым могущий вносить изменение в режим стока у Гостинополья. Сам по себе этот приток воды в озеро и в реку Волхов, поскольку он происходит от естественных условий, остается неизменным и представляет собой явление, которое и подлежит изучению с целью выяснения степени возможности его преобразования путем воздействия на него регулирующей плотины.

Часть этого притока, теряемая путем испарения с водной поверхности, зависит от метеорологических условий, величины водной поверхности и глубины озера. Так как при годовом регулирова-

нии стока, по сравнению с естественным стоком, могут меняться только два последних фактора, то изменение стока при регулировании от испарения могло бы быть определено в зависимости от изменения двух последних величин.

Но в расчеты зарегулированного стока дополнительная потеря на испарение, сверх той, которая имеет место в естественных условиях, не введена по следующим соображениям:

1. Абсолютная потеря на испарение в год с поверхности озера на основании приведенных выше данных наблюдений, составляет величину порядка 4⁰/₀ от суммы годового стока.

2. Во всех рассмотренных ниже вариантах регулирования стока среднее относительное увеличение испаряющей площади за период, свободный ото льда, невелико. При этом наибольшее относительное увеличение испаряющей площади падает на конец лета и осень, когда, по данным наблюдений, интенсивность испарения падает.

3. Относительное увеличение площади озера сопровождается одновременным увеличением слоя воды в нем, что должно влиять в сторону некоторого уменьшения испарения, вследствие уменьшения нагревания поверхностного слоя воды в озере.

4. Дополнительные потери на испарение в первой половине лета, когда станция вынужденно должна работать полной мощностью круглые сутки, могут быть отнесены на запас, имеющийся в несколько повышенной норме расхода воды 74 куб. саж./сек., принятый для работы станции на полную мощность.

5. Учет потерь на испарение при недостаточности наблюдений в этом отношении не мог бы быть выполнен достаточно точно, сильно усложнил бы исследование и, в конечном итоге, на основании изложенных выше соображений мог бы привести к разнице только порядка 1—2⁰/₀, по сравнению с полученным результатом, что для окончательных выводов имеет второстепенное значение и остается в пределах той точности, с которой проведены другие вычисления (кривые расходы воды, нормы потребления воды станцией при разной мощности, испаряющая поверхность и др.).

Для определения поступающего в единицу времени количества воды из бассейна в озеро Ильмень и в реку Волхов через их притоки, очевидно, необходимо к количеству воды, сливающейся в эту единицу времени у Гостинополя, прибавить количество воды, нарастающее (или отнять — убавляющееся) в эту же еди-

ницу времени на площади озера и русла реки Волхова, и прибавить объем воды, потерянной путем испарения. Алгебраическая сумма этих трех величин даст искомую величину суммарного притока воды из бассейна в данную единицу времени.

Полагая же величину стока, теряемого путем испарения, величиной неизменяемой,—для целей расчета представляет интерес только величина притока (за вычетом испарения за ту же единицу времени), которая фактически может быть подвергнута перераспределению путем регулирования и равна алгебраической сумме стока воды Гостинополья и изменению наполнения озера и русла реки Волхова в течение той же единицы времени.

Изменение объема русла р. Волхова, равное объему русла, заключенному между мгновенными уровнями поверхности реки в начальный и конечный момент исследуемой пятидневки также не введено в расчет, вследствие, с одной стороны, чрезвычайной сложности и недостаточности данных для определения этой величины, а с другой стороны, вследствие незначительности даже этого объема по сравнению с погрешностью, которая возможна при определении изменения объема озера при низких уровнях. Действительно, при меженных уровнях средняя ширина Волхова на 170 верстах его длины от 100 до 150 саж. Возьмем высший предел, при котором площадь зеркала составит $150 \times 170 \times 500 = 12.750.000$ кв. саж. Даже при очень сильном для Волхова равномерном подъеме р. Волхова на 0,10 саж. приращение объема составит $1.275.10^6$ куб. с., что соответствует приращению объема сливного слоя озера при подъеме его уровня на 0,003 саж. В период же половодий и высоких паводков, когда неизбежны потери стока на Силовой станции, уточнение объемов притока воды ниже проектируемой регулирующей плотины, на которые ее воздействие распространиться не может, также практически не существенно.

На основании изложенного для построения интегральной кривой количеств притекающей воды, как в озеро Ильмень, так и частично в русло р. Волхова из боковых его притоков, к ординатам кривой стока у Гостинополья прибавлены ординаты объемов сливного слоя оз. Ильмень над уровнем с отметкой 7,50 саж., соответствующей уровню мертвого слоя озера для периода до сооружения Волх. Сил. станции. Полученные точки дали искомую кривую, которую в дальнейшем будем именовать «кривой притока». При таком способе построения приращение кривой

притока всегда равно алгебраической сумме приращения кривой стока и приращения объема озера, и обе кривые, притока и стока, всегда дают в качестве разности ординат величину объема сливного слоя озера над уровнем с отметкой 7,50 саж., даже и тогда, когда форма кривой стока подвергнется изменению под воздействием регулирующей плотины.

Точка пересечения этих кривых получается в момент, когда уровень озера опускается до отметки 7,50 саж., т. е. когда разность ординат кривых, выражающая объем слоя озера над этой отметкой, равна нулю. При ином способе построения разность ординат этих двух кривых давала бы объем слоя озера над уровнем, соответствующем точке пересечения кривых.

В приводимом ниже расчете за единицу времени принят период в 5 суток (между числами месяца, кратными пяти: поэтому удлиненные месяцы I, III, V, VII, VIII, X, XII, последний интервал имеют в 6 дней, а февраль в 3—4 дня), для этих интервалов сток у Гостинополя исчислен по стоку в начальный момент, что несколько неправильно принципиально, но не оказывает влияния на расчет по существу, вследствие плавного изменения расхода по дням и полной неизбежности учитывать гораздо грубее другие, более сильно влияющие на результат, факторы.

Приращение объема озера, положительное или отрицательное, определялось по показаниям водомерного поста в Новгороде, единственного в районе озера, по которому сохранились наиболее полные наблюдения¹⁾. Отметка горизонта воды на нем ниже озерной на 0,03—0,10 саж., из которых первый предел относится к периоду нарастания весеннего половодья, а последний—ко времени низкой межени. Средняя величина этого падения может быть принята около 0,05—0,06 саж., а так как в расчет входит только приращение объема озера, то наличие этого падения вообще исключено из расчета и Новгородский пост рассматривался, как озерный.

За годы, когда в зимний период наблюдения на Новгородском водомерном посту прерывались (1881, 1882 и 1888—1908 г.г.) ход уровня для этого поста был восстановлен приближенно по

¹⁾ Наблюдения на водомерном посту во Взведе в устье р. Ловати, ведущиеся с того же года, как и на Новгородском (1877 г.) и отражающие на большей части года горизонт озера, в низкую межень дают несколько повышенное значение горизонта, величина которого точно неизвестна.

показаниям водом. поста при ст. Волхово, так как последний в зимний период дает мало колеблющуюся разницу уровней с Новгородским постом.

Кривая изменения от высоты уровня площади озера определена на основании данных съемки озера в горизонталях Волховским Строительством в 1923 году в масштабе 100 саж. в 0,01 саж., по которой площадь зеркала озера внутри горизонталей, проложенных через 0,25 саж. по высоте, определена планиметром.

Для определения изменения наполнения озера вычислены объем его сливной призмы над уровнем с отметкой 7,50 саж., водный запас ниже которого рассматривался, как расчетный мертвый объем озера. Действительно, исторически известный наименьший уровень на Новгородском водомерном посту имел отметку 7,35 саж. (окт. 1882 г.), при котором падение между Новгородом и озером было, вероятно, не менее 0,10 саж. В дальнейшем же с сооружением плотины на Званке, отметка гребня которой 7,39 саж., и подавно, горизонт на озере не сможет опускаться ниже отметки 7,50 с. Изменение площади водного зеркала озера и его объема над уровнем с отметкой 7,50 саж. через каждые 0,10 саж. по высоте приведен в таблице № 2.

Т а б л и ц а № 2.

Отметка горизонта воды в саж.	Площадь зеркала озера в кв. вер.	Объем слив- ного слоя в 1.000 кв. с.	Отметка горизонта воды в саж.	Площадь зеркала озера в кв. вер.	Объем слив- ного слоя в 1.000 кв. с.
7,50	579,1	0	9,30	1.322,5	421.111
7,60	611,0	14.859	9,40	1.380,0	454.883
7,70	652,5	30.642	9,50	1.439,3	490.138
7,80	692,5	47.478	9,60	1.487,0	526.723
7,90	730,0	65.250	9,70	1.530,5	564.445
8,00	766,9	83.945	9,80	1.572,0	603.231
8,10	808,0	103.641	9,90	1.610,5	643.017
8,20	849,0	124.344	10,00	1.647,0	683.725
8,30	894,0	146.132	10,10	1.687,0	725.400
8,40	939,0	169.045	10,20	1.726,0	768.072
8,50	984,0	193.083	10,30	1.761,0	811.680
8,60	1.021,5	218.152	10,40	1.796,0	856.122
8,70	1.059,5	244.160	10,50	1.831,0	901.458
8,80	1.096,5	271.112	10,60	1.860,0	947.607
8,90	1.135,0	299.012	10,70	1.885,0	994.419
9,00	1.172,6	327.852	10,80	1.910,0	1.041.857
9,10	1.217,0	357.711	10,90	1.935,0	1.089.919
9,20	1.267,0	388.753	11,00	1.960,0	1.138.607

Описанные кривые притока в озеро вычислены за период с 1881 по 1925 год, и подразделены на отдельные годовые периоды от одного весеннего подъема воды одного года до того же момента следующего года (операционные годы) аналогично кривым стока, и в табличной форме приведены в приложении I (в конце книги).

II. Режим стока р. Волхова после сооружения Волховской Гидроэлектрической станции.

Влияние плотины Силовой станции на сток из оз. Ильмень.

Гидроэлектрическая Силовая установка, расположенная на реке, свободно вытекающей из озера и имеющей достаточно большое падение, при котором подпор от плотины до озера никогда не распространяется, не вносит изменений в режим естественного стока такой реки, а вызывает только иной режим уровней в пределах подпертого бьефа. В отношении р. Волхова такое положение можно считать имеющим место лишь в периоды высоких половодий при расходах воды от 200 до 250 кв. саж./сек. при условии, что станция работает непрерывно всеми своими турбинами и держит в то же время почти полностью открытыми щиты Стонея, а также при расходах от 200 до 150 кв. саж./сек., если отметка гор. воды у плотины Силовой станции благодаря работе станции и щитов поддерживается по возможности не выше ее гребня. Если при упомянутых больших расходах воды, свыше 150 кв. саж./сек. оговоренные ограничения не соблюдены или при расходах воды ниже 150 кв. саж./сек. уровень воды на плотине Силовой станции поддерживается на ее гребне и выше, то подпор до озера распространяется всегда. Его влияние выражается не только в повышенных уровнях по длине реки при тех же расходах воды, но и самые расходы воды в их календарной последовательности становятся иными, чем в случае естественного стока, поскольку этот подпор меняет условия стока из оз. Ильмень.

Выше (стр. 8) было указано, что в естественных условиях сток из озера происходил под постоянным подпором со стороны порожистой части р. Волхова. С сооружением Волховской плотины

это подпорное влияние при меженных уровнях от действия плотины усилится.

Замедление меженного и зимнего стока, вызываемое подпором, обусловит опускание горизонта воды на озере к концу зимы не до столь низких отметок, как это имело бы место при естественном режиме стока, и поведет таким образом к увеличению мертвого объема озера.

Весеннее наполнение озера, которое будет начинаться поэтому при более высоких отметках уровня озера, достигнет в свою очередь более высокого уровня своего наибольшего разлива, так как избыточный слой воды в озере к началу половодья, вследствие увеличенного подпора со стороны боковых притоков Волхова в период нарастания половодья, не успеет слиться, а только перераспределится на возросшую площадь поверхности озера и соответственно уменьшится по высоте.

Таким образом ход уровней озера по сравнению с прежним, вообще, будет носить повышенный характер, в меньшей мере для своей верхней границы и в большей мере для нижней границы.

Так как при высоких уровнях р. Волхова подпорное действие плотины на сток почти исчезает, постепенно усиливаясь с понижением уровня, то такое перемещение вверх сливного слоя озера, вообще, ведет к увеличению стока в весенний период, когда часть его сбрасывается на станции без использования, и, наоборот, к уменьшению его в период полностью утилизируемых расходов воды, и таким образом происходит некоторое уменьшение используемого стока в целом. Нижеприводимый приближенный расчет этого явления за период с 1920—1924 г. (таблица 3) показал, что эта потеря составляет 1—2% от утилизируемого станцией годового стока.

Вопросу об определении формы подпертого уровня после сооружения Силовой станции уделено было Отделом Изысканий Волховского Строительства большое внимание и произведены многочисленные вычисления кривых подпора при разных бытовых расходах воды р. Волхова и при разном режиме работы Силовой станции, результатам которых намечено посвятить отдельную монографию ¹⁾.

¹⁾ См. вып. XXI Материалов Исслед. р. Волхова.

Принципиальная сложность в данном вопросе, усугубляется усложнением условий стока, создаваемым боковыми притоками р. Волхова, воздействие которых на форму уровня распространяется на многие десятки верст, при ничтожном сравнительно общем падении р. Волхова, делая задачу о форме уровня при подпертом режиме р. Волхова весьма сложной, и надежное ее решение приходится рассчитывать получить только путем постановки соответствующих наблюдений после открытия действия станции.

Не входя поэтому в настоящем труде в более подробный разбор этого вопроса в целом, имеющего в части, касающейся изменения режима уровня по длине р. Волхова, второстепенное значение для вопросов годового регулирования стока Волхова, остановимся только подробнее на той стороне этого явления, из которой возможно уловить влияние его на замедление стока р. Волхова, чтобы, хотя бы приближенно, выяснить новый режим на Волхове и оз. Ильмене, который наступит после начала работы Силовой станции, и в который может быть внесено дальнейшее изменение годовым регулированием стока.

Метод построения хода уровня на озере при подпертом режиме Волхова.

Метод исследования вопроса о режиме уровня оз. Ильмень при наличии подпора от Силовой станции был применен следующий. По данным о количествах естественного стока из оз. Ильмень за 1920—24 гг. и по одновременным колебаниям уровня озера определены описанные выше кривые притока в озеро. Далее, полагая, что при наличии силовой станции режим притока в озеро оставался бы без изменения, но изменился бы сток из него в связи с изменившимися условиями протекания по р. Волхову, вычислен этот новый режим стока и в связи с ним новый ход уровня на озере.

Вычисления исполнены по следующей таблице 3.

Новый режим стока из озера после сооружения Силовой станции вычислен в приведенной таблице по тому же графику зависимости расходов воды в истоке р. Волхова от отметки г. в. у Новгорода и падения между Новгородом и ст. Волхов, описанному на стр. 17, который отражая влияние на сток уклона реки, является пригодным как для прежних, так и для новых условий стока на р. Волхов.

Таблица № 3¹⁾.

Дата ст. ст.	Естественные условия.									Общий приток р. Волхова в истоке за период.	Искусственные условия.											Примечание.
	Отметка гор. воды в саж.		Расход воды р. Волхова у истока.		Расход в Волхове у Гостинополья.	Сток р. Волхова у истока за период.	Объем воды озера Ильмень в 10 ⁶ к. с.	Изменение объема озера за период.	Подпор в саж.		Расход воды.	Сток р. Волхова за период.	Изменение объема оз. Ильмень в 10 ⁶ куб. саж.	Объем озера при иск. режиме над уровнем 7,50 саж.	Подпор на озере Ильмень в саж.							
	у Новгорода.	у ст. Волхово.	Ежедневно.	Средний за период.					Ежедневно.							Средний за период.	у Новгорода.	у ст. Волхово.	Ежедневно.	Средний за период.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	

1) Последовательный ход вычисления по приведенной таблице следующий. Графы таблицы 1, 2, 3 и 6—заполняются по готовым данным. По отметке гор. в. у Новгорода и по падению между г. Новгородом и ст. Волховом определяем по кр. расхода (см. стр. 16) расход воды в истоке. По среднему за 10 дней расх. воды вычисляем сток за этот период (графа 7). По отметке гор. в. у Новгорода, увеличенной на 0,05 саж. для учета падения до озера, определяем по гипсом. кривой озера (табл. № 2) объем его сливного слоя над ур. 7,50 саж. (гр. 8). Изменение этого объема за 10 дней (гр. 9) в сумме со стоком за те же 10 дней (гр. 7) дают общий приток в озеро за те же 10 дней (гр. 10). Далее определяем режим стока при найденном притоке в озеро, остающемся без изменения и в будущем, при новых условиях протекания. Метод—несколько различный для летнего и зимнего периодов. В первом случае—задаемся отметкой гор. в. у Новгорода, которая наступит через 10 дней после начального момента, по этой отметке + 0,05 саж. находим объем сливного слоя озера (гр. 20), затем находим приращение этого объема (гр. 19), затем по сумме (гр. 19) + (гр. 10) находим сток из озера за расчетные 10 дней (гр. 18) и соответствующий последнему среднему секундный расх. в. (гр. 17). По этому последнему и расходу в начальный момент, находим расх. воды, который наступит через 10 дней. Зная отметку г. в. у Новгорода и расход воды в истоке, находим по кр. расх. в. (черт. № 21. Вып. VI, см. стр. 11) падение, которое при этом должно существовать между г. Новгородом и ст. Волхов, а, следовательно, и отм. гор. в. на ст. Волхово. Найденная отметка у ст. Волхово должна удовлетворять одновременному режиму стока у Гостинополья. Зная расх. в. у Гостинополья при ест. реж. и увеличение его, которое получится при выбранной нами отм. гор. в. у Новгорода в конце десятидневки, найдем новый расх. в. у Гостинополья, соответствующую ему отм. гор. в. у ст. Волхово при ест. режиме (по интерполяции с соседними днями), к которой нужно добавить еще величину подпора от плотины по данным расчета кривых подпора при том же расх. в. у Гостинополья. Если полученная таким способом отметка у ст. Волхово не совпадает с отметкой,

определенной по условиям истечения из озера, то задаемся новой отметкой у Новгорода для конца десятидневки, пока не достигнем удовлетворительного совпадения.

Для зимнего периода расход воды из озера определен по зимней кривой расхода у Новгорода вне зависимости от отметки гор. в. ст. Волхово. Поэтому в данном случае задаемся гор. в. у Новгорода через 10 дней, определяем объем сливного слоя озера (гр. 20) и его изменение (гр. 19). По изменению сливного слоя и притоку (гр. 10) находим сток из озера за период (гр. 18) и ср. сек. расх. (гр. 17). По последнему и начальному сек. расх. находим расх. в. в конце десятидневки, который и должен соответствовать отметке гор. в. у Новгорода, которой мы задаемся.

Начальная отметка гор. в. у Новгорода взята по данным расчетных кривых подпора при том расходе воды, который в начальный момент времени (1 января 1920 г.) имел место в Гостинополье. Идентичность же начального расхода при естественном и подпорном режиме принятая в расчете для начального момента оправдывается тем соображением, что среди зимы при естественных условиях в очень маловодные годы, как зима 1919—20 г., уровень воды на озере почти не меняется на протяжении месяцев и расход воды обуславливается лишь притоком в озеро и по длине р. Волхова, каковой по той же причине оставался бы неизменным и при существовании плотины, как это подтвердилось и настоящим расчетом за первые два месяца. Только этот расход происходил бы при более высокой отметке на озере, которая в этом случае определена по кривым подпора.

Подпор на озере (гр. 21), который является в сущности не подпором буквально, а величиной превышения уровня озера при наличии плотины Волховской Силовой станции над соответствующим уровнем озера при естественном режиме озера, вследствие изменившегося режима стока, получен как разность (гр. 13)—(гр. 2), полагая колебания у Новгорода и на озере одинаковыми, что обычно верно с точностью до 0,02 саж. и только в редких случаях доходит до отклонений ± 0,05 саж.

Для зимнего периода кривая расходов воды у Новгорода при подпертом режиме получена по необходимости несколько искусственно, на основании зимней кривой расхода при естественном режиме, путем повышения точек последней на величину подпора, который был получен вычислением при расчете подпорных кривых р. Волхова при свободном ото льда состоянии реки (Л. 5 кр. В).

Если попытаться оценить неточность, которая допущена при таком решении вопроса, то можно прийти к заключению, что фактическая кривая в этом случае должна лечь несколько ниже принятой кривой по следующим соображениям.

Представим себе подпорную кривую для реки при заданном расходе воды в летних условиях. Для пропуска того же расхода воды при наличии ледяного покрова, когда увеличивается почти вдвое смачиваемый периметр русла, в связи с чем возрастает сопротивление потока, уровень в реке должен подняться, что в действительности и наблюдается в момент ледостава на реках во всех случаях, когда расход воды в реке не может уменьшиться ¹⁾.

При подпертом состоянии реки, когда живые сечения реки в каждом пункте больше тех, какие имели бы место при том же расходе воды в неподпертом состоянии, очевидно, сопротивление потока от наличия ледяного покрова и вызываемый им добавочный подъем воды будут меньше, чем в неподпертом состоянии.

Назовем для данного живого сечения, при данном расходе воды Q , отметку горизонта воды.

H_0 — для летнего неподпертого уровня;

$H_0 + h_0$ для летнего подпертого уровня;

$H_0 + h_1$ для зимнего неподпертого уровня;

$H_0 + h_2$ для зимнего подпертого уровня;

то на основании вышеизложенных соображений может написать:

$$(h_2 - h_0) < h_1 \text{ или } h_2 < h_1 + h_0$$

Между тем как в разобранный выше расчете принято:

$$h_2 = h_1 + h_0$$

Если к изложенным соображениям добавить, что зимняя кривая

¹⁾ Яркий пример этого рода явления обнаруживает р. Ангара у города Иркутска. Расход воды в ней для этого пункта определяется истоком из оз. Байкал, где Ангара не замерзает в течение всей зимы. В день ледостава горизонт воды р. Ангары поднимается на высоту около 2-х метров.

расхода воды отражала в условиях р. Волхова не только повышенное сопротивление потока вследствие наличия ледяного покрова, но и подпорное влияние от зажоров в порожиистой части р. Волхова, каковое явление с поднятием напора на Волховской плотине прекратится, то это явится лишним доводом в пользу того же соображения, что принятая зимняя кривая расходов для подпертого состояния Волхова (Л. 5 кр. V_1) занимает положение несколько выше действительной кривой, а, следовательно, определенные по ней расходы воды несколько меньше тех, которые в действительности могли бы иметь место в тех же условиях, следовательно, далее, задержка воды в озере и высота его уровня в течение зимы определилась несколько большей, чем должно бы быть в тех же условиях. Но имея в виду, что зимние расходы воды сами по себе невелики, а тем более разности их величин по разным кривым расхода и учитывая большую площадь оз. Ильмень, не трудно убедиться, что отмеченная неточность не могла отразиться заметно на полученном результате.

Полученный в результате подсчета по таблице 3 ход уровня озера Ильмень изображен графически на черт. Л. 20, из которого следует, что подпор от плотины оказывает в общем перемещение вверх на 0,02 — 0,28 саж. кривой хода уровня озера по сравнению с естественным режимом. Кажущееся при этом противоречие с высказанным ранее положением о прекращении подпора на озеро от Силовой станции при высоких уровнях объясняется тем, что добавочное приращение уровня на озере в период половодья обуславливается не подпором, а почти всецело наличием в озере к моменту начала половодья добавочного по сравнению с естественным режимом слоя воды, который в период нарастания половодья не успевает слиться, а при наполнении озера лишь уменьшается по высоте в обратном отношении к площади озера на соответствующих уровнях, которая в условиях оз. Ильмень доходит до трехкратного увеличения.

Кривые расхода, принятые в дальнейших расчетах стока.

В изложенных далее расчетах зарегулированного стока в периоды, когда регулирующая плотина по той или иной причине должна была прекратить свое регулирующее воздействие на сток, полностью складываясь на флютбет, наступавшие условия свободного стока из озера вычислялись на основании показанных на

Л. 5 предварительных кривых расхода воды у Новгорода А—для летнего и В—для зимнего режима Волхова.

Летняя кривая А является одной из вероятных предварительных кривых расхода воды гидрометрической станции у д. Завод, отнесенных к Новгородской рейке. Не вполне точный результат, который она дает для отдельных моментов, практически не столь важен, так как по ней определяется преимущественно уровень нижнего бьефа регулирующей плотины, а в отношении режима озера ее применение ограничивается периодами, когда зарегулированный сток по необходимости превышает высшую норму, могущую быть утилизированной Силовой станцией, и избыток сбрасывается без использования. Разность же в суточном дебете при определении секундного расхода с ошибкой в 5 кв. саж./сек. дает ошибку в уровне озера около 0,001 саж.

Зимняя кривая В является также одной из предварительных зимних кривых расхода Заводской гидрометрической станции, отнесенных к Новгородской рейке.

Влияние подпора от плотины Силовой станции.

То обстоятельство, что в обоих кривых не принято во внимание влияние подпора плотины Волховской Силовой станции, компенсируется в значительной степени тем, что результаты годового регулирования стока сравниваются тоже с естественным, а не видоизмененным станцией режимом р. Волхова за все 44 года, подвергнутые исследованию. Дополнительный подпор, вызываемой плотинной Волховской Силовой станции в обоих случаях повлияет замедляюще на сток, но разность количества стока, характеризующая влияние регулирующей плотины, в обоих случаях будет близка.

Значительное расхождение результатов обнаружится в отношении абсолютной высоты уровня озера в период низкой межени и зимой, причем порядок величины этого расхождения можно видеть на примере исследованного в этом отношении пятилетия 1920—1925 г., упомянутого выше.

Величина дополнительного подпора от плотины Силовой станции меняется в связи с величиной расхода воды у станции и оценка ее сравнительной величины при разных расходах воды может быть дана в форме дополнительного подпора, получающегося на гребне Петропавловских порогов, создающих сами по себе главный под-

пор при естественных условиях стока. Эти данные изображены на черт. л. 5.

Влияние бокового притока р. Волхова.

Влияние на сток из озера бокового притока Волхова в расчет не вводилось, вследствие чрезвычайной сложности точного учета этого явления, между тем как самое количество бокового притока, как указано было выше, полностью включено в учет тем, что приток в озеро определен на основании стока не из озера, а у Гостинополя, где включается сток всех боковых притоков р. Волхова. Исключение из учета влияния на сток притоков таким образом может отразиться на некотором изменении полученного хода уровня нижнего бьефа регулирующей плотины, что в данном случае имеет второстепенное значение, и лишь отчасти озера, но это отклонение не может быть значительным ввиду того, что слой воды озера высотой в 0,01 саж. при средних его уровнях равен по объему суточному стоку с расходом около 45 кб. саж./сек., каковой величины боковой приток Волхова достигает редко.

III. Характеристика силового режима Волховской Гидроэлектрической Станции в современных условиях.

Волховская силовая станция сооружена на нормальную мощность 80.000 л. с. на валу турбин, числом десять, из которых восемь—основных, по 10.000 л. с. каждая, с генераторами трехфазного переменного тока напряжением 11.000 в. и две—вспомогательных турбины, по 1.400 л. с. каждая, с генераторами также трехфазного переменного тока, но напряжением 2.200 в. для возбуждения основных турбин и обслуживания местных нужд станции. Турбины—типа Фрэнсиса, с вертикальным валом, рассчитаны на нормальный напор 10,5 м., на число оборотов 75 в мин., что соответствует коэфф. быстроходности $\varphi = 400$, имеют гарантированный фирмами, их изготовившими (Нюдквист и Хольм, Трольгатан и Карлштадские Механич. мастерские, Кристингам) при нормальной нагрузке, отвечающей мощности в 10.000 л. с., коэфф. полезн. действ. 0,86

и потребляют при этом по заводским нормам расход воды по 83 кб. м./сек. каждая ¹⁾).

Для более широкого освещения особенностей работы Волховской силовой станции, в отдельные периоды года, рассмотрим подробнее отдельные факторы влияющие на эффект ее работы.

Напор.

Напор, действующий на Волховской силовой станции, рассматривая его брутто, как разность отметок гор. воды верхнего и нижнего бьефов, принимается обычно во всех силовых расчетах по Волховской станции постоянным в 10,5 мтр. (4,92 саж.). Фактически же он может меняться в пределах от 9,2 до 11,8 мтр.

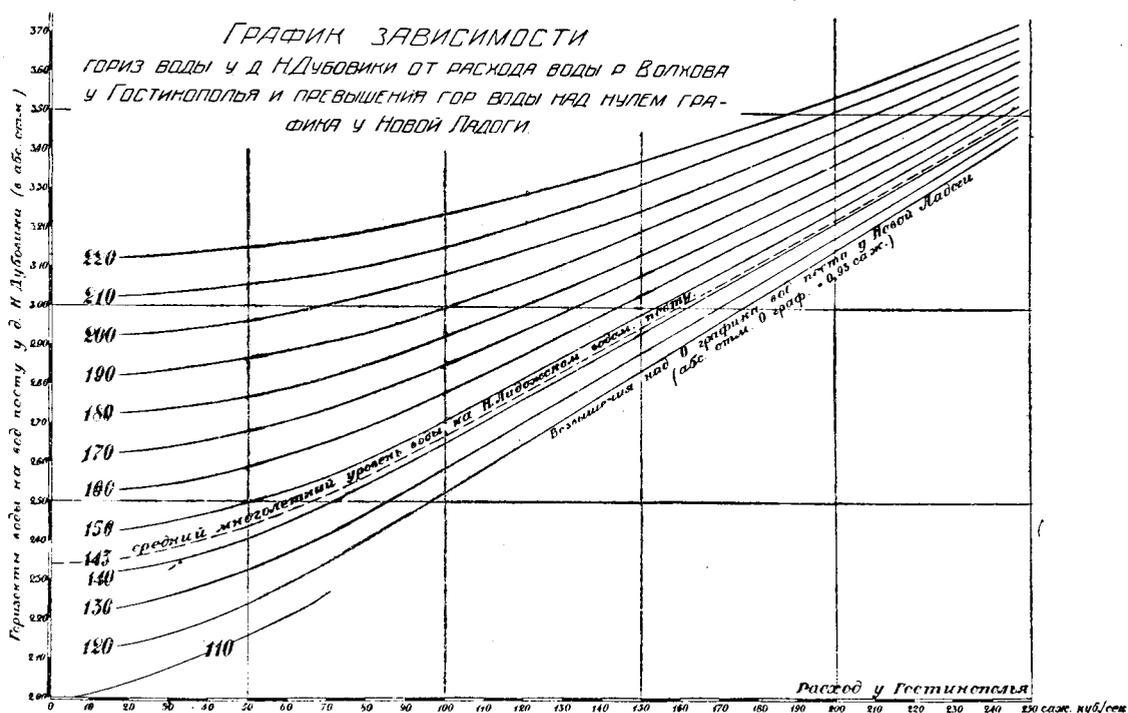
Величина его в разные моменты времени зависит от: а) бытового расхода воды в реке, б) от высоты уровня Ладожского озера, в) от режима управления станцией.

Начиная с последнего, как стоящего вне зависимости от стихийных условий природы, удобно ввести в исследование два крайних положения, охватывающие все возможные промежуточные вероятные в жизненной практике, а именно: 1) режим управления станцией, наивыгоднейший в интересах наиболее полного силового использования станции, при котором весь избыточный расход воды должен сбрасываться через гребень плотины до тех пор, пока высота переливающегося слоя не достигнет предельной допустимой высоты 2 мтр., после чего должны быть открываемы щиты Стоней; 2) режим управления станцией, ставящий своей целью минимальный возможный подпор на протяжении верхнего течения р. Волхова, при котором излишки расхода воды должны выпускаться через отверстия, регулируемые щитами Стоней, с таким расчетом, чтобы уровень верхнего бьефа у плотины поддерживался бы на высоте ее гребня, что может продолжаться до тех пор, пока избыток воды может быть полностью отводим через вышеупомянутые отверстия, а с возрастанием расхода воды выше этого предела, приблизительно при расходе воды в 2.000 кб. м./сек., должен наступить перелив и через гребень плотины.

В периоды, когда бытовой расход воды р. Волхова не превышает предела необходимого для работы станции на полную установленную

¹⁾ Очерк турбин Волховск. сил. станции дан в статье инж. Е. А. Иванова в бюлл. „Как строится Волховская Гидроэлектр. станция“, № 3.

мощность и при равномерной работе станции уровень воды в верхнем бьефе обычно будет держаться вровень с гребнем плотины. Сравнительно значительные уклоны его от этой отметки возможны лишь при применении суточного регулирования, каковой вопрос будет рассмотрен в следующей главе.



Черт. 3.

Уровень нижнего бьефа силовой станции зависит от отметки гор. воды Ладожского озера и от бытового расхода воды р. Волхова у Силовой станции ¹⁾. Закон этой зависимости в форме графика связи уровней у с. Гостинополье и у д. Нижн. Дубовики (нижний бьеф) при разных гор. воды у Новой Ладogi (озеро) был разработан гидрологом В. Н. Лебедевым в Гидролого-Гидрометрической Части Отдела Изысканий Волховского Строительства и служил ему для целей предсказаний высоты ур. в. нижнего бьефа силовой станции ²⁾. Тот же график пересоставленный в форме зависимости

¹⁾ В этом случае подразумевается установившееся или близкое к такому, течение, так как режим уровня нижнего бьефа при резко меняющемся расходе воды в периоды суточного регулирования представляет собой весьма сложную задачу, которую можно будет решить только в будущем путем соответственных наблюдений на станции.

²⁾ Способ построения этого графика изложен В. Н. Лебедевым в выпуске XXIII Мат. Иссл. р. Волх. по методике и результатам предсказаний гидрологического режима р. Волхова.

между отметкой гор. в. нижнего бьефа станции и бытов. расхода воды при разных положениях ур. воды Ладожского озера, фиксируемого по показаниям водом. поста в Новой Ладоге, изображен на черт. 3, на котором линия, отмеченная цифрой 143, соответствует многолетнему среднему уровню воды Ладожского озера с абсолютной отметкой 2,42 саж., каковой и принят во всех дальнейших расчетах.

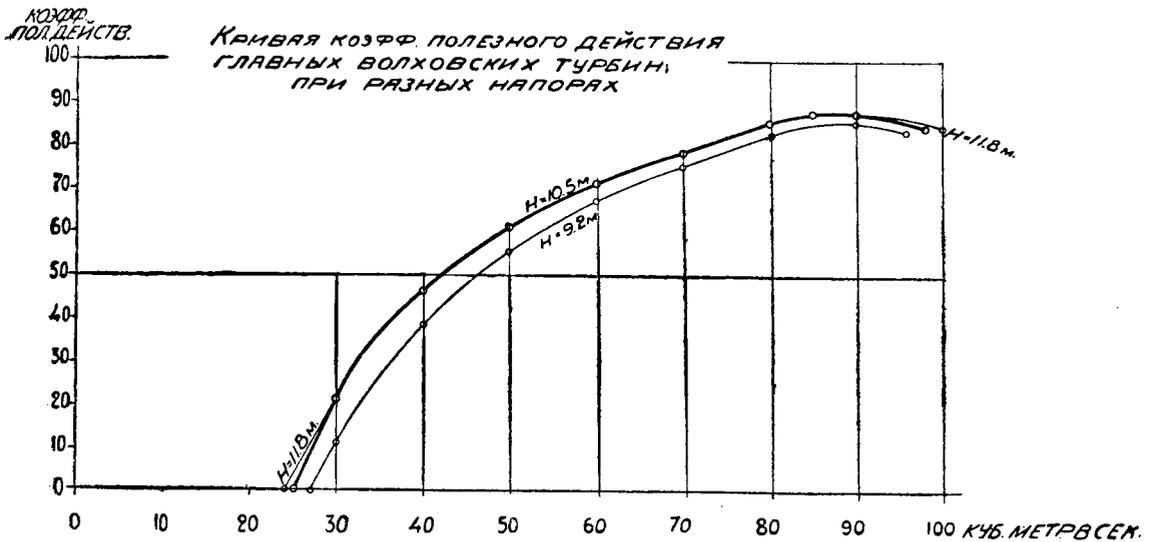
Остановясь на описанном способе учета влияния подпора со стороны Ладожского озера и двух описанных выше режимах управления стоком, зависимость напора от бытового расхода воды в реке может быть представлена кривой НН, изображенная на черт. Л. 14 с двумя расходящимися ветвями, соответствующими двум упомянутым выше крайним способам управления работой станции. Таким образом кривая Н'Н' понижается вследствие повышения отметки г. в. нижнего бьефа по мере возрастания расхода воды в реке, при постоянной отметке г. в. в верхнем бьефе. И, наоборот, резкое начальное повышение кривой НН вызывается более сильным нарастанием г. в. верхнего бьефа по сравнению с нижним при сбросах через гребень плотины избытка расхода воды, сверх утилизируемого станцией и шлюзом. При вычислениях этой кривой коэфф. водослива Волховской плотины принимался переменный по способу, предложенному проф. Н. Н. Павловским для незатопл. водосливов криволинейных профилей (его «Гидр. Справ.» § 59, стр. 56), а коэфф. для отверстий перекрытых щитами Стонея принят = 1,5.

Коэффициент полезного действия турбин.

Наивысший к. п. д турбин, гарантированный фирмами их выполняющими, как уже упомянуто, 0,86 при приблизительно 80% нагрузки. Вообще же его изменение в разных условиях работы турбин дано в заводской кривой, построенной по аргументу—величине открытия направляющих лопаток, и опубликованной в бюлл. № 3 «Как строится Волховск. Гидроэлектр. Станция»¹⁾. На черт. 4 эта кривая пересоставлена в зависимости от потребляемого турбиной расхода воды, причем жирной линией дана кривая для нормального напора 10,5 м., а тонкими линиями—для крайних значений напора 9,2 и 11,8 м.

¹⁾ Статья инж. Е. А. Иванова—„Главные и вспомог. турбины Волховской Гидроэлектр. Станции“.

При одновременной работе нескольких турбин, при равномерном распределении между ними общей нагрузки, и нормальном напоре 10,5 м. коэфф. их полезного действия представлен на Л. 15 семейством кривых, соответствующих числу находящихся в работе турбин при данном расходе воды, потребляемом станцией.



Черт. 4.

Из этого чертежа видно, что при равных прочих условиях число действующих агрегатов обуславливает собой весьма различный эффект в отношении мощности и количества энергии станции. В нижней части графика даны кривые мощностей соответствующие тем же условиям, из которого видно, что резкие переходы в автоматической регулировке агрегатов и колебании расходов воды будут наблюдаться при включении второй и отчасти третьей турбины, а включение дальнейших турбин дает вполне плавный переход в работе станции и потребляемом расходе воды.

В практических расчетах строительства с одной стороны из осторожности, с другой стороны вследствие присоединения к расходу воды, потребляемому станцией, также и расхода воды на шлюзование, который при самой интенсивной работе шлюза не превышает 1 куб. саж./сек., и на фильтрацию, размер которой можно будет определить только в будущем, к. п. д. турбин принят около 0,80, при котором формула определяющая мощность станции на валу турбин получает вид:

$$(8) N = \infty \frac{0.8 \cdot 1000 Q H}{75} = \infty 10,6 Q H$$

где N — мощность в л. с.,
 Q — расх. воды кб. м./сек.,
 H — напор в м.,

а необходимый для создания нормальной мощности $N_0 = 80.000$ л. с. при нормальном напоре $H_0 = 10,5$ с. расход воды составляет:

$$(9) Q_0 = \infty \frac{80.000}{10,6 \cdot 10,5} = \infty 720 \text{ кб. м./сек. (74 кб. с./сек),}$$

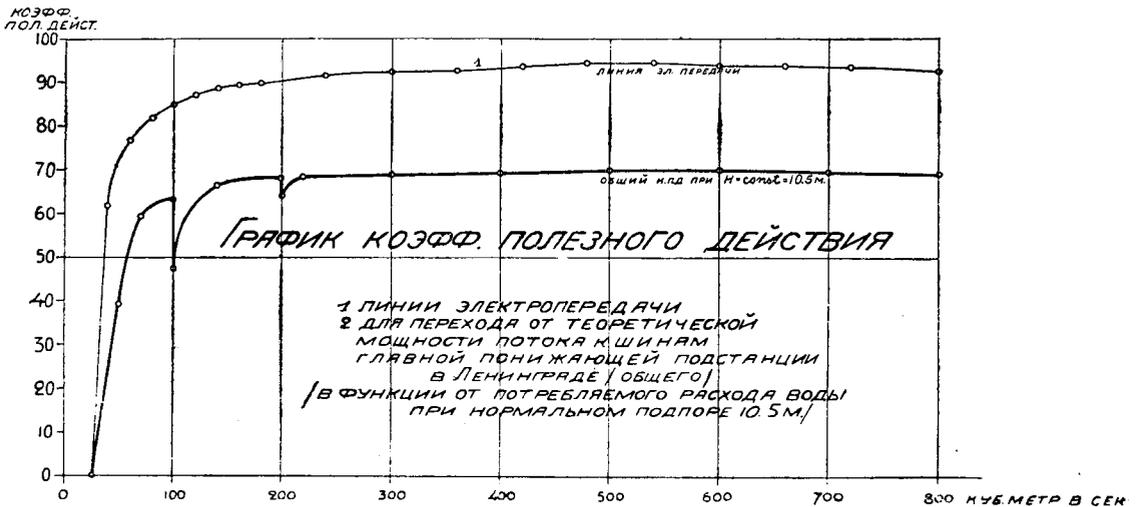
каковой и принят во всех дальнейших расчетах.

Мощность станции на борнах генераторов, при к. п. д. генераторов 0,95, выраженная в квл. может быть определена по формуле:

$$(10) N = 0,95 \cdot 10,6 \cdot Q H \cdot 0,736 = 7,41 Q H \text{ квл.}$$

Коэффициент полезного действия линии электропередачи.

Чтобы определить мощность, которую Волховская силовая станция может обнаруживать в Ленинграде, необходимо ввести в расчет



Черт. 5.

к. п. д. повышательных трансформаторов ($= 0,98$), линии передачи и понизительных трансформаторов. Последние два к. п. д. в объединенном виде представлены верхней кривой на черт. 5. На том же чертеже изображена и кривая общего к. п. д., дающего переход от теоретической мощности потока р. Волхова.

$$N_B = \frac{1.000 \cdot Q H \text{ л. с.}}{75} = 13,33 Q H \text{ л. с. . . . (11)}$$

к мощности на шинах Главной понижающей подстанции в Ленинграде и могущего быть выраженного формулой:

$$\varphi_x = \varphi_T \cdot \varphi_G \cdot \varphi_\Phi \cdot \varphi_\Pi \cdot \dots \cdot \dots \cdot \dots \quad (12)$$

где:

- φ_T — к. п. д. турбин (переменн.),
- φ_G — к. п. д. генераторов = 0,95,
- φ_Φ — к. п. д. трансформ. = 0,98,
- φ_Π — к. п. д. линии передачи и пониж. подстанц. (перем.).

Закон изменения этой величины, отнесенной к расходам воды, потребляемым станцией, изображен в форме кривой 2 на том же черт. 5, при вычислении которой к. п. д. турбин принят по кривой черт. № 4, но не выше 0,80.

Формула мощности Волховской станции.

Нижняя кривая черт. № 5 обнаруживает, что заметное ухудшение условий работы силовой станции наступает с момента, когда потребляемый ею расход воды падает ниже 150 куб. мтр./сек., что позволяет сделать вывод, что при бытовых расходах воды ниже этой нормы целесообразно применять суточное регулирование, с целью передвинуть работу турбин в сторону более высоких к. п. д., о чем будет подробнее сказано в следующей главе. Если же принять, что работа станции с расходом воды ниже 150 куб. мтр./сек. производиться не будет, то, для силовых расчетов, к. п. д. при переходе от теоретической мощности потока к мощности на шинах Главной Понижающей Подстанции в Ленинграде может быть принят постоянным и величина его при к. п. д. турбин—0,80 и линии передачи 0,935 составит:

$$\varphi_x = 0,80 \times 0,95 \times 0,98 \times 0,935 = 0,696 \dots \dots \dots (13)$$

а формула, выражающая мощность в Ленинграде приобретет вид

$$N_x = 13 \cdot 33 \cdot 0,696 \cdot 0,736 QH = \infty 6,8 QH \text{ квл.} \dots \dots (14)$$

подставляя в которую $Q_0 = 720$ куб. мтр./сек. и $H_0 = 10,5$ мтр. находим:

$$N_x = 6,8 \cdot 720 \cdot 10,5 = 51.300 \text{ квл.} \dots \dots \dots (15)$$

Эта величина при колебаниях напора от 9,2 мтр. до 11,8 мтр. может изменяться в пределах от 45.000 до 57.600 квл. Так как

предельные величины напора на Волховской станции встречаются редко, а обычные колебания напора серьезного влияния на работу станции в общем не оказывают, то во всех дальнейших расчетах колебания напора в расчет не принимались, и тогда формула (14) при нормальном расчетном напоре = 10,5 м. приобретает еще более упрощенный вид:

(16) $N_x = 6,8 \cdot 10,5 \cdot Q = 71,2 Q$ клв., где Q —в куб. мтр./сек.
или $N_x = 71,2 \cdot 9,712 Q' = 6,93 Q'$ клв., где Q' —в куб. саж./сек.

В этой последней форме зависимость N_x от Q' принята во всех дальнейших силовых расчетах.

Силовой режим Волховской станции.

Исследования силового режима Волховской станции сводятся таким образом к исследованию режима стока р. Волхова, который в наиболее наглядной форме может быть представлен уже описанными в главе I годовыми графиками расходов воды, изображенными за ряд характерных лет на Л. 8 и Л. 9.

Откладывая до следующей главы разбор вопроса о степени обеспеченности установленной на Волховской Силовой станции мощности в часы максимума нагрузки при перераспределении стока, помощью суточного его регулирования, рассмотрим здесь колебания могущих быть выработанными станцией в разные периоды времени количеств энергии, мерилom которых могут служить средние величины мощности за рассматриваемые периоды.

а) Годовые количества энергии.

Количество электроэнергии за годовой период, приведенное к шинам Главной Понижающей Подстанции в Ленинграде, характеризуется следующими цифрами:

Годовое количество энергии, могущее быть выработанным Волховской станцией при непрерывной работе всеми 8 турбинами—449 милл. клв.-ч.

Годовое количество энергии, которое могло бы быть выработанным в условиях Волховской станции при утилизации полностью всего стока р. Волхова:

в самый многоводный год (календ. 1899 г.)—531 милл. клв.-ч., что составило бы 118% использования устан. мощности; в самый маловодный год (календ. 1921 г.)—206 милл. клв.-ч., что составило бы 46% использования устан. мощности; в

среднем, за 44 летний период с 1881—1924 г.—361,5 милл. квл.-ч., что составило бы 80,5⁰/о использования устан. мощности.

Годовое количество энергии, могущее быть выработанным Волховской станцией в пределах установленной на ней мощности, без годового регулирования стока:

за наиболее благоприятный годовой период (1923—24 год)—406 милл. квл.-ч., что составляет 90,5⁰/о использования устан. мощности; за наименее благоприятный годовой период (1920—21 год)—178 милл. квл.-ч., что составляет 40⁰/о использования устан. мощности; в среднем, за 44 летний период с 1881—1924 г.—282 милл. квл.-ч., что составляет 63⁰/о использования устан. мощности.

Годовые количества энергии, исчисленные для 44 летн. периода с 1881 по 1924 г.г. в их хронологической последовательности приведены на графике.

б) Сезонные количества энергии.

Если годовой период подразделить на две половины по 6 месяцев от момента начала весеннего половодья, назовем их условно летний и зимний периоды, по преобладающей части года, то используемое станцией количество энергии для этих частей года из данных за 44 летний период получают следующие:

		Летний.	Зимний.
В исключит. многоводный.	Колич. энергии в 10 ⁶ квл.-ч.	224,5	202,2
	Коэфф. использ. устан. мощн.	100%	90%
	Год.	1894—95	1923—24
В исключит. маловодный.	Колич. энергии в 10 ⁶ квл.-ч.	139,7	16,9
	Коэфф. использ. устан. мощн.	62,2%	7,5%
	Год.	1921—22	1882—83
В средн. за 44 года.	Колич. энергии в 10 ⁶ квл.-ч.	183,4	99,1
	Коэфф. использ. устан. мощн.	82%	44,1%

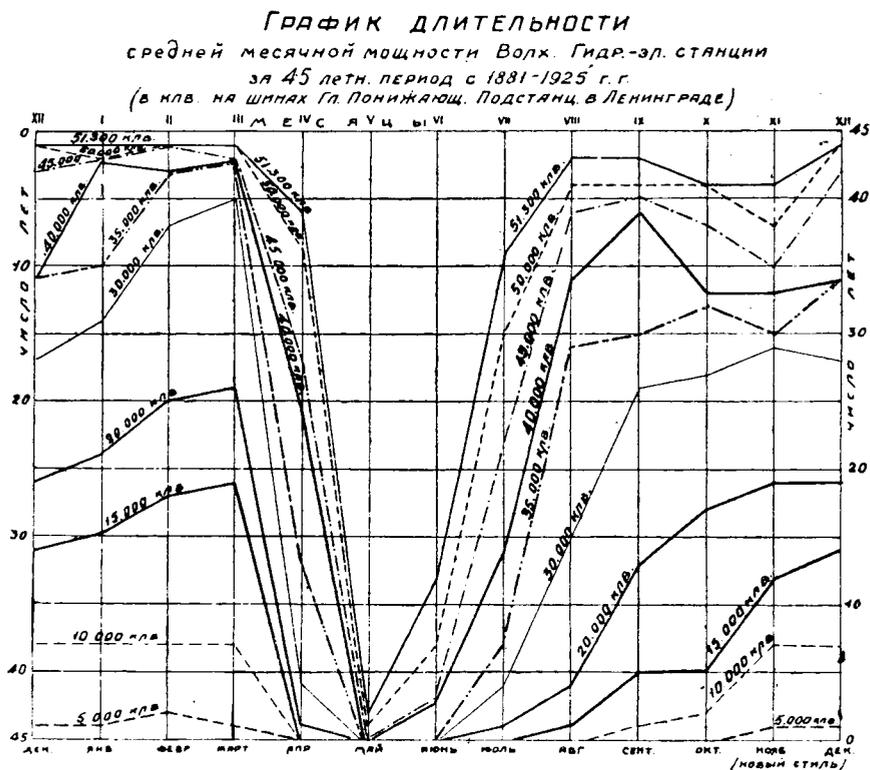
При этом интересно отметить следующие соотношения приведенных величин:

	П е р и о д ы.		
	Годовой.	Летний.	Зимний.
Максим. : миним.	2,28	1,7	12,0
Максим. : средн.	1,44	1,3	2,0
Средн. : миним.	1,58	1,3	6,0

которые показывают, что могущее быть выработанным Волховской станцией количество энергии за летний период и в сумме за год довольно устойчиво (максим. отклон. в первом случае от +30% до -23%, а во втором от +44% до -37% от средней нормы), выработка же энергии за зимний период может обнаруживать значительные колебания (от +100% до -83%), что делает вопрос о годовом регулировании стока Волховской станции довольно существенным.

в) Месячные количества энергии.

Количество энергии, могущее быть полученным от Волховской Силовой станции на шинах низкого напряжения Главной Понижаю-



Черт. 6.

щей Подстанции в Ленинграде в отдельные месяцы года (по нов. стилю), представлено в форме средней месячной мощности на сборном графике длительности, охватывающем 45 летний период с 1881 по 1925 г. (черт. 6). Отдельные кривые графика в пересечении с ординатой данного месяца показывают верхним отрезком ординаты число лет, когда средняя месячная мощность превышала мощность, надписанную над кривой, а нижним, наоборот, число лет с меньшей, чем данная, мощностью.

Наиболее обеспеченными возможностью работы станции на полную установленную мощность являются месяцы май (95 %) и июнь (73 %), но соседние с ними уже дают резкое уменьшение: апрель—13 % и июль—20 % с дальнейшим падением этого процента для остальных месяцев.

Медианное значение достигаемой мощности для каждого месяца, соответствующее срединной линии графика, а также средне-арифметическое значение мощности для каждого месяца из данных за 45 летний период приводится в следующей таблице № 4 в тыс. кв.

Т а б л и ц а № 4.

Мощности в Ленинграде в тыс. кв.	Январь.	Февраль.	Март.	Апрель.	Май.	Июнь.	Июль.	Август.	Сентябрь.	Октябрь.	Ноябрь.	Декабрь.
Медианная	20,6	17,6	17,3	38,8	51,3	51,3	45,1	32,6	27,7	25,0	23,0	24,0
Средн.-аримет.	22,7	19,7	19,4	40,0	51,2	50,4	43,1	33,3	28,2	28,0	26,7	25,0

Средние суточные мощности.

Из средних суточных мощностей особый интерес представляет низший их предел. Для суждения о нем наглядную картину в период маловодной части года—сентябрь по март (включит.) дает вышеописанный (стр. 19) график длительности средних суточных расходов воды, построенный для каждых пяти суток за этот период (Л. 10). Из представленных на этом графике данных видно, что в отдельные критические годы расход воды опускался на протяжении недель в зимний период до величины ниже 5 куб. саж./сек., что соответствует средней суточной мощности в Ленинграде 3.470 кв. или суточной продукции энергии 83.300 кв.-ч. или 1 ч. 37 мин. использования максимума мощности в сутки. Но если принять во внимание изложенные на стр. 20 соображения в пользу того, что минимальная норма расхода воды не упадет ниже 8 куб. саж./сек., то перечисленные цифры суточной силовой характеристики станции соответственно поднимутся до : 5.500 кв., 133.000 кв.-ч. и 2 ч. 36 мин.

IV. Суточное регулирование стока р. Волхова.

В периоды, когда средний за сутки бытовой расход воды р. Волхова будет падать ниже необходимой для работы Волховской станции на полную установленную на ней мощность нормы, составляющей по заводским гарантиям 664 кб. мтр./сек., а по принятому в настоящем труде, равно как и во всех предварительных расчетах Волховского Строительства, более осторожному расчету 720 кб. мтр./сек. (74 саж.³/сек.) может представиться рациональным применить суточное регулирование стока, при котором, пользуясь запасами воды в подпертом участке реки выше силовой станции, возможно поддерживать часть суток с повышенной нагрузкой работу станции с большей мощностью, чем мощность, которая отвечает среднему бытовому расходу воды в реке, ценой того, что во вторую часть суток, с пониженной нагрузкой, работа станции должна протекать с меньшей мощностью или прекращаться совершенно с тем, чтобы перераспределенный таким образом станцией неравномерный сток за сутки был бы равен суточному притоку воды к станции.

Вопрос о применении на Волховской станции суточного регулирования стока может быть подвергнут рассмотрению с трех сторон:

- 1) Насколько необходимым или желательным является применение этой меры.
- 2) Какие явления вызовет применение этой меры в режиме реки.
- 3) Как отразится применение суточного регулирования на работе станции и на условиях судоходства.

В первом отношении главной побудительной причиной к применению суточного регулирования работы электростанции вообще является требование графика нагрузки потребителя, что сохраняет свое полное значение и для Волховской гидростанции.

В такой же мере общим правилом является положение, что гидроэлектрическая низконапорная установка, а также установка стоящая на границе между низконапорной и средненапорной, как Волховская, дают наибольшую продукцию энергии при равномерной

работе, заполняя нижнюю часть графика нагрузки и оставляя покрытие верхней пиковой части графика нагрузки на долю тепловых станций. Причина этого правила кроется в том, что при увеличении расхода воды через турбины сверх бытового в реке, понижается уровень верхнего бьефа, за счет сработки запаса воды в котором происходит усиление работы станции, и одновременно повышается уровень воды нижнего бьефа, соответственно увеличенному расходу, что в обоих случаях ведет к уменьшению рабочего напора на станции и поэтому суточный сток утилизируется станцией при меньшем напоре, чем при ее равномерной в течении суток работе. Влияние это в %-ном отношении различно на разных станциях и зависит, как от емкости верхнего бьефа плотины, так и от пропускной способности реки ниже плотины. Кроме того, это влияние тем больше, чем ниже напор на станции и чем значительнее превышение зарегулированного расхода над бытовым.

Но в условиях работы гидростанций может быть положение, когда применение суточного регулирования может оказаться желательным в целях лучшей утилизации стока, т. е. выработки большего количества энергии. Выше изложенные соображения справедливы лишь для тех условий работы гидростанции, при которых коэффициент полезного действия силовой установки совместно с линией передачи подвергается сравнительно малым изменениям, что на Волховской станции отвечает работе ее при бытовом расходе воды р. Волхова большим 150 кб. мтр./сек. (черт. 5).

Когда же бытовой расход воды на р. Волхове упадет ниже 150 кб. мтр./сек., то при равномерной работе станции, как видно из того же графика (черт. 5), происходит столь значительное уменьшение общего коэффициента полезного действия станции, что потери при этом превосходят те, которые сопутствуют суточному регулированию и применение последнего в связи с этим уже становится выгодным в целях лучшего использования стока.

Для иллюстрации высказанных соображений в таблице № 5 приведены мощности даваемые Волховской станцией в Ленинграде при потреблении ею расходов воды от 20—160 кб. мтр./сек. при среднем напоре 10,75 мтр. и значениях коэфф. полезного действия $\varphi = \varphi_t \cdot \varphi_n \cdot \varphi_r \cdot \varphi_f$ (12), где φ_t — определяется по кривой (черт. 4), а φ_n — по кривой (черт. 5).

Т а б л и ц а № 5.

Расход воды в куб. м/сек.	Напор в м.	Коэффци. полезн. дей- ствия.			Мощность в Ле- нинграде.		Потери мощно- сти ($N_0 - N_0$ кв.	Относительная потери мощн. $100 \frac{N_0 - N_0}{N_0}$.
		Тюр- бины.	Линии передачи.	Общий]	Без сут. регулir. N_0 кв.	При сут. регулir. (N_0) кв.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
20 ¹⁾	10,75	0	0	0	0	1.425	1.425	100%
40 ¹⁾	10,75	0,46	0,62	0,266	1.120	2.850	1.729	61%
60 ¹⁾	10,75	0,71	0,77	0,509	3.220	4.275	1.055	26%
80	10,75	0,80	0,82	0,611	5.150	5.700	550	10%
100	10,75	{ 0,80 ²⁾ 0,60 ³⁾	0,80	{ 0,596 0,444	{ 6.290 4.680	7.125	{ 835 2.445	{ 12% ²⁾ 35% ³⁾
120	10,75	0,72	0,87	0,583	7.390	8.550	1.160	14%
140	10,75	0,79	0,89	0,655	9.670	9.975	305	3%
160	10,75	0,80	0,90	0,670	11.310	11.400	90	1%

Мощность (N_0) в гр. 7 соответствует средней суточной мощности при среднем расчетном $\varphi = 0,696 = \text{const}$ (стр. 45), каковую мощность практически возможно получить, в среднем, за сутки при указанных бытовых расходах воды при применении суточного регулирования стока (если пренебречь потерями напора от колебаний бьефов при суточном регулировании), благодаря тому, что при увеличенных свыше 150 куб. мтр./сек. расходах воды коэфф. полезного действия турбин и линии передачи возрастают до их нормальной устойчивой величины.

Табличные результаты изображены в графической форме на черт. Л. 14 деталь а.

Напор на Волховской станции при суточном регулировании будет падать постепенно и к концу суточной работы станции, при расходах воды в реке меньших 150 куб. мтр./сек. и при зарегулированных не свыше 300—350 куб. мтр./сек., понижение уровня

1) Расходы воды—практически невозможные в условиях Волхова.
 2) При работе одной турбины.
 3) При работе двух турбин.

к концу периода регулирования, как это следует из предварительных, приближенных расчетов, не превзойдет величины 0,5 мтр. (0,24 саж.), что даст в среднем за период работы величину потери напора около 0,3 мтр., а это вызывает уменьшение мощности на $100 \cdot 0,3 : 10,75 = 2,8\%$, вследствие чего во всех случаях, когда потеря от падения величины коэффициента полезного действия при малых расходах воды больше 3%, применение суточного регулирования становится выгодным.

Таким образом приведенный расчет приводит к выводу, что с точки зрения наилучшего использования агрегатов работа станции должна происходить при работе не менее двух турбин при почти полной их нагрузке, когда они поглощают расход 140—180 куб. мтр./сек. При падении нагрузки, а следовательно и расхода воды ниже этого предела, целесообразнее их выключить совершенно, до того момента суток, когда они вновь могут получить полную нагрузку, с тем, чтобы сток реки был бы использован при более высоких коэффициентах полезного действия агрегатов и линии электропередачи.

Суточное регулирование по требованию графика нагрузки. При совместной работе группы разнотипных силовых станций на общую сеть необходимо стремиться к наивыгоднейшей работе всей группы в целом, хотя бы при этом отдельная станция работала бы и не вполне экономично, с точки зрения ее собственных условий.

Общий характер и условия работы диктуются графиком нагрузки потребителя, а распределение работы между станциями диктуется их индивидуальными особенностями и сравнительной экономичностью работы каждой станции в отдельности. Таким образом гидроэлектрической станции, у которой стоимость энергии обуславливается почти исключительно расходами по амортизации и % % на затраченный капитал, а эксплуатационные расходы малы, отводится для работы нижняя часть графика нагрузки. Следующую по высоте часть графика должны покрывать наиболее экономично работающие тепловые станции и, наконец, пиковая часть графика оставляется на долю наименее экономичных станций, которые в этом случае развивая в определенные моменты нужную мощность совершают минимальное количество их дорого обходящейся работы.

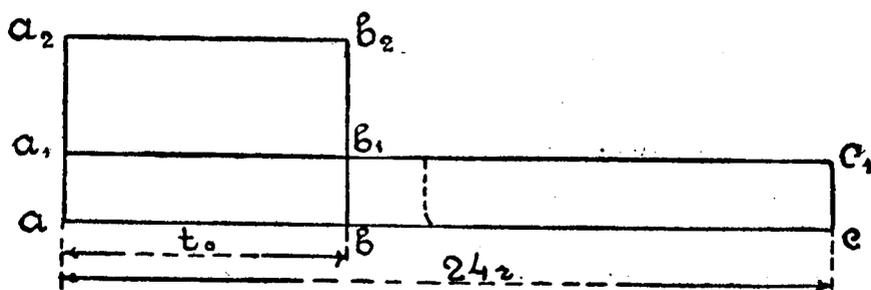
Но от этого общего, принципиально правильного, положения потребуется делать значительное отступление в исключительно маловодные годы на р. Волхове.

Если Волховской станции в этом случае предоставить равномерную работу в нижней части графика, то в часы максимума нагрузки значительная часть установленной на ней мощности, остается неиспользованной. Поэтому, если без этой неиспользуемой мощности покрыть нагрузку объединенных станций в часы максимума нагрузки невозможно, то выходом из положения может быть перемещение работы гидроэлектрической станции в верхнюю часть графика нагрузки с тем, чтобы шире использовать установленную на ней мощность.

В предстоящей эксплуатации Волховской станции такое положение может наступить в маловодные зимы на р. Волхове при отсутствии достаточного парового резерва в Ленинграде, а при полном наличии последнего—в случае внезапной аварии на тепловых электрических станциях, когда может встретиться необходимость использовать в часы максимума нагрузки всю установленную на Волховской Станции мощность, или ту максимальную, которую Волховская станция в состоянии дать при данном расходе воды r Волхова.

Основной данностью, определяющей режим суточного регулирования является график потребителя, форма которого в то же время не вполне определена и зависит от сочетания большого числа факторов. Поэтому рассмотрим сперва вопрос суточного регулирования при простейшей форме графика суточной нагрузки, которая одновременно является и наименее выгоднейшей в отношении падения напора на Станции.

Допуская, согласно черт. листа 14, для Волховской станции линейную зависимость между мощностью станции и потребляемым ею расходом воды, возможно каждый график нагрузки рассматривать, как график потребляемых станцией расходов воды, применяя лишь соответствующий масштаб для ординат графика. Такой график условимся называть графиком питания станции при суточном регулировании. Упомянутому простейшему графику нагрузки будет



Черт. 7.

соответствовать график питания, изображенный на черт. 7, в каком случае весь суточный сток $24 \times 3600 \cdot q$, где q —бытовой расход воды, будет расходоваться в t_0 час. при постоянном зарегулированном расходе воды Q_0 . т. е. можно написать

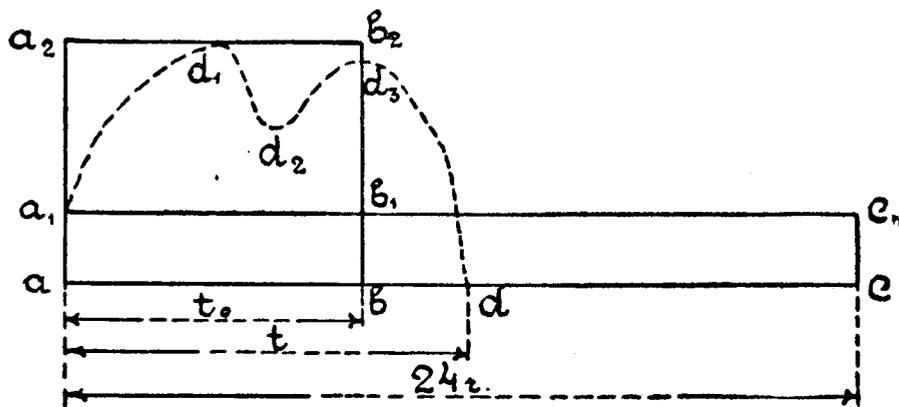
$$(17) \quad 24 q = Q_0 t_0$$

Количество воды, которое при этом необходимо заимствовать из бьефа, назовем его A , равно объему стока $a_1 a_2 b_2 b_1$ или что то же, $b b_1 c_1 c$ и выразится уравнением

$$(18) \quad A = (Q_0 - q) t_0 = (24 - t_0) q$$

откуда следует, что величина A уменьшается с увеличением t_0 при прочих равных условиях.

Отсюда легко притти к упомянутому выше указанию, что рассмотренный простейший график питания потребует максимального A , по сравнению со всяким другим графиком, наибольшая ордината которого не превышает Q_0 , так как в случае простейшего графика t_0 является минимальным, что следует из чертежа № 8, на котором площади $a a_2 b_2 b$, $a a_1 c_1 c$ и $a a_1 d_1 d_2 d_3 d$ равны между собою.



Черт. 8

При предельном возможном значении Q_0 , соответствующем максимальной возможной мощности на станции, что для Волховской Станции равняется 720 кв. мтр./сек., t_0 становится наименьшим, а следовательно, позаимствованный из бьефа объем A —наибольшим возможным при данном бытовом расходе воды q .

Объем воды A , который при суточном регулировании на Волховской Станции по такому простейшему графику нагрузки будет заимствоваться из бьефа при разных бытовых расходах воды в реке приведен в таблице № 8, и изображен графически на черт. № 9.

Т а б л и ц а № 8

заимствуемых при суточном регулировании объемов воды в 10^3 куб. саж. из верхнего бьефа станции и числа часов работы станции.

Бытовой расход воды в реке в куб. с./сек.	Зарегулированный расход воды в куб. с./сек.						
	20	30	40	50	60	70	74
10	$\frac{432}{12}$	$\frac{576}{8}$	$\frac{648}{6}$	$\frac{691}{4,8}$	$\frac{720}{4}$	$\frac{740}{3,43}$	$\frac{747}{3,24}$
20	—	$\frac{578}{16}$	$\frac{864}{12}$	$\frac{1.037}{9,6}$	$\frac{1.152}{8}$	$\frac{1.235}{6,35}$	$\frac{1.260}{6,5}$
30	—	—	$\frac{647}{18}$	$\frac{1.037}{14,4}$	$\frac{1.300}{12}$	$\frac{1.480}{10,3}$	$\frac{1.540}{9,75}$
40	—	—	—	$\frac{696}{19,2}$	$\frac{1.152}{16}$	$\frac{1.486}{13,7}$	$\frac{1.586}{13}$
50	—	—	—	—	$\frac{720}{20}$	$\frac{1.240}{17,1}$	$\frac{1.400}{16,2}$
60	—	—	—	—	—	$\frac{734}{20,6}$	$\frac{974}{19,5}$

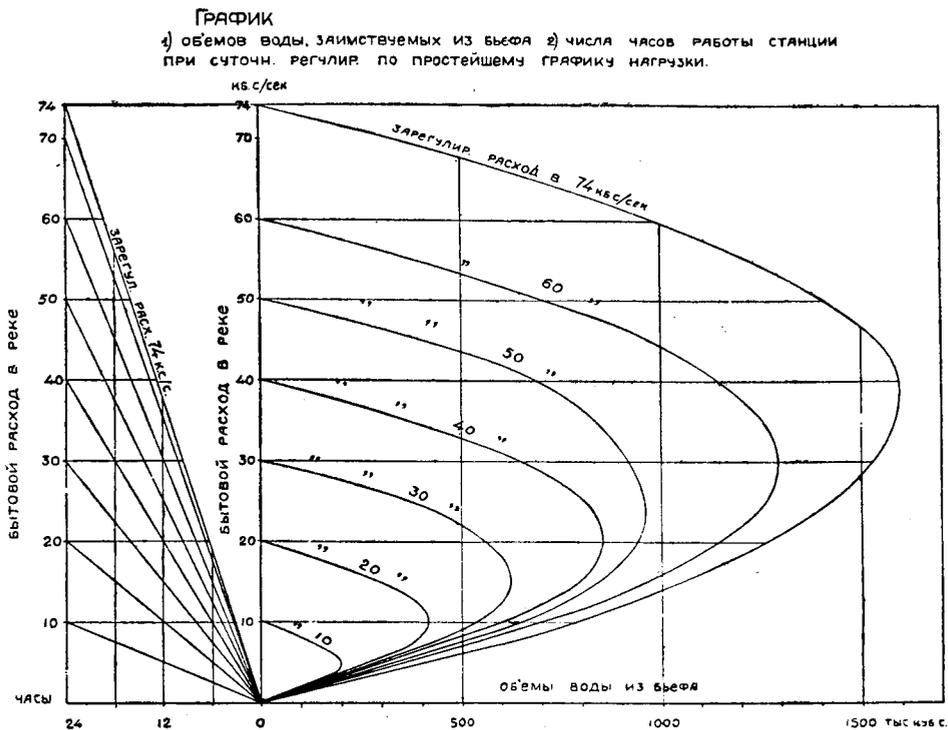
Примечание. В числителе показан объем заимствуемой из бьефа воды в тыс. куб. саж., в знаменателе число часов работы станции.

Кривые этого графика (черт. № 9) позволяют сделать следующие выводы:

1) Наибольшее позаимствование воды из бьефа происходит при работе станции на полную установленную на ней мощность с расходом воды 74 кб. саж./сек.

2) Наибольшее позаимствование воды из бьефа при данном зарегулированном расходе воды имеет место при бытовом расходе воды, вдвое меньшем зарегулированного.

3) Наибольшее возможное позаимствование воды из бьефа р. Волхова при суточном регулировании не может превышать кругло 1.600.000 кб. саж., и эта норма может иметь место лишь при бытовых расходах воды в 35—40 кб. саж./сек.



Черт. № 9.

Графики суточной нагрузки Ленинграда ожидаемые на ближайшее пятилетие 1925—1931 г., разработанные комиссией из представителей Волховстроя и Электротокма (ВСЭТ) летом 1925 г. в форме графиков суточной нагрузки для наименее загруженного летнего дня (июнь) и наиболее загруженного зимнего дня (декабрь) изображены на черт. 10. (См. стр. 59).

В какой мере эти графики нагрузки, характер которых очень устойчив на протяжении пятилетия, меняют результат полученный при разборе простейшего графика нагрузки, можно видеть из таблицы № 9 (см. стр. 58), в которой приведены число часов работы и объемы необходимой к позаимствованию из бьефа воды при суточном регулировании работы Волховской Станции по зимнему графику 1929 г. с соблюдением условия обеспечения наибольшей возможной мощности в часы максимума нагрузки по пиковой части графика.

Тот же график нагрузки 1929 г., как средний для второй половины рассматриваемого пятилетия, введен и в дальнейшие расчеты по годовому регулированию стока, где необходимо было принять во внимание влияние суточного регулирования на работу

Т а б л и ц а № 9.

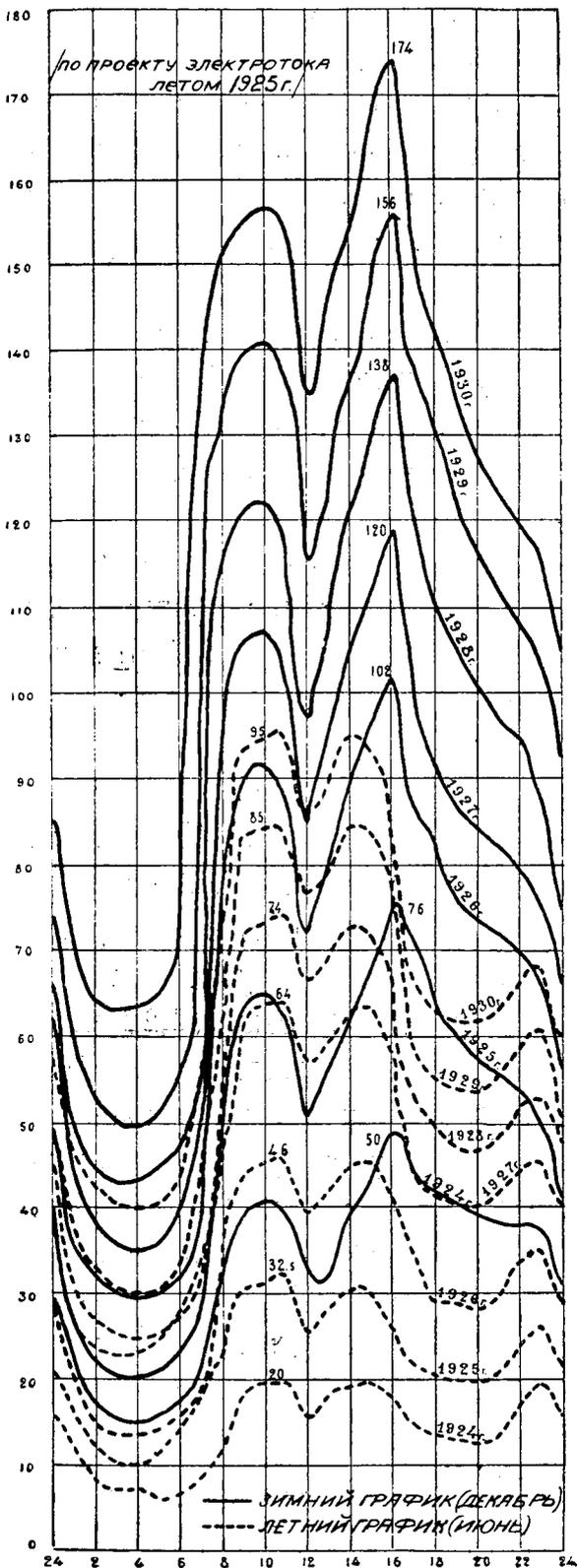
	Бытовой расход воды в реке в куб. с./сек.						
	10	20	23	30	40	50	60
Наивысший предел мощности станции на валу турбин в часы максим. нагрузки в тыс. лощ. сил .	54,6	75,2	80	80	80	80	80
Максимум расхода воды в период регулирования . .	50,5	69,5	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0
Число часов работы станции в сутки	12,0	14,0	15,0	21,6	24,0	24,0	24,0
Объем заимствов. из бьефа воды в тыс. куб. саж. . .	519	804	864	605	346	147	44

Волховской станции; поэтому, для облегчения пользования им построены интегральные кривые для этого графика нагрузки (черт. № 11 кривые AA и A_1A_1), абсциссы которых выражают среднюю суточную мощность станции, при которой суточное количество энергии равно велико количеству энергии, вырабатываемому станцией при изменении ее мощности по верхней части рассматриваемого графика нагрузки, отсеченной на высоте данной ординаты. Показанные на том же чертеже кривые BB и B_1B_1 величиной своих абсцисс дают для той же ординаты соответствующий средний за сутки секундный расход воды, при котором возможно осуществление суточного регулирования согласно отсеченной верхней части графика, а кривые BB и B_1B_1 изображают средний расход воды в период работы станции при применении суточного регулирования по той же отсеченной верхней части графика.

Условия ограничивающие применение суточного регулирования. Если производить суточное регулирование, отказавшись от условия дать максимальную возможную мощность в часы максимума нагрузки, то количество воды заимствуемое из бьефа потребуется соответственно меньше.

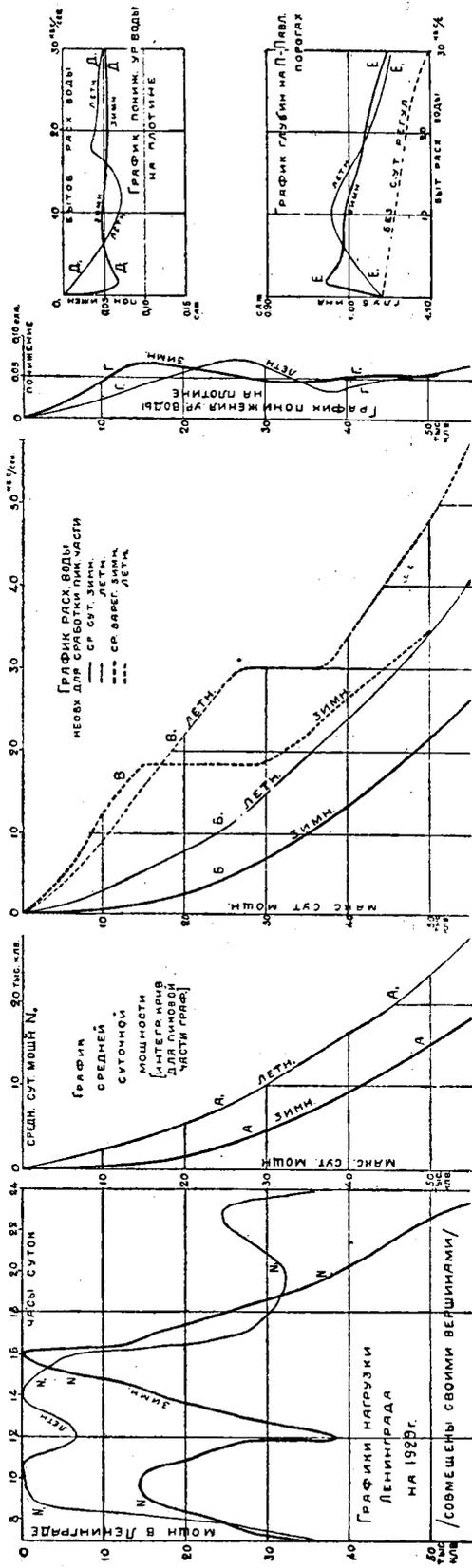
Такое положение дела может иметь место в течение всего навигационного периода. Летний суточный максимум нагрузки Ленинграда, как видно из графика л. 17, ниже соответственного максимума

ГРАФИКИ СУТОЧНОЙ НАГРУЗКИ
г. ЛЕНИНГРАДА
ОЖИДАЕМЫЕ НА ПЕРИОД 1924-1930г.



Черт. 10

Графики к вопросу об уменьшении глубин на ПП. порогах при суточн. регулировании



Черт. 11.

предшествующей зимы, поэтому каждое лето общая мощность обслуживающих Ленинградское электроснабжение станций будет иметь избыточную неиспользованную мощность, которая к концу ближайшего пятилетия даже превзойдет полную мощность Волховской станции. Это обстоятельство позволит даже в случае маловодных лет отказаться от намерения поручать Волховской станции в часы максимума нагрузки работу с наибольшей возможной мощностью, а тем самым избежать необходимости применять летом суточное регулирование и связанных с ним понижений уровня в верхнем бьефе плотины.

Применение суточного регулирования в заданных размерах на Волховской станции ограничено двумя условиями: 1) не превосходить предельной допустимой величины понижения уровня воды на плотине; 2) не вызывать чрезмерных уменьшений глубины и увеличения скоростей течения на Петропавловских порогах.

В первом отношении Волховское Строительство признало необходимым считать за предельное допустимое снижение уровня воды на плотине—один метр ниже ее гребня, т. е. до абсолютной отметки 14,77 мтр. (6,92 саж.). Это условие является теперь обязательным по конструктивным условиям станции.

Определенной нормы в отношении минимальной допустимой глубины на Петропавловских порогах не установлено. Пороги эти как до сооружения, так и после сооружения Волховской силовой, станции остаются нормирующим глубину участком на всем протяжении р. Волхова выше плотины, имея в новых условиях при расходах ниже 30 кв. саж./сек. глубину в 1,04 саж. (2,22 мтр.) если уровень на плотине поддерживается на высоте ее гребня.

Ниже силовой станции нормирующим глубину перекатом является перекаат в 6 верстах от Ладожского озера у «Глубокого ручья» с песчаным ложем, перемываемым из года в год. Отметка его перевала, по съемке 1922 года, составляла 0,94 саж., а по повторной съемке 1925 года определилась в 1,02 саж. Глубина на этом перекаате почти не зависит от величины расхода воды на р. Волхове, а только от высоты уровня воды на Ладожском озере, и поэтому возможный минимальный предел этой глубины может опускаться до величины 0,78 саж., которая соответствует наинизшему уровню Ладожского озера за время свободное ото льда, на отметке 1,80 саж. или при 0,87 саж. над 0 графика водомерного поста в Н. Ладоге (20 октября 1921 г.).

Многолетний средний уровень Ладожского озера определяется отметкой 2,36 саж. или возвышением в 1,43 саж. над 0 графика водомерного поста в Н. Ладого. Глубина на перекате при этом уровне 1,34—1,42 саж. и в этом случае нормирующим глубину участком являются уже Петропавловские пороги на всем протяжении р. Волхова.

Глубина на Петропавловских порогах при разных расходах воды р. Волхова до и после сооружения Волховской Станции показана на чертеже 11.

Суточное регулирование вызовет уменьшение этих глубин с одновременным увеличением скоростей течения в пределах порожистого участка, но оба эти явления будут продолжаться только некоторую часть суток, при этом непрерывно меняясь по величине. Пределы допустимых размеров этих явлений находятся в зависимости от интенсивности судоходства и подлежат в конечном итоге установлению в особой комиссии из представителей заинтересованных ведомств, после того, как будет собран достаточно точный опытный материал для характеристики размера и режима этого явления.

Теоретические методы расчета. Теоретические исследования до сих пор не привели к решению, охватывающему все стороны явления неустановившегося движения потока, которое возникает при применении суточного регулирования на силовой установке вообще, а особенно при столь длинном бьефе, как на р. Волхове, включающем притом два порожистых участка по своей длине.

Вопрос о колебаниях уровня воды в длинных бьефах при регулировании разобран весьма подробно проф. И. В. Егизаровым ¹⁾, широко использовавшим новейшие научные достижения в этом вопросе, сделавшим обзор ранее предложенных методов и предложившим собственный метод решения вопроса, применив его и к условиям Волховской установки. Но и его метод, является в этом вопросе приближенным решением, практическая пригодность которого может быть оценена только после проверки его на опыте.

Сущность его метода, являющегося наиболее казалось бы пригодным из всех остальных в условиях р. Волхова, сводится к следующему.

¹⁾ В его статье „Метод определения колебаний уровня воды в длинных бьефах при регулировании“. Извест. Научн. Мелиор. Инст. Вып. 7.

Продольный профиль реки в период регулирования, назовем его мгновенным продольным профилем, предположен сохраняющим в каждый момент времени форму кривой подпора или спада и таким образом явление колебания уровня на всем протяжении реки представляется в виде непрерывной смены кривых этого рода, соответствующих определенным, постоянным по всей длине реки расходам воды.

Возмущение в верхнем бьефе, которое вызывается увеличением расхода воды на силовой станции сверх бытового, предположено распространяющимся вверх по реке со скоростью

$$(19) \quad \omega = \sqrt{gH}$$

где $g = 9,81$ мтр./сек.²

H — средняя глубина русла.

Эта формула представляет собой несколько упрощенный вид такой же формулы, полученной аналитическим исследованием вопроса о скорости распространения возмущения в открытом русле Бусинеком и совпадает с тем, что дал Лагранж для случая, когда в канале отсутствует течение.

Кроме того, в таком виде она получила очень близкое подтверждение на опытах, произведенных рядом исследователей, как Базен, Скотт-Руссель, Шоклич и др.

Скорость распространения возмущения в условиях реки Волхова выразится согласно этой формулы величинами, представленными в таблице № 10.

Т а б л и ц а № 10.

Время от начала регулирования в час.	1	2	3	4	5	6	7	8
Длина распространения возмущения от плотины в км. . .	27,6	51,1	74,2	97,5	121,0	145	169	193

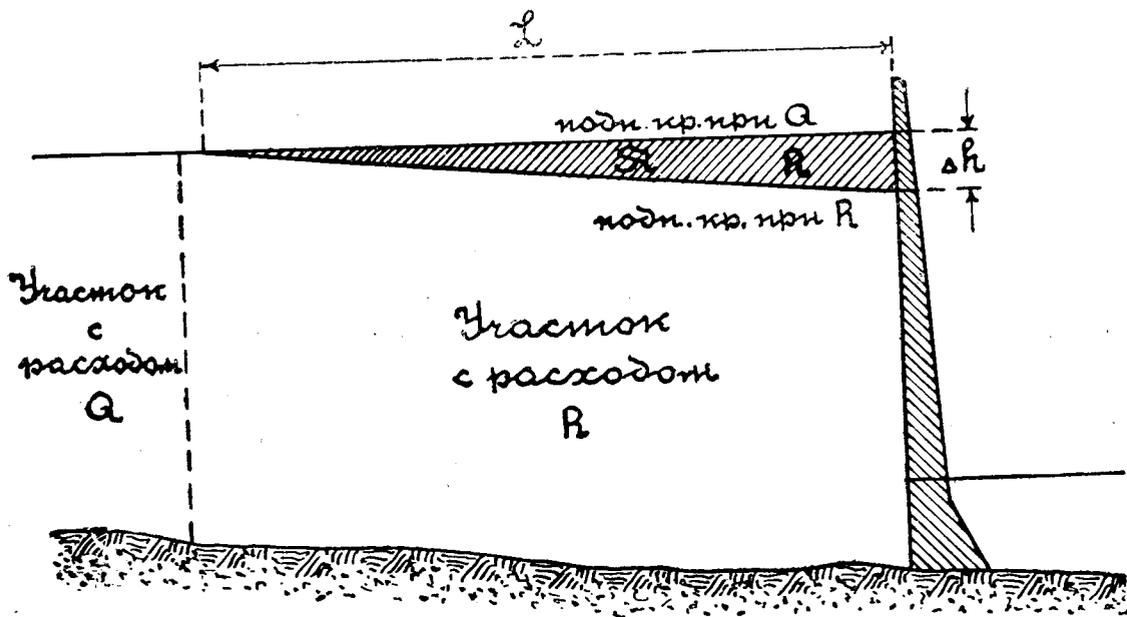
В силу принципа неразрывности массы для произвольно взятого участка реки вверх от плотины, количество воды излишне слитой на плотине за некоторый промежуток времени сверх того, что притекает в верхнем конце участка должно быть равно уменьшению водного объема русла на том же участке на величину этого излишне слитого объема воды. Пуская станция, работавшая с постоянным расходом воды, равным естественному притоку Q куб. м./сек., вдруг

перейдет к работе с повышенным расходом воды R куб. м./сек., тогда через t_0 час, из верхнего бьефа будет слит избыточный объем воды.

$$(20) \quad A = (R - Q), 3600 t_0 \text{ куб. мтр.},$$

который будет заимствован из участка верхнего бьефа, на протяжении которого успело распространиться возмущение, созданное нарушением установившегося до того равномерного течения реки, соответствовавшего постоянному расходу воды.

Если по предложению проф. Егiazарова, при протекании этого явления мгновенный продольный профиль полагать имеющим в каждый момент времени форму кривой подпора, то можно подобрать такой расход воды $R' > Q$ и такое понижение горизонта воды на плотине Δh (черт. 12), при которых кривая подпора пере-



Черт. 12

сечет начальный уровень в расстоянии от плотины $L = t_0 \sqrt{gH}$, на которое распространится созданное в бьефе возмущение и при этом ограничит с первоначальным уровнем объем воды бьефа равный A излишне слитому за время t_0 .

Для упрощения технической стороны решения этого вопроса проф. Егiazаров рекомендует построение вспомогательного графика, изображенного на черт. лист. 16.

На обеих сторонах графика каждая кривая относится к постоянному расходу воды промежуточному между начальным расходом воды, соответствующим начальному продольному профилю реки и расходом максимальным возможным при регулировании.

Подпорная кривая при выбранном промежуточном расходе воды, построенная от точки на Δh ниже гребня плотины, где то пересечет начальный уровень (черт. 12). Определив для каждой такой кривой расстояние от плотины до ее точки пересечения с начальным уровнем и объем русла A заключенный между данной и начальной* поверхностью уровня, откладываем эти две величины в форме абсцисса при данной ординате Δh на разные стороны от вертикальной оси на графике. Произведя такое исчисление для ряда начальных уровней на плотине при одном и том же расходе получаем в форме кривых зависимость L и A от отметки начального уровня на плотине для данного расхода воды. Повторив те же вычисления для других значений расхода воды можем построить два показанных на черт. л. 17 семейства кривых, отличающиеся внутри себя по величине расхода воды, причем для малых расходов воды обе группы кривых имеют более пологое очертание, а для более значительных расходов воды—более крутое очертание. Имея такой вспомогательный график и определенные из заданного графика регулирования величины A избыточно слитой воды на станции за время можем определить длину L , на которую за это время распространится возмущение в бьефе и затем подобрать на вспомогательном графике такое положение начального уровня на плотине и расход воды, при которых, как объем A , так и длина распространения возмущения L удовлетворяют заданным. Найденное положение начального уровня и определит собой искомое понижение уровня воды на плотине.

В нижеследующей таблице № 11 приводим заимствованные из труда проф. Егiazарова окончательные цифры понижения на плотине, вычисленные им для р. Волхова по предложенному им методу при бытовом расходе воды в реке 100 мтр.³/сек., при однообразных зарегулированных расходах воды в 300, 500, 800, 1000 и 1500 мтр.³/сек. и при начальном горизонте воды на плотине на отметке 7,72 саж. 1).

1) Отметка гребня плотины 7,72 саж. принята проф. Егiazаровым по первоначальным нивелировочным данным (материалы инж. П а л и ц ы н а). В результате более точной нивелировки и увязки высотных данных Отделом Изысканий Волховского Строительства тот же уровень гребня плотины имеет отметку 7,39 саж. над уровнем Балт. моря.

Т а б л и ц а № 11.

Зарегулир. расх. воды в м ³ /с.	Время от на- чала регул- ров. в час.	Длина рас- пространен. возмущен. в вер.	Объем из- бытка стока 10 ⁶ м ³ .	Отметка гор- воды на пло- тине в саж.	Понижение гор. воды на плотине в м
300	5	115	3,60	7,55	0,36
500	4	92	5,76	7,49	0,49
800	3	65	7,56	7,36	0,77

Повторение расчета по тому же методу для бытового расхода воды в 14 кв. саж./сек. при однообразных зарегулированных расходах воды в 28,42 и 56 кв. с./сек. при начальной отметке горизонта воды на плотине на 7,39 саж. 1) дало результаты приведенные в следующей таблице № 12.

Т а б л и ц а № 12.

Зарегулир. расх. воды в куб. саж/сек.	Время от на- чала регул. в час.	Средн. расх. в. по моногр. в куб. с/сек.	Длина распр. возмущ. в клм.	Объем из- бытка стока в 10 ⁶ куб. с	Отм. г. воды на плот. в саж.	Понижение г. в. на пло- тине в метр.	Глубина Пе- тропавловск. порог. в саж.
28	12	18,0	197,5 (до озера)	0,302	7,230	0,34	0,93
42	8	22,0	„	0,403	7,145	0,52	0,80
56	6	22,5	145,0	0,605	7,090	0,64	0,74

Из других возможных приближенных методов определения понижения уровня воды на плотине при регулировании заслуживает упоминания по своей простоте и вместе с тем достаточной обоснованности, чтобы уделить ему внимание, метод предложенный в том же труде проф. И. В. Егiazаровым 2) и основанный на согласовании полученных им результатов по его методу для прямоугольного канала постоянного сечения с теоретическими исследованиями Ritter'a 3) по теории отрицательной волны при разрыве плотины.

2) См. выноску на стр. 61.

3) A. Ritter. „Fortpflanzung der Wasserwellen“ Z. V. D. J. 1892. II. 947.

Отсылая в отношении вывода результирующей формулы к упомянутому труду проф. Егизарова, приводим здесь только ее конечный вид, рекомендуемый для практического пользования в случаях относительно малых понижений бьефа на плотине.

Понижение горизонта воды в верхнем бьефе плотины, по этому методу, через t час принимается равным удвоенному отношению объема A избыточного стока за время t к площади водного зеркала верхнего бьефа $b_{ср. L}$, взятого на таком протяжении L от плотины, на которое за время t распространится возмущение, при скорости распространения последнего, исчисляемой по упрощенной формуле $\omega = \sqrt{g \cdot H_{ср.}}$, где $g = 9,81$ м./с.², а $H_{ср.}$ — средняя глубина бьефа на длине L

$$(21) \quad \Delta h = 2 \frac{A}{F} = \frac{2A}{b_{ср.} L} = \frac{2A}{b_{ср.} t_0 \sqrt{g \cdot H_{ср.}}}$$

Результаты применения этой формулы для суточного регулирования по простейшему графику нагрузки в форме однообразного зарегулированного расхода воды (I) (черт. 7) и по графику нагрузки, ожидаемому зимой 1929 г. (II) (черт. 8) при бытовых расходах воды в реке в 14 и 30 кв. с./сек. приведены в нижеследующей таблице № 13.

Т а б л и ц а № 13.

Бытовой расход воды в куб. с./сек.	Макс. зарег. расх. воды куб. с./сек.	Продолж. ре- гулир. час.	Объем из- бытка стока 10 ³ куб. саж.	Расст. рас- простр. воз- мущ. в верст.	Площ. водн. зеркала в кв. верстах.	Понижение уровня воды на плотине.	
						Саж.	Метр.
График нагрузки I (черт. 7).							
14	60	5,6	927,0	131	28,0	0,264	0,56
30	60	12,0	1.298,0	185	49,4	0,210	0,45
График нагрузки II (черт. 8).							
14	59,5	13,0	648,0	185	39,6	0,131	0,28
30	74,0	21,6	657,0	185	49,4	0,107	0,23

Наконец, может быть предложен следующий способ, опирающийся на методику изучения режима неустановившегося движения речного потока, предложенную Инж. Н. М. Бернадским¹⁾.

¹⁾ В его брошюре „Общая схема графической речной гидравлики“, изд. Рос. Гидр. Инст. 1925 г.

Способ является также приближенным, но ближе подходит к природе явления и вытекает из нижеприводимых соображений.

Вопросы о наибольшей величине, на которую может понизиться уровень воды на плотине при применении суточного регулирования по тому или иному графику нагрузки сводится главным образом к тому, чтобы определить форму мгновенного продольного профиля в тот крайний момент времени, до которого будет продолжаться опускание уровня воды на плотине.

Одним из вполне определенных условий, характеризующих положение этого уровня в рассматриваемый момент времени, является объем русла, который должен заключаться между искомым положением уровня и первоначальным, заданным. Величину этого объема легко определить по заданному графику нагрузки.

Вторым условием достаточно точно выясненным наукой в настоящее время, является скорость распространения возмущения возникающего в бьефе при резком изменении расхода воды на станции. По этой данности можно определить в заданный момент времени границы, в которых на реке возникает неустановившееся течение и перемещение уровня, вызванное изменением стока.

Далее, форма мгновенного продольного профиля реки на всем протяжении должна быть подчинена двум основным законам динамики потока: закону неразрывности массы и закону равновесия.

Закон неразрывности водной массы при установившемся течении приводит к равенству $Q = \text{const}$, а при неустановившемся течении, когда Q — переменный на данном протяжении реки, в силу этого закона, должно быть соблюдено следующее условие.

Если выделить некоторый участок реки между двумя поперечными профилями, то разность количеств воды протекшей через эти два профиля за какой то период времени должна быть равна изменению объема русла между этими профилями за тот же промежуток времени.

Первое из вышеупомянутых условий является применением этого закона к обоим концевым сечениям участка верхнего бьефа, охваченного возмущением.

Закон равновесия при установившемся неравномерном течении выражается формулой:

$$(22) \quad i = \frac{Q^2}{\omega^2 c^2 R} + \frac{\alpha}{2g} \cdot \frac{dv^2}{dx}$$

При больших глубинах подпертого бьефа и малых расходах воды, при которых только и может возникать вопрос о суточном

регулировании, второй член формулы дает ничтожно малые значения по сравнению с первым.

Почти то же положение сохраняется и при возникновении неустановившегося движения в тех пределах, которые вызовет суточное регулирование на Волховской станции, исключая первый момент времени у самой станции, когда при сильной разнице в расходе воды возможны местные более резкие понижения уровня и возникновение отрицательной волны.

Поэтому для приближенных вычислений можно откинуть второй член формулы (22), после чего легко построить для любого выбранного участка реки график зависимости между уклоном и расходом воды на этом участке, при постоянном значении R и C , соответствующих установившемуся движению при заданном начальном бытовом расходе воды в реке. Такой график оказалось достаточным построить для участков р. Волхова, длиной по 4 км. вверх от плотины.

Ход решения задачи по построению мгновенного уровня для момента времени через t часов после начала регулирования был применен следующий.

Определяем, начиная от плотины, длину участка на которую распространится возмущение и задаемся какой то кривой изменения расхода воды на этом протяжении от заданного по графику нагрузки у плотины до бытового в конце участка.

Из кривой определяем для каждого 4 км. участка реки средний расход воды и по нему находим приращение падения на этом участке. Суммируя эти приращения падения всех участков на протяжении охваченного возмущением бьефа, находим величину понижения на плотине и среднее перемещение уровня на каждом 4 км. участке. Если бы намеченный нами закон изменения расхода воды по длине участка оказался верным, то было бы уже удовлетворено и условие равновесия потока, так как взятые уклоны участков подчинены нами этому закону (упрощение выразилось лишь в том, что 1) ω , R и C приняты неизменными на протяжении каждого участка, 2) откинут второй член в формуле (22) и 3) скорость распространения возмущения определена без учета скорости течения. Поэтому полученную форму мгновенного уровня необходимо проверить в отношении соблюдения закона неразрывности массы, как для участка в целом, так и для каждой его части.

Произведенное описанным способом определение величины понижения уровня у плотины дало к концу 8 часа понижение на 0,72 мтр. при условии бытового расхода воды 136 кв. м./сек. и при регулировании по графику нагрузки с однообразным зарегулированным расходом воды в 400 кв. м./сек. Та же величина в близких условиях получилась: при определении ее по форм. (21)— 0,56 мтр., а по методу проф. Егiazарова—0,52 мтр.

Оставляя в стороне рассмотрение расходимости результатов последнего метода с методом определения понижения по форм. (21), как грубо приближенным, остановимся несколько подробнее на причинах расходимости с методом проф. Егiazарова, в котором разница с последним описанным методом заключается в двух отношениях: 1) условия равновесия участка реки через t час после регулирования приняты им по подпорной кривой соответственно какому то среднему расходу, постоянному по всей длине участка, делающему в конечной точке участка внезапный переход к постоянному бытовому расходу воды, в то время как в последнем случае изменение расхода воды предположено по плавной кривой. Благодаря этой разнице изменение падений по методу проф. Егiazарова в ближайших от плотины пунктах получается меньше, в отдаленных пунктах получается больше чем в действительности, а это предрешает в большой степени участие в питании станции более отдаленных участков бьефа и, следовательно, меньшее понижение уровня воды на плотине; 2) условие неразрывности водной массы в первом методе соблюдено лишь для концевых сечений охваченного возмущением верхнего бьефа реки, в то время как в последнем методе оно удовлетворяется на всем протяжении участка.

Последний метод получил оформление незадолго до конца работ и не мог быть широко применен к исследованию вопроса о суточном регулировании р. Волхова ¹⁾.

Положение вопроса о наибольшем снижении уровня воды на плотине при суточном регулировании в том виде, в каком он находится в настоящее время, позволяет сделать заключение, что суточное регулирование на Волховской станции, вообще говоря,

¹⁾ Более подробное изложение аналогичного метода расчета суточного регулирования р. Волхова дано инициатором такого подхода к решению этого вопроса инж. Н. М. Бернадским в вып. XVII Мат. по иссл. р. Волх. „Теория и расчет речного паводка в применении к суточн. регулир. р. Волхова“.

возможно, но при очень резких его формах и крайних пределах применения понижения уровня на плотине может превосходить допустимый предел понижения 1 мтр.

Поэтому после начала работы станции этот вопрос подлежит дальнейшему исследованию в результате которого могут быть установлены общие границы применения суточного регулирования при разных бытовых расходах воды и выяснены предельные формы графиков нагрузки, могущих быть обслуживаемыми станцией в разных условиях.

Переходя ко второму условию, ограничивающему применение суточного регулирования—необходимости поддержания в навигационное время достаточной глубины на гребне Петропавловских порогов, можно отметить, что в этом отношении вопрос обстоит несколько лучше.

Новый режим глубин на Петропавловских порогах в зависимости от расходов воды р. Волхова, который наступит после сооружения Волховской станции при равномерной ее работе представлен на черт. 13.



Черт. 13.

Режим расходов воды р. Волхова и характер работы Волховской станции в навигационный период может быть подразделен на следующие три сезона: 1) весенний период—характеризуется расходами, превышающими потребность станции и оканчивается он

благодаря регулирующему сток влиянию Ильменского озера довольно поздно, обычно между серединой июня и серединой июля н. ст. Работа станции в этот период может протекать равномерно при непрерывном действии всех турбин, глубины на порогах в этот период достигают своих наибольших значений; 2) летний период— характеризуется постепенно уменьшающимися расходами воды, но и пониженным спросом на энергию. Максимум мощности всех объединенных электростанций Ленинграда в ближайшие уже годы по плановым предположениям будет превышать максимум ожидаемой нагрузки на величину полной мощности Волховской станции, вследствие чего работа последней могла бы в целях покрытия максимума совершенно отсутствовать. Поэтому нет особой необходимости в этот период прибегать к суточному регулированию для покрытия максимума нагрузки, имея в виду неизбежные при этом потери на напоре, и работа станции, следовательно может протекать при постоянном расходе, колебания которого в очень малых пределах возможны лишь от колебания нагрузки и шлюзования. Критически малых расходов, ниже 7 кв. с./сек., когда суточное регулирование целесообразно уже для сохранения высоких коэффициентов полезного действия, в этот период не наблюдалось, и тем более не может наблюдаться впредь, ввиду того, что значительная часть питания Волхова в этот период происходит за счет опорожнения оз. Ильмень, сток которого при низких уровнях будет протекать более замедленным темпом. В этот период скорости на Петропавловских порогах ожидаются не выше 0,4 саж./сек., а глубины не ниже 1,05 саж.; 3) осенний период характеризуется увеличением суточного максимума нагрузки и, как общее правило, дальнейшим уменьшением расходов воды р. Волхова. Хотя к этому времени должен заканчиваться ремонт тепловых станций и сооружение новых, предназначенных для потребностей нового зимнего периода, и хотя максимум этого периода, еще значительно меньше ожидаемых новых зимних максимумов, все же необходимость применения суточного регулирования в этот период может обнаружиться и при этом достигать довольно значительных размеров.

Влияние суточного регулирования на судоходные глубины на Петропавловских порогах в этот последний период можно представить на следующих приближенных расчетах.

Если рассматривать вопрос об этих глубинах вне зависимости от графика нагрузки, то физически возможный минимум глубины

на порогах мог бы иметь место в случае, когда уровень воды на плотине был бы снижен до его предельной допустимой величины 1 мтр. (0,47 саж.) при наличии минимальных бытовых расходов воды на р. Волхове, когда падение между плотиной и порогами можно в пределе принять равным нулю.

Глубина на порогах при этом составила бы

$$7,39 - 0,47 - 6,35 = 0,57 \text{ саж.}$$

Но эта норма может иметь место только в исключительной обстановке работы станции, когда в течение части суток почему либо был бы использован естественный сток за несколько суток или в случае, если бы станция принуждена была работать с пониженным уровнем своего верхнего бьефа.

Если же ввести в расчет влияние графика нагрузки и учесть характер таковых графиков для Ленинграда, то результат значительно меняется. Допустим, что станция будет работать в пиковой части летнего или зимнего графика нагрузки Ленинграда на 1929 г. изображенного на черт. № 11. На том же чертеже построены для каждого графика нагрузки их интегральные кривые от вершины графика (крив. *АА*), а также соответствующие им кривые расходов воды средних за сутки (крив. *ББ*) и средних за период работы станции (кривые *ВВ*¹).

Для определения понижения уровня воды на плотине воспользуемся приближенной формулой (21), в которой избыточный сток *A* за время t_0 заменим равновеликой величиной.

$$A = (Q - q) t_0$$

после чего формула примет вид

$$\Delta h = 2 \frac{(Q - q)}{b_{\text{ср.}} \sqrt{g \cdot H_{\text{ср.}}}} = \frac{2 (Q - q) \text{ куб. саж./сек.}}{150 \text{ саж.} \cdot 3,25 \text{ саж./сек.}} = \frac{(Q - q)}{244} \text{ саж.}$$

подставляя в эту формулу $(Q - q)$ из графика (*ББ* и *ВВ*) найдем понижения уровня, изображенные на том же графике (кривые *ГГ*). Систематизируя понижения уровня на плотине по бытовым расходам воды р. Волхова при суточном регулировании по данным графика нагрузки, получаем кривые, изображенные на черт. 11 (крив. *ДД*). Там же приведены и соответствующие этим понижениям величины глубин на Петропавловских порогах (крив. *ЕЕ*).

¹) См. пояснение на стран. 58.

Результаты приведенного расчета таким образом обнаруживают, что в условиях графика нагрузки Ленинграда 1929 года как максимального зимнего, так и минимального летнего, а следовательно и любого промежуточного, глубины на гребне Петропавловских порогов не упадут ниже 0,97 саж.

Если допустить, что вследствие приближенного способа расчета и не вполне определенных очертаний графиков нагрузки, характер которых все же весьма устойчив, ошибка в определении понижения уровня может достигнуть 100⁰/₀, то все же минимальный предел глубины упадет не ниже 0,90 саж. будучи при этом возможным только осенью в исключительно маловодные годы, что при сопоставлении с возможным минимумом глубины на перекате «Глубокий ручей» в 0,85 саж. не создаст особого ухудшения судоходных условий на р. Волхове.

Величины поверхностных скоростей течения на гребне начала Петропавловских порогов, которые наступят при новом режиме р. Волхова, представлены графически, в зависимости бытовых расходов воды в реке, на черт. № 13. Там же изображен предел возможного их увеличения при самых резких формах суточного регулирования в конечный его момент, когда эти скорости достигнут своего суточного максимума.

Вычисления произведены для наиболее стесненного живого сечения Петропавловских порогов против дер. Вельсы, площадь которого колеблется от 65 кв. саж. при отметке гор. воды 6,73 саж., до 350 кв. саж. при отметке гор. воды 8,46 саж. Отношение средней скорости течения к поверхностной принято 0,85.

Полученный для периода, когда может применяться суточное регулирование, предел скорости не свыше 0,70 саж./сек. (1,50 мтр.) не представляет особых затруднений для судоходства и поэтому со стороны скоростей течения никаких опасений для применения суточного регулирования возникать не должно.

Третьим трудным для судоходства местом на Волхове являются Пчевские пороги, на которых в естественных условиях при самых низких горизонтах глубины падали до 1,10 мтр. ¹⁾ На основании подсчетов кривых подпора, произведенных по наблюдаемым в натуре подпорным уровням, отметка горизонта воды у Пчевы при расходе

¹⁾ В. М. Родевич. „Материалы по исследованию р. Волхова“. Вып. XVIII.

в 14 кв. саж./сек. равна 7,55 саж. 1). Так как отметка дна в самом мелком месте фарватера равна 6,41 саж., то таким образом глубина при расходе в 14 кв. саж. будет 1,14 саж. = 2,43 мтр.

При бытовом расходе в 14 кв. саж./сек. и регулировании его до 40 кв. саж./сек. подпорный уровень падает до отм. 7,376 саж. и глубина уменьшается до 0,97 саж. = 2,06 мтр.

Изложенное показывает, что при применении суточного регулирования, согласно предположенного в расчете плана, Петропавловские и Пчевские пороги в судоходном отношении являются равноценными и транзитная глубина на р. Волхове определяется перекатом «Глубокий ручей» ниже плотины.

Таким образом со стороны интересов судоходства при нормальной и рациональной эксплуатации Волховских станций к осуществлению суточного регулирования по графикам нагрузки Ленинграда, как можно заключить по предварительным расчетам, препятствий не встречается.

В дополнение к изложенному необходимо отметить два обстоятельства, оставленные без учета в приведенных выше расчетах: 1) все расчеты основаны на данных для реки без ледяного покрова; увеличивающееся зимой сопротивление русла должно повлечь за собой большие уклоны и, следовательно, более сильную сработку ближайшей к плотине части верхнего бьефа и соответственно более значительное понижение на плотине; 2) во всех случаях определение понижения уровня воды на плотине исполнено для первых суток его применения, когда в начальный момент суточного регулирования будет по всей длине реки иметь место продольный профиль, соответствующий установившемуся течению; на вторые и последующие сутки применения суточного регулирования начальный продольный профиль будет соответствовать неустановившемуся течению в конечный момент восстановительного процесса по наполнению верхнего бьефа, при котором при тех же отметках горизонта воды на плотине, будет иметь место вблизи плотины меньшее наполнение верхнего бьефа, чем в первом случае и, следовательно, регулирование повлечет за собой в последующие дни несколько большие понижения уровня в конечный момент регулирования, чем в первый день его применения при прочих равных условиях.

1) Выпуск XXI „Материалов по исследованию р. Волхова“.

В итоге всего изложенного возможно сделать следующие общие заключения по вопросу о применении суточного регулирования на Волховской Станции.

1) Конструктивные и гидрологические условия Волховской Станции не допускают применения суточного регулирования в произвольных формах.

2) Суточное регулирование, при характере графиков нагрузки ожидаемых в Ленинграде, вполне возможно, без заметного ущерба для силового использования станции и для интересов судоходства.

Некоторые данные о применении суточного регулирования за 1927 и 1928 г. ¹⁾.

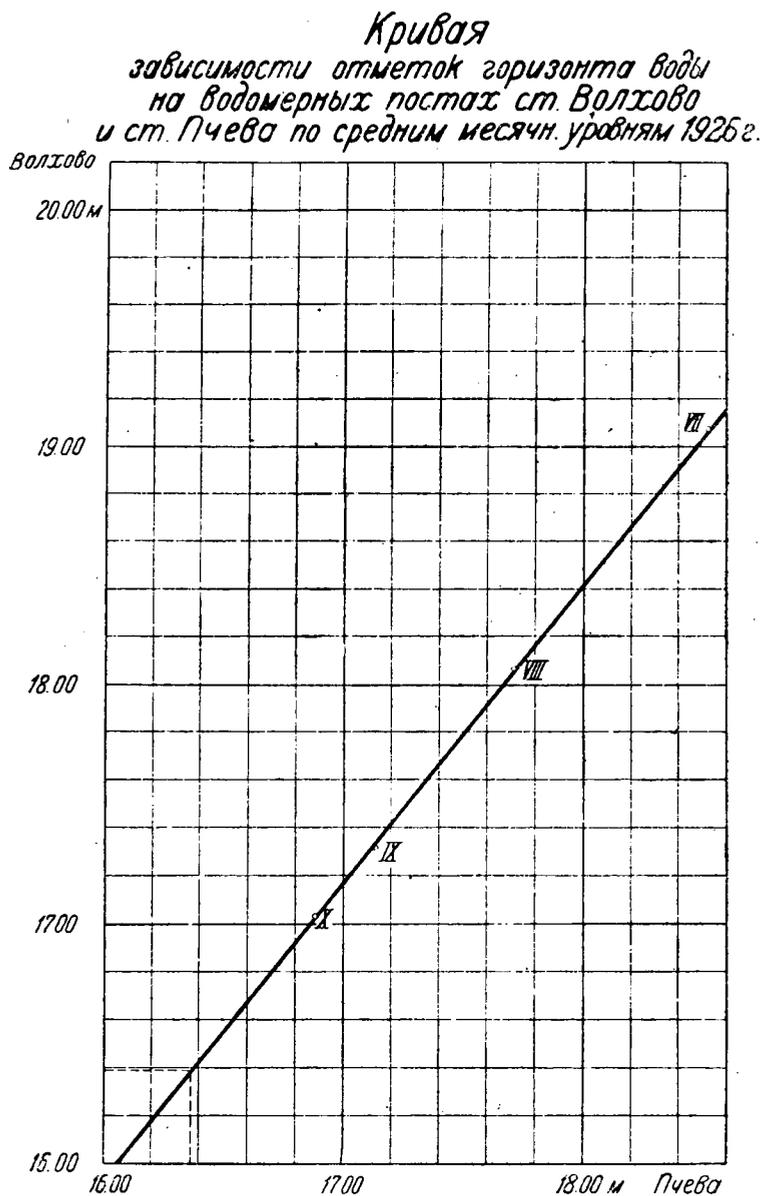
Прошедший со времени окончания Волховской Гидроэлектрической установки двухлетний период нормальной эксплуатации станции является крайне интересным с точки зрения практической проверки некоторых гидравлических расчетов, произведенных по теоретическим формулам и схемам. В этом отношении особого внимания заслуживают вопросы суточного регулирования стока, производимые станцией в маловодные периоды, когда бытовой расход в реке падает ниже потребности станции, так как эти расчеты производились по новым методам, практически мало, а в некоторых случаях и совсем не проверенным.

К сожалению, расформирование исследовательского аппарата Волховского Строительства, произведенное в связи с переходом на эксплуатационные формы управления силовой установкой, почти совершенно прекратило изучение режима реки Волхова в новых, изменившихся вследствие подпора условиях, а поэтому многие вопросы, в том числе и вопросы, связанные с суточным регулированием стока, не могут быть освещены в настоящее время с достаточной точностью и исчерпывающей убедительностью.

Однако, имеющийся за время двухлетней эксплуатации станции гидрометрический материал по Волхову при всей своей скудости и недостаточности дает все же некоторую возможность производства грубой поверки правильности теоретических подсчетов суточного

¹⁾ Статья составлена инженером В. Н. Вальман.

регулирования. Не задаваясь рассмотрением вопроса в полном объеме, постараемся осветить здесь лишь одну его сторону, а именно влияние суточного регулирования на судоходные условия р. Волхова.



Черт. № 14.

Как отмечалось выше, наиболее затруднительными в судоходном отношении местами верхнего бьефа Волховской установки при суточном регулировании являются Петропавловские и Пчевские пороги. Наименьшая глубина при суточном регулировании на первых из указанных порогов, исчисленная в предположении работы станции в пиковой части летнего графика нагрузки 1929 года, определялась по теоретическим подсчетам в 0,97 саж. = 2,07 мтр.

В Пчевских порогах, на которых в естественных условиях при самых низких уровнях глубины не падали ниже 0,52 саж. = 1,10 мтр.¹⁾, в подпертом состоянии при минимальном в навигационное время расходе воды в 14 саж.³/сек. = 136 мтр.³/сек. отметка горизонта воды в самом мелком месте фарватера исчислялась в 7,55 саж. = 16,11 мтр., что при отметке дна в 6,41 саж. = 13,68 мтр. дает наименьшую глубину в 1,14 саж. = 2,43 мтр. При применении суточного регулирования и доведения регулируемого расхода с 14 саж.³/сек. = 136 мтр.³/сек. до 40 саж.³/сек. = 389 мтр.³/сек. отметка подпорного уровня по теоретическим подсчетам определялась в 7,376 саж. = 15,74 мтр. и глубина таким образом уменьшалась до 0,97 саж. = 2,07 мтр. Для сопоставления этих теоретических подсчетов с фактическими данными в нашем распоряжении имеются следующие гидрометрические данные: 1) графики колебания горизонта воды верхнего и нижнего бьефа станции за 1927 и 1928 г., записанные лимниграфами системы Рорданца; 2) троекратные в течение суток (в 7 ч., 13 и 21 ч.) измерения высоты горизонта воды за то же время на водомерных постах: Гостинополье, Волхово и «Юрьевский скит»; 3) систематические измерения бытовых расходов воды р. Волхова у Хутынского монастыря вблизи истока ее из Ильменского озера в среднем около четырех раз в месяц и 4) автоматические записи измерения мощности станции во времени, по которым для любого момента можно определить использованный станцией расход.

Из рассмотрения этих данных усматривается, что 1928 г., как год многоводный, в навигационный период которого бытовой расход не падал ниже 800 мтр.³/сек. с точки зрения суточного регулирования является не интересным и поэтому он в дальнейшем более подробному рассмотрению не подвергнут.

Обращаясь к данным 1927 г. необходимо прежде всего отметить, что бытовые расходы р. Волхова после прохода гребня весеннего паводка в середине мая, неуклонно падая, спустились в начале августа ниже нормы, необходимой для работы на полную установленную мощность станции, составляющей по заводским гарантиям 665 мтр.³/сек., и достигли к концу октября величины всего около 300 мтр.³/сек. Таким образом для работы на полную

1) Вып. XVIII Материалов по исследованию реки Волхова и его бассейна, стр. 161; СПб. ОКр. П. С. в 1913 г, указывал даже 0,35 с. и 0,42 с.

мощность, станция в часы пиковой нагрузки осеннего графика потребления должна была расходовать воды в два с лишним раза больше естественного бытового расхода реки. Это дополнительное питание производилось за счет срабатывания верхнего бьефа установки в часы усиленной работы станции с последующим восстановлением его в течение части суток с малой нагрузкой.

Обращаясь к графикам колебания горизонтов верхнего бьефа сооружения можно указать, что уровень воды до 5 сентября рассматриваемого года, несмотря на применявшееся станцией суточное регулирование не опускался ниже гребня плотины, имеющего отметку 15,74 мтр. Лишь с означенного числа наблюдаются систематические ежесуточные понижения уровня ниже указанной отметки. При этом интересно отметить, что эти понижения в большинстве случаев прогрессивно увеличиваются от понедельников к субботам, свидетельствуя таким образом о применении станцией не только суточного, но и недельного регулирования. Наибольшего понижения горизонт воды на плотине достигал при этом в следующие моменты: 1) в ночь с 8-го на 9-ое сентября при бытовом расходе около 470 мтр.³/сек. и наименьшей отметке 14,82 мтр.; 2) в ночь с 16 на 17 сентября при бытовом расходе около 485 мтр.³/сек. и минимальной отметке 14,81 мтр.; 3) в 14 час. 17-го сентября при том же бытовом расходе и наименьшей отметке 14,72 мтр.; 4) в 20 час. 24 сентября при том же расходе и минимальной отметке 14,79 мтр.; 5) в ночь с 28 на 29 сентября при том же расходе и наименьшей отметке 14,80 мтр.; 6) 8 октября в 16 часов при бытовом расходе около 320 мтр.³/сек. и наименьшей отметке 14,72 мтр. и 7) 15 октября в 22 и 23 ч. при бытовом расходе около 306 мтр.³/сек. и минимальной отметке 14,88 мтр. Таким образом наибольшее понижение горизонта воды у плотины зарегистрировано лимниграфом 17 сентября и 8 октября на отметке 14,72 мтр., и составляет 1,02 мтр. ниже ее гребня, что почти в точности совпадает с принятой Волховским Строительством за предельное допустимое в навигационное время снижение уровня в 1 мтр. В нижепомещенной таблице № 14 даются почасные сведения об отметках воды на плотине в указанные выше дни наименьших горизонтов на плотине и трехсрочные в течение суток данные по другим одновременно функционировавшим водомерным постам: в Гостинополе, ст. Волхово и Юрьевском скиту в истоке р. Волхова.

Из данных этой таблицы усматривается, что довольно значительное суточное регулирование стока, применявшееся станцией осенью 1927 г. с коэффициентом регулирования расхода (отношение максимального зарегулированного расхода к естественному бытовому), превышавшем два, отражалось весьма слабо на колебаниях горизонта у станции Волхово и совсем не отражалось на показаниях водомерного поста в Юрьевском скиту. Действительно, наибольшее суточное колебание уровня у ст. Волхово, наблюдавшееся 8-го октября при бытовом расходе воды в 320 мтр.³/сек. не превышало 0,06 мтр., в остальные же из указанных дней не выходило из пределов 0,00 до 0,04 мтр. Соответственные колебания на Ильменском озере у Юрьевского скита были еще меньше, не превышая точности водомерных наблюдений, т. е. 0,04 мтр. Хотя трехсрочные наблюдения на верховых водомерных постах и не улавливают экстремных уровней суточного хода, однако, плавность изменения их дает все основания считать зарегистрированные на постах крайне суточные уровни воды весьма близкими к действительно предельным в суточном ходе. При этих обстоятельствах ст. Волхово можно приближенно считать предельным пунктом, до которого распространялось в 1927 г. действие суточного регулирования. По теоретическим подсчетам инженера Н. М. Бернадского ¹⁾ при бытовом расходе в 30 саж.³/сек. = 290 мтр.³/сек. и коэффициенте регулирования расхода $\frac{610}{290} \approx 2$ суточный ход уровня у ст. Волхова достигал амплитуды около 0,10 мтр., т. е. несколько превышает величину, определяемую непосредственными наблюдениями, при примерно том же бытовом расходе (320 мтр.³/сек.) и том же коэффициенте регулирования расходов.

Наинишая отметка горизонта воды у ст. Волхово в навигационное время при применявшемся гидросиловой установкой суточном регулировании отмечена 16 октября на высоте 16,39 мтр. = 7,68 саж. над уровнем Балтийского моря. Отсутствие непосредственных водомерных наблюдений в районе Пчевских порогов за указанное время вынуждает обратиться к менее точным косвенным способам определения соответственной наинишей отметки на означенных порогах. Для этого воспользуемся кривыми связи

¹⁾ См. инж. Н. М. Бернадский. „Теория и расчет речного паводка с применением их к суточному регулированию р. Волхова. Вып. XVII Материалов по исследованию р. Волхова и его бассейна“.

Т а б л и ц а № 14.

Число, месяц.	Наименование водомерных постов.	Отметки горизонта воды в мтр. над уровнем Балт. моря в часы наблюдений.																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1927 г. 8/ix	Плотина	15,64	15,76	15,84	15,92	15,98	16,05	16,08	16,08	15,94	15,84	15,78	15,74	15,69	15,58	15,48	15,40	15,38	15,36	15,26	15,13	15,02	14,90	14,82	14,82
	Гостинополье	—	—	—	—	—	—	16,15	—	—	—	—	—	15,85	—	—	—	—	—	—	—	15,43	—	—	—
	Волхово	—	—	—	—	—	—	17,11	—	—	—	—	—	17,11	—	—	—	—	—	—	—	17,09	—	—	—
	Юрьевский скит	—	—	—	—	—	—	17,88	—	—	—	—	—	17,88	—	—	—	—	—	—	—	17,86	—	—	—
9/ix	Плотина	14,97	15,14	15,30	15,43	15,56	15,65	15,70	15,68	15,58	15,52	15,48	15,46	15,42	15,38	15,32	15,28	15,24	15,22	15,16	15,12	15,07	15,02	14,96	14,96
	Гостинополье	—	—	—	—	—	—	15,75	—	—	—	—	—	15,62	—	—	—	—	—	—	—	15,38	—	—	—
	Волхово	—	—	—	—	—	—	17,07	—	—	—	—	—	17,05	—	—	—	—	—	—	—	17,03	—	—	—
	Юрьевский скит	—	—	—	—	—	—	17,73	—	—	—	—	—	17,72	—	—	—	—	—	—	—	17,75	—	—	—
16/ix	Плотина	15,22	15,32	15,42	15,50	15,60	15,68	15,76	15,73	15,60	15,48	15,42	15,38	15,34	15,24	15,18	15,10	15,15	15,21	15,16	15,08	15,01	14,93	14,86	14,81
	Гостинополье	—	—	—	—	—	—	15,77	—	—	—	—	—	15,53	—	—	—	—	—	—	—	15,30	—	—	—
	Волхово	—	—	—	—	—	—	16,88	—	—	—	—	—	16,88	—	—	—	—	—	—	—	16,86	—	—	—
	Юрьевский скит	—	—	—	—	—	—	17,62	—	—	—	—	—	17,61	—	—	—	—	—	—	—	17,60	—	—	—
17/ix	Плотина	14,91	15,02	15,13	15,22	15,30	15,38	15,42	15,38	15,15	15,02	14,90	14,82	14,76	14,72	14,76	14,82	14,84	14,85	14,85	14,80	14,88	14,90	14,92	15,01
	Гостинополье	—	—	—	—	—	—	15,51	—	—	—	—	—	15,15	—	—	—	—	—	—	—	15,13	—	—	—
	Волхово	—	—	—	—	—	—	16,83	—	—	—	—	—	16,83	—	—	—	—	—	—	—	16,83	—	—	—
	Юрьевский скит	—	—	—	—	—	—	17,58	—	—	—	—	—	17,56	—	—	—	—	—	—	—	17,56	—	—	—
24/ix	Плотина	15,16	15,30	15,39	15,47	15,56	15,64	15,70	15,58	15,46	15,36	15,22	15,16	15,08	15,04	15,04	14,98	15,02	14,98	14,86	14,79	14,80	14,81	14,84	14,90
	Гостинополье	—	—	—	—	—	—	15,72	—	—	—	—	—	15,36	—	—	—	—	—	—	—	15,11	—	—	—
	Волхово	—	—	—	—	—	—	16,71	—	—	—	—	—	16,71	—	—	—	—	—	—	—	16,71	—	—	—
	Юрьевский скит	—	—	—	—	—	—	17,47	—	—	—	—	—	17,48	—	—	—	—	—	—	—	17,44	—	—	—
28/ix	Плотина	15,38	15,47	15,56	15,64	15,70	15,78	15,85	15,80	15,66	15,56	15,48	15,44	15,42	15,29	15,19	15,12	15,12	15,16	15,08	15,00	14,94	14,88	14,82	14,80
	Гостинополье	—	—	—	—	—	—	15,87	—	—	—	—	—	15,58	—	—	—	—	—	—	—	15,21	—	—	—
	Волхово	—	—	—	—	—	—	16,75	—	—	—	—	—	16,75	—	—	—	—	—	—	—	16,73	—	—	—
	Юрьевский скит	—	—	—	—	—	—	17,39	—	—	—	—	—	17,38	—	—	—	—	—	—	—	17,37	—	—	—
29/ix	Плотина	14,84	14,98	15,12	15,24	15,38	15,41	15,49	15,56	15,52	15,38	15,30	15,22	15,22	15,24	15,15	15,04	15,02	15,10	15,10	15,01	14,98	14,97	14,96	14,96
	Гостинополье	—	—	—	—	—	—	15,58	—	—	—	—	—	15,36	—	—	—	—	—	—	—	15,15	—	—	—
	Волхово	—	—	—	—	—	—	16,71	—	—	—	—	—	16,71	—	—	—	—	—	—	—	16,69	—	—	—
	Юрьевский скит	—	—	—	—	—	—	17,37	—	—	—	—	—	17,38	—	—	—	—	—	—	—	17,37	—	—	—
8/x	Плотина	15,60	15,66	15,70	15,74	15,78	15,80	15,80	15,69	15,45	15,26	15,08	14,96	14,90	14,85	14,80	14,72	14,74	14,75	14,74	14,74	14,75	14,78	14,80	14,83
	Гостинополье	—	—	—	—	—	—	15,85	—	—	—	—	—	15,26	—	—	—	—	—	—	—	14,96	—	—	—
	Волхово	—	—	—	—	—	—	16,64	—	—	—	—	—	16,62	—	—	—	—	—	—	—	16,58	—	—	—
	Юрьевский скит	—	—	—	—	—	—	17,29	—	—	—	—	—	17,27	—	—	—	—	—	—	—	17,27	—	—	—
15/x	Плотина	15,44	15,52	15,58	15,62	15,66	15,70	15,73	15,70	15,61	15,54	15,49	15,41	15,38	15,32	15,24	15,18	15,12	15,06	15,00	14,97	14,93	14,88	14,88	14,90
	Гостинополье	—	—	—	—	—	—	15,70	—	—	—	—	—	15,43	—	—	—	—	—	—	—	15,06	—	—	—
	Волхово	—	—	—	—	—	—	16,43	—	—	—	—	—	16,43	—	—	—	—	—	—	—	16,41	—	—	—
	Юрьевский скит	—	—	—	—	—	—	17,16	—	—	—	—	—	17,14	—	—	—	—	—	—	—	17,14	—	—	—

показаний водомерных постов у ст. Волхово и с. Пчева и д. Подсопье за 1926 г. ¹⁾, когда уже действовал подпор от Волховской плотины. Эти кривые, построенные по соответственным средним месячным уровням означенных постов, показаны на чертеже № 14. По этим кривым наименьшей отметке 16,39 мтр. у ст. Волхова будет соответствовать горизонт 16,36 мтр. = 7,67 саж. на Пчевском водомерном посту и 16,24 мтр. = 7,61 саж. по Подсопью, находящемуся несколько ниже Пчевских порогов. По теоретическим подсчетам инж. Н. М. Бернадского ²⁾ при бытовом расходе в 30 саж.³/сек. = 290 мтр.³/сек. наименьшая отметка горизонта воды на Пчевских порогах получилась равной 16,10 мтр., т. е. на 0,14—0,26 мтр. меньше. Соответственная наименьшая глубина на означенных порогах получается равной 2,70 мтр. ³⁾. Отмеченная расходимость теоретических подсчетов с полученными нами из непосредственных наблюдений водомерных постов проистекает, с одной стороны, вследствие неполной пригодности кривых связи черт. № 14 для неустойчивого режима при суточном регулировании, а другой—вследствие неточности экстерполяции примененной кривой связи уровней на водомерных постах, а также известного несоответствия фактического графика нагрузки с расчетным.

Учитывая эти соображения можно признать сделанные инж. Н. М. Бернадским теоретические подсчеты суточного регулирования вообще достаточно хорошо согласующимися с предварительными данными непосредственных наблюдений. Однако, для более точного учета продольного профиля зеркала р. Волхова и определения наименьших возможных глубин на Пчевских перекатах при суточном регулировании необходима дополнительная установка по крайней мере одного лимниграфа в районе Пчевских порогов. Только при этих условиях возможно более точное решение вопроса о влиянии суточного регулирования на судоходные условия р. Волхова.

¹⁾ См. вып. XV Материалов по исследованию р. Волхова и его бассейна, стр. 66 и 88. Кривая для в. п. Подсопье на черт. № 14 не показана.

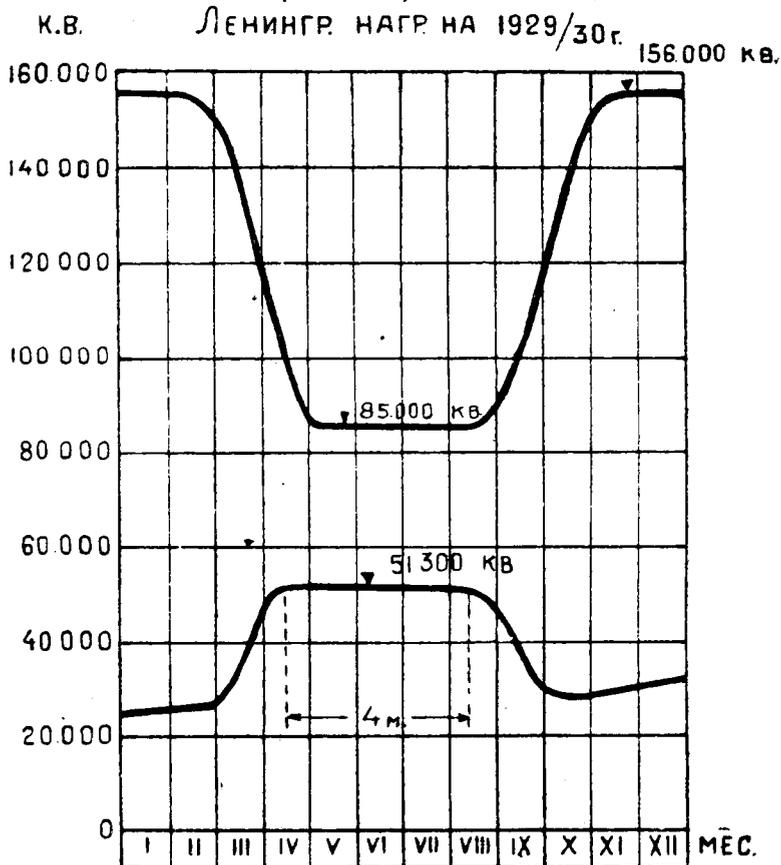
²⁾ См. вып. XVII, стр. 35.

³⁾ С другой стороны судох. надзор С.-З. У. В. П. отмечал после сооружения Волховской станции бытовые падения судоходных глубин на Пчевских перекатах значительно большие.

V. Общие соображения о годовом регулировании стока.

Выше было показано, что мощность Волховской станции на шинах Ленинградской подстанции, в зависимости от наличного в реках расхода, определяется $N = 71,2 Q$ (16), где N выражено в киловаттах, а Q в кб. мтр./сек..

ГРАФИК
мощности Волховск. станц
в самый маловодный год
год (1920-21) и год ход макс.
ЛЕНИНГР. НАГР. НА 1929/30г.



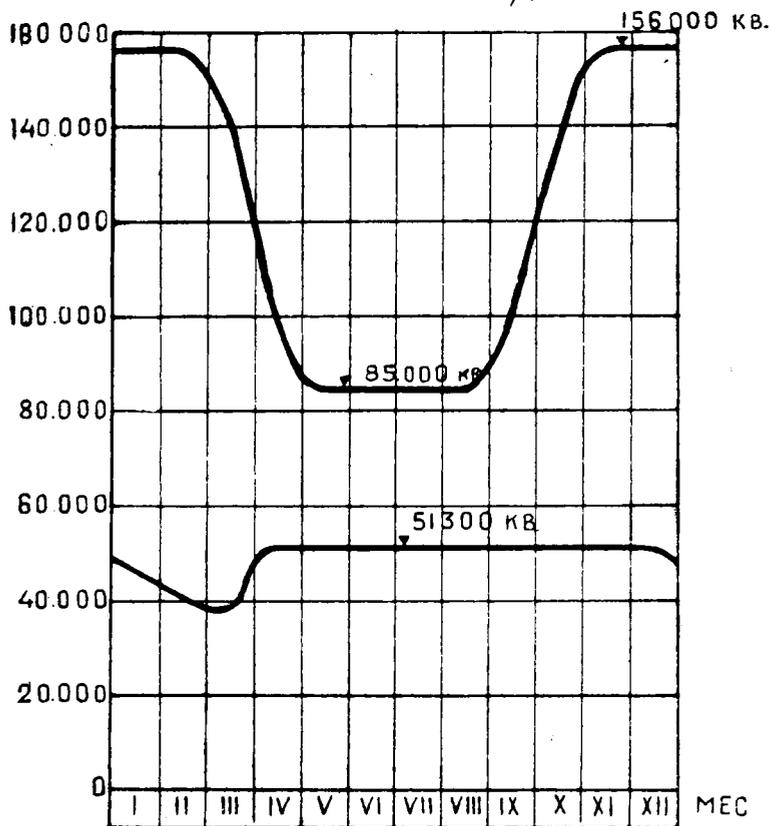
Черт. 15.

Приведенная зависимость позволяет легко построить годовой график мощности Волховской установки, исходя из гидрографа реки, если предельный расход последнего ограничить 74 кб. саж./сек. В главе IV было уже отмечено, что как в целях лучшей утилизации стока, так и наиболее рационального использования установленных агрегатов, должно применяться суточное регулиро-

вание. Применение этой меры, почти что не сказываясь на количестве выработанной энергии, влияет на характер графика мощности.

Годовой график мощности Волховской установки и различные способы возможного его регулирования. На рис. №№ 15 и 16 приведены графики мощности Волховской установки на шинах

ГРАФИК
МОЩНОСТИ Волховск станц.
в средн год (1918-19)
и годов ход макс Ленингр
нагрузки на 1929/30 г



Черт. 16.

Ленинградской подстанции. На первом для самого маловодного (1920—21), на втором для среднего по водности года (1918—19). Гидрографы соответственных лет показаны на л. 9 чертежей. Из графиков мощностей усматривается, что при применении суточного регулирования в средний год установленная мощность используется полностью, т. е. на шины Ленинградской подстанции пере-

дается 51.300 кв. в течение 9 месяцев. Последующие 3 месяца не позволяют развить полной мощности, и наименьшее значение таковой для условий среднего года равно 40.000 кв. Для самого маловодного года (1920—21) (черт. 15) мощность в 51.300 кв. обеспечена только в течение 4 мес., в остальные месяцы она уменьшается и достигает своего наименьшего значения в 25.500 кв.

На тех-же рис. 15 и 16 приведен ожидаемый годовой ход максимума нагрузки Ленинграда в предположительных условиях 1929 года. Для зимнего периода максимум достигает 156.000 кв., для летнего же лишь 85.000 кв.

При установленной на Волховской станции мощности (отнесенной к Ленинграду) в 51.300 кв., для покрытия графика нагрузки представлялось бы достаточным иметь в Ленинграде $156.000 - 51.300 \approx 105.000$ кв. Однако, благодаря изменчивости стока, мощность эта в некоторые годы оказалась бы недостаточной. Так, для среднего года необходимо было бы иметь добавочную мощность ≈ 11.000 кв., а для самого маловодного года 20.000 кв.

На листе 17 чертежей показан в нижней части годовой график мощности Волховской станции в маловодный и средний год. На этом же листе приведен рост максимумов Ленинградской нагрузки за период 1925—31 г. (сплошная жирная линия) и необходимая мощность Ленинградских станций для покрытия максимума потребной мощности.

Из всего изложенного, а также и из рассмотрения приведенных чертежей усматривается, что в результате изменчивости стока, даже при применении суточного регулирования не всегда является возможным полностью использовать установленную на Волховской станции мощность, и что для обеспечения графика нагрузки в маловодные годы Ленинградские станции должны обладать дополнительной мощностью, дублирующей Волховскую, не менее 20.000 кв.

Необходимо отметить, что по характеру графика максимумов нагрузки в летний период, потребная мощность может быть покрыта одними только тепловыми станциями без участия Волхова, и таким образом в течение этого периода никакой дополнительной мощности не потребуется. Необеспеченным является исключительно зимний период.

Обеспечение постоянной мощности Волховской установки возможно либо путем создания специального теплового или гидравлического резерва, либо путем применения сезонного или годового регулирования стока р. Волхова.

Регулирование тепловым резервом. Из произведенного анализа режима стока р. Волхова за период 1881—1925 г. выяснилось, что в течение 23 лет, главным образом зимой, Волховская установка, не сможет развить своей полной мощности, и таким образом придется вводить в работу резервную станцию.

Наибольшее число дней работы этой станции определилось в 164 дня (1882—83 г.г.), при чем за эти дни должно быть выработано 38,15 милл. кв. ч. Средняя годовая выработка резервной станции за 23-х летний период составила бы 12 милл. кв.-ч., а для всего 44-летнего периода—6,2 милл. кв.-ч.

На черт. листе 18 представлена диаграмма, характеризующая работу резервной станции. На этом чертеже линия *A—A* показывает число дней в году, в течение которых мощность Волховской установки меньше 51.300 кв. (на шинах Ленинградской подстанции) и, следовательно, число дней работы резервной станции. Линия *B—B*—среднюю суточную мощность Волхова, а *I—I* мощность при суточном регулировании. Таким образом заштрихованная часть графика показывает потребную мощность резервной станции. Ординаты линии *B—B* дают величину количества энергии, подлежащей выработке на резервной станции, и, наконец, линия *D—D* отмечает дни, в которые наблюдался минимальный расход в р. Волхове.

Если дополнительная мощность в маловодные годы будет осуществлена в виде тепловой станции, то в этом случае возможны два следующих решения: первое, тепловая станция мощностью в 20.000 кв. сооружается в качестве резерва специально для Волховской установки, и второе, когда какие либо из существующих электрических станций (например, III или IV ГЭС) предназначаются для той же цели. Определим в одном и другом предположении вероятные годовые расходы по содержанию станции.

Принимая условно стоимость новой станции в 350 рублей за установленный кв., считаем эксплуатационные расходы по содержанию, вследствие обычного пребывания резерва в холодном состоянии, только в 12,5%. Стоимость топлива на выработанный

кв.-ч. принимаем, по наиболее экономично работающей Ленинградской тепловой станции в 2,0 коп. При этих условиях ежегодные расходы по вновь сооружаемому тепловому резерву определяются $20.000 \times 43,8 + 6,2 \times 10^6 \times 0,02 = 1.000.000$ рублей.

Если в качестве резерва использовать существующие Ленинградские станции, то ежегодные расходы, связанные с их содержанием, могут быть с достаточной степенью вероятности определены на основании составленной по данным Электротока предположительной стоимости энергии ¹⁾, вырабатываемой Ленинградскими станциями.

При средней годовой выработке в 6,2 милл. кв.-часов коэффициент использования в часах равен 310 час. в год. IV ГЭС при использовании в течение 400 часов в год вырабатывает энергию по 21 коп. за кв.-час. Если принять, что при использовании станции в качестве резерва последняя в течение 50% времени будет пребывать в холодном состоянии, то, понижая расходы, сопряженные с заработной платой вдвое можно понизить среднюю стоимость выработанного кв.-часа до 17 коп. При такой стоимости энергии ежегодные расходы по резервной станции составят $6,2 \times 10^6 \times 0,17 = 1.054.000$ рублей.

Как видно, в обоих предположениях ежегодные расходы по содержанию теплового резерва почти что одинаковы и составляют, примерно, один миллион рублей в год.

При описанных выше мероприятиях Волховская установка может гарантировать мощность к 51.300 кв. и среднюю выработку энергии в 282 милл. кв.-час.

По данным Планового Отдела Электротока, годовые расходы по Волховской станции, включая и линию передачи, составят 7.437.000 руб. Учитывая же изложенное выше, стоимость энергии определится:

$$\frac{(7.437.000 + 1.000.000)}{282 \times 10^6} = 3,00 \text{ коп./кв.-ч.}$$

Полученная предположительная стоимость энергии и будет принята при сравнении регулирования мощности Волховской установки разными способами.

Регулирование стока Ильменским озером. В приведенной на стр. 22 характеристике оз. Ильмень было указано, что в под-

¹⁾ На 1929 г.

пертых условиях горизонт воды озера будет колебаться в пределах от отметки 7,80 саж. до 10,90 саж. и, таким образом, амплитуда колебаний составит 3,10 саж. = 6,62 мтр. Из данных таблицы № 2 видно, что такой амплитуде колебаний отвечает объем озера в десять миллиардов четыреста милл. куб. мтр.

Анализ интегральной кривой стока р. Волхова показал, что для зарегулирования многолетнего среднего расхода потребовалось бы водохранилище в 40,5 миллиардов куб. мтр., при зарегулировании же среднего годового расхода, в зависимости от водности года, емкость водохранилища должна была бы колебаться от 2,5 до 7,0 миллиард. куб. мтр., причем этот объем воды должен иметься над горизонтом воды, отвечающем зарегулированному расходу. При такой схеме регулирования вся пойма озера оказалась бы под водой, что при ограниченности земельного фонда является совершенно недопустимым.

Таким образом, вследствие значительности затоплений, серьезно говорить не только о многолетнем, но даже и о годовом регулировании стока без особых предохранительных мер совершенно не приходится.

Вследствие указанного, озером Ильмень возможно воспользоваться либо для частичного регулирования годового стока ограничиваясь в истоке р. Волхова устройством плотины и шлюза, либо же применив более сложные устройства и оградив пойму озера дамбами, так видоизменить режим озера, чтобы сток был использован возможно полнее. В обоих случаях на Волховской установке достигается не только регулирование мощности, но также увеличивается и выработка энергии. Описанию эскизных проектов обоих решений посвящены главы VI и VII.

Возможность регулирования мощности Волховской установки путем регулирования стока притоков Волхова и Ильменя. Для полноты освещения вопроса о способах регулирования мощности Волховской установки, Волховским Строительством были произведены рекогносцировочные обследования долин притоков р. Волхова и оз. Ильмень для выяснения возможности создания в них водохранилищ и тем сохранить часть весеннего паводка для дополнительного питания установки в маловодные периоды года.

Обследования были произведены на р.р. Мсте, Шелони и Ловати—притоках оз. Ильмень и на р.р. Оскуи, Тигоды, Керести и Пчевжи,—притоках р. Волхова.

Из прикоков оз. Ильмень только на Мсте выяснилась возможность использовать Верхне-Мстинские водохранилища. По данным, опубликованным в вып. XVIII «Материалов по исследованию р. Волхова», общая емкость действующих ныне водохранилищ достигает 51,5 милл. куб. саж., емкость закрытых водохранилищ составляет 24,5 милл. куб. саж.

Путем переустройства сооружений на водохранилищах емкость их может быть повышена на 13,5 милл. куб. саж. Если предположить, что для Волховской установки может быть использована только емкость упраздненных ныне водохранилищ, а также и дополнительная, полученная в результате переустройства, то всего на маловодный период времени могло бы быть резервировано дополнительно против настоящего 38 милл. куб. саж., что отвечает толщине слоя в оз. Ильмень всего лишь 0,30 мтр.

Это количество воды могло бы в 5 маловодных месяцев (ноябрь—март) дать в среднем дополнительный расход в 3,00 куб. саж. Для меньшего периода времени расход соответственно бы возрос.

Однако, возможность регулирования стока путем переустройства Верхне-Мстинских водохранилищ является сомнительной по следующим причинам:

1) До настоящего времени Верхне-Мстинские водохранилища использовались в соответствии с потребностями сплава, причем попуски делались в период летнего и осеннего мелководья, т. е. в периоды года, когда Волховская установка дополнительного питания не требует. Для использования этих-же водохранилищ для энергетических целей, необходимо, как это отмечено выше, переустройство таковых, что сопряжено со значительными затратами, в особенности по отчуждению приобретенных земель.

2) Для проектируемых на р. Мсте гидроэлектрических установок намечается также регулирование стока теми-же Верхне-Мстинскими водохранилищами, вследствие чего запасы водохранилищ будут расходоваться по плану водного хозяйства Мстинских установок, и таким образом возможны положения, когда вода не будет даваться в те моменты, когда она нужна для Волховской станции.

3) Регулирование расходов р. Волхова путем попусков из водохранилищ, расположенных на расстоянии 600 верст от силовой станции, является в особенности в зимнее время вряд ли возможным.

4) Вследствие значительной регулирующей способности оз. Ильмень сток Верхне-Мстинских водохранилищ будет расходоваться в значительной мере (до 50%) на повышение уровня оз. Ильмень, что необходимо для увеличения пропускной способности р. Волхова. Этим регулирующим эффектом Мсты для Волхова значительно ослабевается.

При исследованиях р. Ловати выяснилась возможность на зимнее время использовать сток озера Селигера, принадлежащего к Волжскому бассейну. Использование стока намечается путем возможности создания самостоятельной гидроэлектрической установки с напором около 100 мтр. Возможная мощность этой станции, при условии работы в течение 6 зимних месяцев намечается около 40.000 л. с. Кроме того, для Волхова дается в течение того же периода времени равномерный расход в 3,5 кб. саж., что соответственно увеличивает мощность и Волховской станции.

За недостатком времени и места, описание этого проекта, разработанного совместно инж. В. М. Родевичем и Г. К. Лоттер, здесь не может быть помещено ¹⁾.

Из притоков р. Волхова, только в верховьях р. Тигоды возможно образовать водохранилище, емкостью около 500.000 кб. саж. и, кроме того, присоединить к нему для питания часть бассейна верховьев р. Мги. Однако, вследствие незначительной емкости водохранилища, при его помощи в течение одного маловодного месяца средний секундный расход р. Волхова возможно увеличить всего лишь на 1,9 кб. мтр./сек., что, конечно, для выравнивания мощности Волховской гидростанции должно быть признано совершенно недостаточным.

Возможность производства из Тигодского водохранилища больших попусков на время снятия пиков нагрузки является сомнительным и требует особого изучения.

Таким образом, наиболее реальным мероприятием для регулирования мощности Волховской гидроустановки является устройство Ильменского водохранилища.

Предварительный проект устройства Ильменского водохранилища разработан в двух вариантах, а именно: частичное регулирование стока с устройством лишь одной плотины и шлюза в истоке р. Волхова, так называемый малый вариант, и более полное регулиро-

¹⁾ Описанию этого проекта будет посвящен XXV вып. Материалов.

вание стока, для чего помимо плотины в истоке предусматривается обвалование всего озера и устройство ряда других гидротехнических сооружений. Последнему проекту присвоено наименование большого варианта.

VI. Предварительный проект годового регулирования стока р. Волхова путем сооружения плотины в его истоке.

(Малый вариант).

Общее описание решения задачи. Волховская гидроэлектрическая станция, при установленной мощности в 80.000 л. с., может выработать следующее количество энергии.

Т а б л и ц а № 15.

Наименование года.	Количество выработ. энергии, в милл. кв.-час.		Коэффиц. использов. стока.
	При неограниченном колич. агрег.	При 8 агрегатах (реально).	
Многоводный год	531	406	0,76
Средний год	361,5	282	0,78
Маловодный год	206	178	0,86

Так как при работе в течение круглого года всеми 8 агрегатами возможно выработать 449 милл. кв.-час., то использование всего стока самого многоводного года является невозможным, вследствие ограниченного числа поставленных агрегатов. Таким образом, предельное возможное увеличение продукции при годовом регулировании стока может дать по среднему году не свыше $100 \cdot \frac{100 - 78}{78} = 28\%$ от возможного в настоящих условиях, что

для среднего года составило бы всего $282 \times 0,28 = 79$ милл. кв.-часов.

Однако, как это можно усмотреть из изложенного выше, вопрос о годовом регулировании р. Волхова возникает не столько по соображениям более полной утилизации стока, но, главным образом, из стремления получить возможность в лучшем случае распоряжаться стоком всецело по потребности эксплуатации, или, по крайней мере, осуществить некоторое перераспределение стока по годовому времени против его естественных условий, создав большее обеспечение работы Волховской станции в зимние периоды.

Решение вопроса регулирования стока, при котором не получалось бы увеличения вырабатываемой Волховской станцией энергии, но достигалось бы увеличение ее мощности в зимнее время, сравнительно с той, какая возможна в современных условиях, должно быть поэтому признано целесообразным, при условии умеренной величины необходимых для этой цели затрат, которые должны быть сопоставлены с эксплуатационными расходами по содержанию парового резерва, необходимого для гарантирования работы Волховской установки на полную установленную на ней мощность 51.300 кв. на шинах низкого напряжения в Ленинграде, в часы максимумов годового графика нагрузки и в условиях маловодных лет.

Для оценки экономической целесообразности такого решения необходимо выяснить и оценить следующие его стороны:

1) Степень увеличения обеспечения мощности Волховской станции в зимние месяцы и степень возрастания годового количества выработанной ею энергии.

2) Стоимость сооружения и эксплуатации возводимых регулирующих сооружений.

3) Степень ухудшения сельско-хозяйственных угодий в Ильменской пойме, вследствие вызываемого регулирующей плотинной замедления падения горизонта воды в озере и, следовательно, более позднего обнажения из воды луговых участков.

4) Степень изменения условий судоходства и рыболовства и экономическое значение такой перемены.

Все перечисленные стороны вопроса зависят в свою очередь от двух основных заданий, определяющих собой объем задачи, от удачного выбора которых в значительной степени зависит успешное решение таковой.

Задания эти:

а) режим зарегулированного стока, который предполагается поддерживать помощью регулирующей плотины и на Волховской Гидростанции;

б) отметка подпорного горизонта на регулирующей плотине, от которой может быть начато регулирование стока озера Ильмень.

Перейдем к рассмотрению первого задания. Режим регулирующей плотины в Новгороде зависит от естественных условий притока воды в озеро. В отношении его возможно установить только руководящие принципы, вытекающие из необходимости согласовать интересы четырех элементов народного хозяйства, заинтересованных в характере этого режима: силовой станции, сельского хозяйства в пределах разлива, судоходного и рыбного хозяйства. Требования каждой из этих сторон можно сформулировать следующим образом:

По силовой станции:

1) желательно до минимума сократить приток воды, когда расход воды р. Волхова превышает расход 74 кв. саж./сек., соответствующий полной мощности станции;

2) желательно обеспечить к началу зимнего сезона определенную толщину слоя воды в озере, гарантирующего определенный минимум выработки энергии в зимние месяцы с интенсивным графиком нагрузки;

3) в летние месяцы, согласно приведенных выше данных, возможно даже допустить полную остановку Волховской станции, дабы резервировать больше воды на зимний период, и интенсивно срабатывать ее до весны.

По сельскому хозяйству:

1) желательно возможно быстрое и раннее обнажение лугов;

2) желательно гарантировать определенный уровень озера, выше которого земли могут быть регулярно использованы.

По судоходству:

1) желательно обеспечить на весь навигационный период определенный минимум транзитных глубин и определенный максимум скоростей течения в затруднительных для судоходства участках;

2) необходимо избежать местных затруднений для судоходства и сплава (крутых кривых, боковых течений, узких мест).

По рыболовству: интересы рыболовства не предъявляют особых требований. Рыболовство на оз. Ильмень приспособилось к существующему режиму, и создание больших глубин, улучшая в общем условия рыболовства, вызовет у местных рыболовов необходимость некоторого переоборудования рыболовных снарядов¹⁾.

Выше уже отмечалось, что для полного годового регулирования стока необходимо наличие весьма значительного по объему водохранилища, что при плоских берегах Ильменского озера связано со значительными затоплениями прибрежных земель.

Даже происходящие в естественных условиях весенние разливы достигают иногда размеров, превращающих их в стихийное бедствие для окрестных сел, деревень и даже для Новгорода и Старой Руссы.

При таких условиях остается лишь применение частичного регулирования стока, с надлежащим выбором отметок подпорных горизонтов в озере.

Высший предельный уровень воды озера в естественных условиях, за период с 1881 по 1925 г.г., колебался между отметками 9,35 саж. и 10,85 саж. по Новгородскому посту, причем медианный член этого ряда лет дает отметку 9,88 саж. по Новгородскому же посту или 9,92—9,98 саж. на озере.

Назначение подпертого горизонта выше этой отметки явилось бы заведомо чрезмерным, будучи используемым менее чем 50% лет, и поэтому высшим пределом подпорного уровня выбран горизонт воды на отметке 10,00 саж.

Для выбора низшего предела подпорного горизонта на плотине необходимо считаться с тем условием, что при отметке гор. воды в Новгороде 9,05 саж. и выше возможен расход у плотины Волховской гидростанции только в 74 кв. саж./сек., отвечающий ее максимальной мощности, и, следовательно, регулирование стока начиная с этого уровня приводило бы лишь к перераспределению стока по времени, почти исключая возможность задерживать и вводить в использование часть весеннего избыточного стока.

Регулирующая плотина намечается разборчатой, системы Поаре, и регулирование предполагается начинать с момента, когда уровень озера на спаде после высшего его весеннего стояния достигнет отметки проектного подпорного горизонта, пропуская предшествующий весенний сток при полном открытии плотины.

¹⁾ См. выпуск X, ч. II „Материалов по исследованию р. Волхова“.

Приведенная схема регулирования показывает, что в проекте по малому варианту достигается только частичное регулирование стока с резервированием задержанной части воды для наиболее маловодного периода года.

Для выбора проектного подпорного гор. воды исследованию был подвергнут сток за все 44 года при отметках подпорного гор. воды в 9,0 саж., 9,5 саж. и 10,00 саж., причем для упрощения расчета и однообразия условий использования регулирования, в первых двух случаях, т. е. для отметок подпорного гор. воды 9,00 и 9,50 саж., определялся по бытовой водности смежных двух лет средний, возможный, зарегулированный секундный расход от начала регулирования до начала весеннего подъема следующего года. Для двух последних случаев, т. е. для подпорных отметок 9,5 и 10,00 саж., исследование проведено в предположении, что с начального момента регулирования сперва через плотину будет пропускаться расход в 74 кв. саж./сек., соответствующий максимальной мощности станции, до того момента, пока уровень воды на озере не опустится до отметки 9,00 саж., после чего предположен равномерный секундный расход до весны следующего года, определившийся из бытовой водности обоих лет. Второй прием регулирования пришлось принять в расчет вследствие чрезвычайных затоплений при применении, с отметкой подпорного гор. воды 10,00 саж. первого приема.

Исследование регулирования по этим четырем схемам показало, что при применении суточного регулирования по пиковой части графика нагрузки, при каждой из этих схем возможно доводить мощность Волховской установки до ее предельной величины в 51.300 кв., в условиях исключительно маловодных лет, без помощи парового резерва.

Результаты исследований приведены в таблице № 16.

В отношении же годового количества энергии, которое получилось бы при таком режиме стока, то количество это, как показывают данные таблицы № 16, в среднем за 44 года, по сравнению с количеством энергии, вырабатываемым без применения регулирования, было бы:

I	при подпорном гор. воды	9,00 саж.	меньше на 4 ⁰ / ₀	} по 1-му приему.
II	»	»	» 3 ⁰ / ₀	
III	»	»	» 1 ⁰ / ₀	} по 2-му приему.
IV	»	»	10,0 больше » 9 ⁰ / ₀	

Г о д ы.	Число дней в году.	Минимальная мощность на шинах низкого напряжения в Ленинграде в самые маловодные месяцы в году.					Мощность в часы максимума нагрузки на шинах низкого напряжения в Ленинграде в самый маловодный зимний месяц в году.					Количество энергии на шинах низкого напряжения в Ленинграде в 10 ⁶ кв.					
		Средняя за месяц.					По графику нагрузки 1929 года.					За годовой период.					
		Без годового регулирования.	При годовом регулировании по малому варианту, при отметке подпорного горизонта:			При равномерном режиме использования.	При режиме использ. с перел. на отметке 9,00	Без годового регулирования.	При годовом регулировании по малому варианту, при отметке подпорного горизонта:			При равномерном режиме использования.	При режиме использ. с перел. на отметке 9,00 ¹⁾	Без годового регулирования.	При годовом регулировании по малому варианту, при отметке подпорного горизонта:		
			9,00 с.	9,50 с.	10,00 с.				9,00 с.	9,50 с.	10,00 с.				9,00 с.	9,50 с.	10,00 с.
1881—82	329	11.785	20.797	24.957	21.490	22.877	44.770	51.300	51.300	51.300	51.300	235,0	224,1	232,3	235,2	260,8	
1882—83 *)	396	3.397	11.785	15.251	12.478	12.478	26.000	44.700	50.500	45.800	45.800	198,5	185,8	210,8	216,8	233,0	
1883—84	366	21.352	26.343	26.343	26.343	26.343	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	317,5	302,2	320,5	320,5	334,5	
1884—85	359	7.972	17.331	20.104	17.331	18.024	37.200	51.300	51.300	51.300	51.300	237,8	225,6	230,0	238,7	275,0	
1885—86	355	18.375	21.490	27.730	21.490	21.490	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	264,0	251,2	258,7	270,8	288,3	
1886—87	375	15.251	21.490	24.957	22.184	22.184	50.500	51.300	51.300	51.300	51.300	252,8	239,7	260,8	262,8	284,6	
1887—88	356	25.026	30.502	32.582	31.889	31.889	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	319,0	300,3	308,0	308,0	323,8	
1888—89	370	18.787	24.957	27.780	25.650	26.343	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	284,0	268,3	272,8	278,9	336,0	
1889—90	350	8.596	18.024	20.797	18.718	19.411	38.500	51.300	51.300	51.300	51.300	222,2	209,8	217,7	214,1	255,6	
1890—91	391	13.449	19.411	20.797	20.797	20.797	47.500	51.300	51.300	51.300	51.300	231,2	218,3	218,3	218,3	236,0	
1891—92	366	9.775	16.638	19.411	16.638	16.638	41.000	51.300	51.300	51.300	51.300	201,8	185,8	192,5	196,0	211,9	
1892—93	359	12.756	20.104	29.116	22.877	23.570	46.200	51.300	51.300	51.300	51.300	275,5	269,5	268,5	281,1	320,0	
1893—94	355	23.362	31.195	33.276	31.195	32.582	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	326,0	302,2	308,0	310,3	347,5	
1894—95	381	20.797	24.957	31.196	31.195	24.957	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	404,9	390,8	408,9	408,9	411,0	
1895—96	355	12.756	18.024	27.036	24.264	24.264	46.300	51.300	51.300	51.300	51.300	273,0	264,3	258,0	261,8	301,5	
1896—97	370	12.132	22.184	24.957	22.877	23.570	45.500	51.300	51.300	51.300	51.300	271,2	252,0	255,8	258,5	291,5	
1897—98	360	6.724	15.251	18.718	15.945	16.638	34.500	50.500	51.300	51.300	51.300	198,5	191,7	192,2	204,6	256,2	
1898—99	370	32.998	29.116	29.116	29.809	29.116	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	380,4	354,2	367,7	371,5	385,0	
1899—1900	366	18.232	24.264	27.036	24.957	27.636	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	305,0	288,8	292,6	296,5	340,0	
1900—01	365	15.737	20.797	24.264	21.490	23.570	51.200	51.300	51.300	51.300	51.300	264,6	250,3	255,0	260,6	303,0	
1901—02 *)	355	5.130	11.785	16.638	12.478	13.172	30.600	44.700	51.300	45.800	47.000	204,2	192,3	196,0	200,8	225,3	
1902—03	360	29.394	27.730	33.276	27.730	33.276	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	394,0	381,2	385,0	381,2	384,7	
1903—04	381	22.045	25.650	29.116	29.110	34.662	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	382,0	367,1	368,8	368,8	390,7	
1904—05	360	27.106	24.264	33.969	31.889	31.889	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	313,0	302,2	301,1	309,0	340,2	
1905—06	370	28.492	28.429	32.582	32.582	32.582	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	374,5	369,2	373,1	373,1	399,5	

*) Года особо маловодные.

Г о д ы.	Число дней в году.	Минимальная мощность на шинах низкого напряжения в Ленинграде в самые маловодные месяцы в году.					Мощность в часы максимума нагрузки на шинах низкого напряжения в Ленинграде в самый маловодный зимний месяц в году.					Количество энергии на шинах низкого напряжения в Ленинграде в 10 ⁶ кв.					
		Средняя за месяц.					По графику нагрузки 1929 года.					За годовой период.					
		Без годового регулирования.	При годовом регулировании по малому варианту, при отметке подпорного горизонта:			При равномерном режиме использования.	При режиме использ. с перел. на отметке 9,00	Без годового регулирования.	При годовом регулировании по малому варианту, при отметке подпорного горизонта:			При равномерном режиме использования.	При режиме использ. с перел. на отметке 9,00 1).	Без годового регулирования.	При годовом регулировании по малому варианту, при отметке подпорного горизонта:		
			9,0 с.	9,50 с.	10,00 с.				9,0 с.	9,50 с.	10,00 с.				9,0 с.	9,50 с.	10,00 с.
1906—07	365	14.766	18.718	20.797	19.411	20.797	40.300	51.300	51.300	51.300	51.300	237,0	227,7	226,2	229,1	254,0	
1907—08 *)	372	5.338	11.785	15.251	12.478	13.172	31.200	44.700	50.500	45.800	47.000	195,5	186,1	184,4	189,8	215,0	
1908—09	365	21.421	20.104	27.036	20.104	23.570	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	362,1	344,2	336,5	350,4	384,0	
1909—10	334	11.231	22.877	26.343	23.570	23.570	43.700	51.300	51.300	51.300	51.300	255,0	244,1	246,2	248,9	299,0	
1910—11	396	24.818	29.116	31.889	29.809	31.196	34.400	51.300	51.300	51.300	51.300	340,0	322,4	330,9	330,9	358,0	
1911—12	321	18.787	22.877	22.877	22.877	23.570	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	259,6	251,0	260,8	262,4	300,0	
1912—13	384	15.875	22.184	25.650	22.877	24.264	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	280,0	272,0	275,0	283,0	322,0	
1913—14	375	14.766	22.877	27.036	23.570	24.957	49.700	51.300	51.300	51.300	51.300	321,5	314,0	318,8	320,1	350,1	
1914—15	375	7.140	15.251	18.024	15.945	16.638	35.500	50.500	51.300	51.300	51.300	215,0	205,0	205,0	214,1	250,5	
1915—16	361	12.548	18.024	22.184	18.718	20.104	46.000	51.300	51.300	51.300	51.300	239,0	226,0	237,4	240,6	272,4	
1916—17	370	18.718	20.797	28.423	28.423	30.503	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	339,2	340,7	356,1	360,0	401,0	
1917—18	365	33.900	32.582	37.435	32.582	32.582	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	402,5	393,1	412,0	398,3	406,0	
1918—19	371	9.289	15.945	15.945	15.945	15.945	40.000	51.300	51.300	51.300	51.300	284,2	275,5	289,5	289,5	326,0	
1919—20	340	6.794	15.945	19.411	16.638	15.945	34.800	51.300	51.300	51.300	51.300	203,8	190,0	190,8	193,5	226,5	
1920—21 *)	370	3.258	11.785	15.251	11.785	11.785	25.500	44.700	50.500	44.700	44.700	177,8	165,4	172,5	177,1	214,7	
1921—22	375	10.537	17.331	20.104	17.331	17.331	42.500	51.300	51.300	51.300	51.300	198,0	186,9	193,3	193,3	215,6	
1922—23	376	15.043	23.570	27.036	23.570	25.650	50.200	51.300	51.300	51.300	51.300	306,0	290,1	294,7	298,2	327,5	
1923—24	355	38.544	31.196	36.742	36.742	36.742	51.300	51.300	51.300	51.300	51.300	406,3	405,2	400,9	400,9	428,0	
1924—25	370	10.953	18.718	23.570	19.411	22.184	43.300	51.300	51.300	51.300	51.300	273,4	255,6	264,1	267,2	302,5	
Среднее	365	16.253,5	21.459	25.271,8	22.845,4	23.633,2	45.000	50.660	51.250	50.770	50.830	282,4	270,0	274,0	279,4	308,8	
Максим.	396 (1882—83)	38.544 (1923—24)	32.582 (1917—18)	37.435 (1917—18)	36.742 (1923—24)	36.742 (1923—24)	—	51.300	51.300	51.300	51.300	406,3 (1923—1924)	405,2 (1923—1924)	412,0 (1917—1918)	400,9 (1894—1895)	428,0 (1923—1924)	
Миним.	321 (1911—12)	3.258 (1920—21)	11.785 (1882, 1901, 1907, 1920)	15.251 (1882, 1907, 1920)	11.785 (1920—21)	11.785 (1920—21)	25.500 (1920—21)	44.700 (1882, 1901, 1907, 1920)	50.500 (1882, 1907, 1920)	44.700 (1920—21)	44.700 (1920—21)	177,8 (1920—1921)	165,4 (1920—1921)	172,5 (1920—1921)	177,1 (1920—1921)	211,9 (1891—1892)	

*) Года особо маловодные.

1) В этой таблице мощности в часы максимума нагрузки подсчитаны в предположении работы станции и в летнее время. В маловодные годы для обеспечения полной мощности (51.300 кв.) в часы макс. зимней нагрузки необходимо работу Волховской станции в летний период приостановить и накопленную таким образом воду интенсивно сбрасывать зимой. (См. стр. 101).

Несколько неожиданный результат уменьшения общей годовой продукции энергии при задержке части весеннего стока объясняется тем, что наряду со включением в использование части терявшегося до этого весеннего стока, тем не менее при каждом варианте регулирования, при котором обеспечивается повышение зимних расходов воды, необходимо иметь в истоке р. Волхова более высокие, чем при естественном режиме стока, отметки гор. воды, чтобы осуществить возможность протекания по Волхову этих повышенных расходов. Таким образом, к началу весеннего подъема в озере остается неиспользованным некоторый слой воды, который при отсутствии регулирования был бы слит. Объем этого амортизуемого слоя в первых трех схемах превышает задержанную часть весеннего стока.

В окончательном расчете регулирование стока принято по схеме IV, т. е., что регулирование стока начинается с момента, когда озеро после прохода наивысшего паводка достигнет отметки 10,00 саж., после чего, в зависимости от водности года, через плотину пропускается расход воды не меньше 74 кв. саж./сек. до сработки озера до отметки 9,00 саж., после чего до начала весеннего подъема следующего года выпускается равномерный по бытовой водности расход.

Осветим также вкратце затопления Ильменской поймы, которые будут иметь место при регулировании стока по приведенной выше схеме.

Из общей амплитуды колебания гор. воды оз. Ильмень от 7,35 саж. до 10,80 саж. для сельско-хозяйственных нужд используются лишь земли, лежащие выше отметки 8,25 саж. Общая площадь Ильменской поймы между горизонталями 8,25 саж. и 10,50 саж. равна 93.000 десятин, из них пригодных для сельско-хозяйственного использования 62.000 дес. Рассматривая эту пойму в пределах полусаженных ярусов между горизонталями съёмки оз. Ильмень (см. альбом «оз. Ильмень и его пойма»), можно дать следующую общую характеристику водного режима на этих ярусах.

Угодия между горизонталями 10,5—10,00 саж. общей площадью в 17.700 дес., из них пригодных 14.800 дес., дают наибольший процент высокоценных угодий (пашни, усадебные земли, леса, высокие луга); они затопляются весенним разливом довольно редко (в среднем, один раз в четыре года) и мероприятия по регулированию на них никак не отразились бы.

Угодия между горизонталями 10,0—9,5 саж., общей площадью 20.000 дес., из них пригодных 13.200 дес., обычно заливаются весенними водами, но освобождаются от них сравнительно рано, и состоят преимущественно из хороших заливных лугов. Годовое регулирование затрагивает эти земли в небольшой мере, за исключением незначительного числа многоводных лет.

Угодия между горизонталями 9,5—9,00 саж., общей площадью свыше 27.000 дес., из них пригодных 15.100 дес., состоят в значительной части тоже из хороших лугов, и освобождаются из воды ежегодно, при этом обычно в середине лета (конец июня, начало июля). Годовое регулирование эти земли ухудшает, отодвигая срок их обнажения из воды на вторую половину лета (июль—август).

Угодия между горизонталями 9,0—8,5 саж., общей площадью в 17.700 дес., из коих пригодных 12.400 дес., заключают в себе луга пониженного качества, но большой урожайности. Земли эти используются в большинстве лет. Годовое регулирование выводит этот пояс в большинстве лет из хозяйственного использования.

Наконец, угодия между горизонталями 8,50—8,25 саж., общей площадью 11.400 дес., из них пригодных 8.000 дес., в меньшей части представляют собой неудобные земли, а остальные—мокрые осоковые луга, используемые все же в 50% случаев и дающие в большом количестве сено, правда, низкого качества. Годовое регулирование выводит и эти земли из использования совершенно.

Таким образом регулирование по IV схеме затрагивает до 56.000 дес., из них более ценных 35.500 дес. на пойме озера.

Режим зарегулированного стока. Влияние плотины Волховской гидроустановки на режим стока из оз. Ильмень и метод построения хода уровня озера при подпертом режиме—изложены во второй главе настоящей книги (стр. 31). Там же показано, что при подсчетах результатов годового регулирования с достаточной степенью точности можно пользоваться гидрологическими данными естественного режима, что в значительной мере упрощает ход расчета.

Весь подсчет велся методом построения суммарных кривых стока. На листе № 20 чертежей приведены расчетные графики за период 1920—1925 г. Все эти годы являются по своему режиму характерными, так как отклоняются в обе стороны от среднего до крайних пределов.

Для решения вопросов годичного регулирования строился в качестве исходного график притока воды в озеро. Ход построения этого графика изложен во второй главе настоящего труда. Для его построения были использованы графики колебания горизонта воды по Новгородскому и Волховскому водомерным постам и кривые расхода, отнесенные к Новгороду. На этом чертеже построены также кривые суммарного естественного стока из озера. Разности ординат кривых притока и стока дают накопленный или сработанный объем озера над принятым за исходный горизонтом воды.

Так как, согласно изложенному выше, для исполненного проекта принята схема, при которой регулирование стока начинается лишь после спада воды до отметки 10,00 саж., после чего через плотину пропускается расход в 74 кб. саж./сек. до того момента, когда отметка гор. воды озера снизится до 9,00 саж. и затем уже регулируется равномерный расход,—то проектная кривая стока подсчитывалась на основании изложенных положений. При назначении регулируемых расходов необходимо было считаться с тем, чтобы к концу периода регулирования, т. е. началу весеннего подъема следующего года, отметка гор. воды в озере строго соответствовала бы той, при которой возможен пропуск предположительного зарегулированного расхода. По условиям самого маловодного года (1920 г.) представляется возможным с начала половодья и по июнь месяц пропускать через плотину расход в 74 кб. саж./сек., причем при этом горизонт воды в озере не повышается выше 10,00 саж. К июлю отметка гор. воды озера понижается до 9,00 саж., и с этого времени зарегулирован однообразный до начала половодья 1921 г. расход. Величина его оказывается равной 17,0 кб. саж./сек. При таком расходе возможная наибольшая мощность, при работе по зимнему графику, не превышает 44.700 кв., т. е. в самый маловодный год, при регулировании в течение всего времени равномерного расхода, полная мощность Волховской установки не сможет быть использована. Так как в летний период пик графика нагрузки может быть покрыт одними только паровыми станциями, то в самый маловодный год оказалось бы более выгодным весь сток после весеннего половодья задержать в Ильменском водохранилище и начать работу Волховской станции с середины сентября, т. е. с того момента, когда мощность Ленинградских тепловых станций уже недостаточна для покрытия пиковой части графика нагрузки. При такой схеме регулируемый расход

может быть доведен до 25 кв. саж./сек., а таким образом, при применении суточного регулирования используется вся установленная мощность станции.

Из рассмотрения кривых стока (лист № 20) для 1922 г. с исключительно высоким весенним половодьем, 1923 г. с исключительно высоким осенним паводком и, наконец, 1924 г. с высоким весенним паводком, видно, что при регулировании сообразно принятой схеме, зимние расходы в достаточной мере увеличиваются сравнительно с таковыми же при естественных условиях, благодаря чему обеспечивается работа Волховской установки полной мощностью во весь зимний период.

На этом же чертеже показаны и графики регулирования расходов, а также графики колебания горизонтов воды в озере и ниже плотины. Последние строились по кривой расхода, отнесенной к Новгородскому водомерному посту, первые по величине потреяного напора, необходимого для пропуска зарегулированного расхода через Новгородскую плотину. Для наглядности значения регулирования, на графиках расходов нанесены также расходы, при которых Волховская гидростанция могла бы снимать пиковую часть графика зимней нагрузки, работая всеми установленными агрегатами, при условии, что летом, когда наибольшая потребная мощность может быть обеспечена одними тепловыми станциями, гидростанция не работает.

Из этих же графиков усматривается, что при таком зарегулированном режиме Волховская установка всегда имела-бы воду с избытком, и мощность ее могла бы быть даже несколько повышена.

Режим действия регулирующей плотины. При регулировании стока по малому варианту является необходимым иметь сведения об ожидаемом характере весеннего половодья. Данные эти получают от организованной службы предсказаний, которая одновременно дает прогноз и об ожидаемой водности года. При наступлении половодья плотина открывается полностью и держится в таком состоянии, пока весенний горизонт воды в озере не упадет до отметки 10,00 саж. После этого начинают поднимать фермы и закладывать часть щитов с таким расчетом, чтобы пропускаемый через плотину расход был бы 74 кв. саж./сек. и озеро продолжало срабатываться. Если по данным предсказания ожидался многоводный год и по ходу половодья предсказание это оправды-

валось, то может оказаться необходимым плотину открывать вторично. После спада горизонта воды озера до отметки 9,00 саж., плотина закрывается, в зависимости от предсказанной водности либо полностью и через нее пропускается расход отвечающий притоку в озеро, т. е. горизонт озера держится на отметке 9.00 саж., либо через нее пропускается такой расход, который мог бы считаться обеспеченным в течение всей зимы.

Судоходство, при открытой плотине, никаких препятствий встречать не будет, при закрытии ее пропуск судов будет совершаться через шлюз.

Выбор места плотины. Местом расположения регулирующего сооружения могут быть первые 8 верст течения р. Волхова от его истока до г. Новгорода. Первые три версты реки следует сразу отбросить из рассмотрения, так как здесь Волхов при средних горизонтах представляет озерный залив, шириной до 3,5 верст (см. чертеж лист № 21). Русло реки начинает лишь выявляться на 3-й версте, считая по фарватеру.

Здесь на левом берегу непосредственно к урезу подходит холм, на котором расположен скит Юрьевского монастыря, с наивысшей отметкой около 12,00 саж. Далее тянется гряда холмов Юрьевской слободы, достигающая отметки несколько выше 13,00 саж., отделяемая от Скитского холма небольшой ложбинкой. Гряда понижается на 4,5 версте.

Правый берег вблизи реки на всем этом протяжении представляет низину с довольно однообразными отметками, колеблющимися около 9,00 саж. Низина кончается у устья Сиверсова канала (начало 6-ой версты), подающего воду реки Мсты непосредственно в Волхов; за устьем канала расположен Городищенский холм, достигающий отметки несколько ниже 13,00 саж. За Городищенским холмом правый берег Волхова вплоть до самого Новгорода—низок, представляя собой в высокую воду разлив р. Малого Волховца, берущего начало из р. Волхова на 6,5 версте.

Левый берег против Городища также до Новгорода низок, причем вблизи уреза несколько повышается, образуя релку с отметкой около 9,50 саж. За релкой от реки местность понижается, переходя в Мячинское озеро-болото.

Необходимо упомянуть об искусственных сооружениях—недостроенных насыпи и мосте жел. дор. Ленинград—Орел, наличие

которых должно сыграть значительную роль в окончательном выборе места расположения регулирующей плотины.

Насыпь под два пути, высотой около 5,00 саж., пересекает Мячинское болото правого берега и подходит нормально к руслу у конца 5-й версты течения р. Волхова. Каменные опоры моста через р. Волхов закончены.

На правом берегу насыпь проходит в двухстах саженьях ниже Городищенского холма, соприкасаясь в дальнейшем с Нередицким холмом.

Из приведенного краткого описания района видно, что наиболее благоприятным местом расположения плотины является довольно короткий участок реки: от устья Сиверсова канала до истока р. М. Волховца (черт. л. № 22), длиной немного более одной версты.

Действительно расположение плотины вне этого участка увеличивает число сооружений. В случае расположения плотины выше устья Сиверсова канала схема общего расположения сооружений должна быть примерно такая (черт. № 21): главная регулирующая плотина ставится против Юрьевского монастыря, упираясь таким образом одним крылом в холм. Шлюз располагается на левом берегу, непосредственно примыкая к плотине верхней головой. От правого берегового устоя плотины по берегу идет дамба до устья Сиверсова канала, где необходимо поставить дополнительную плотину и шлюз, для пропуска судов и плотов, идущих из р. Мсты и обратно. Далее по тому же берегу, между Городищенским холмом и насыпью ж. д., должна пройти дамба. Еще одну коротенькую дамбу необходимо поставить между холмами к юго-западу от Юрьевского монастыря, на которых стоят деревни Рацен и Запорожье. Как видно, схема получается сложной и никаких особых выгод не представляет.

При попытке расположения главного регулирующего сооружения ниже истока р. М. Волховца, ближайшее подходящее место для плотины можно найти только в черте г. Новгорода. Но кроме главной плотины в этом случае потребовалось бы еще вторая в истоке р. Мал. Волховца и дамбы от нее, пересекающие пойму этой реки.

Устройство гидротехнических сооружений в черте города можно допустить лишь в крайнем случае из-за многих неудобств при этом возникающих: затопление ценных городских угодий, стеснение местного судоходства, необходимость более усиленного

надзора и др. При перенесении сооружений за черту города, последние два стеснения отпали бы, зато увеличились бы затопления.

Оставляя по изложенным соображениям в стороне мысль о расположении регулирующей плотины выше устья Сиверсова канала и ниже истока р. М. Волховцы, перейдем к рассмотрению расположения сооружений на этом участке. Выгоды такого расположения следующие: регулировка сосредоточивается в одном месте, так как плотина одна, длина сопрягающих дамб наименьшая, ибо полностью используется железнодорожная насыпь.

Для пояснения пригодности окончательно выбранного места под плотину приведем краткое геологическое описание русла реки от Сиверсова канала до истока р. М. Волховца. Для выяснения геологического строения в русле реки было заложено 26 скважин, а также использовано бурение (6 скважин) под железно-дорожный мост и журналы кессонных работ. Расположение скважин в плане показано на листе 23 чертежей.

Весь исток р. Волхова слагается современным и древним аллювием, древне-дельтовыми песками, ленточными глинами, валунным суглинком и, наконец, девонскими отложениями. Девонские глины имеют очень неровную поверхность и залегают они на отметках от 0,20 до 3,50 саж. над уровнем Балтийского моря. Мощность их достигает до 5,00 саж. и подстилаются они девонским известняком. Над девоном залегают морена, представленная валунными суглинками и песками. Выше встречаются ленточные глины, древне-дельтовый песок, под которыми располагаются речные песчаные отложения. Геологические поперечные и продольные профили показаны на приложенных чертежах листы 24—34.

Имея краткие сведения о геологическом строении истока р. Волхова, можно было приступить к окончательному установлению расположения оси регулирующей плотины. На выбранном участке реки возможны 3 комбинации месторасположения сооружений: 1) выше оси железно-дорожного моста, 2) по оси этого моста и, наконец, 3) ниже этого моста.

В первом случае ось плотины располагается параллельно оси моста, примерно, в двухстах саженях выше его.

Правый устой плотины упирается в Городищенский холм. Шлюз размещается у левого берега. Во избежание крутых поворотов судов, следующих через канал, между устьем Сиверсова канала и

шлюзом, необходимо устроить новый выход его в Волхов по кривой достаточного для судоходства радиуса.

Линия дамб необходима от шлюза до железнодорожной насыпи по левому берегу р. Волхова и между Гродищенским холмом и той же насыпью по правому. Недостатками этого варианта являются: необходимость переустройства устья Сиверсова канала и менее благоприятные геологические условия сравнительно с нижними вариантами расположения плотины.

Расположение плотины по оси железно-дорожного моста на первый взгляд кажется вполне целесообразным. Действительно в этом варианте отпадает необходимость устройства сопрягающих дамб и, кроме того, представляется заманчивым использовать устой и быки моста при сооружении плотины.

Однако, при более детальном рассмотрении эти преимущества отходят на второй план из-за возникающих при этом варианте осложнений, а именно:

1) стеснение живого сечения под мостом флютбетом плотины, что едва ли допустимо, ибо существующее сечение уже является минимальным, вследствие уменьшения его устоями и быками моста;

2) шлюз придется расположить или с речной стороны рядом с береговым устоем, что еще более стеснит живое сечение, или для него придется в дамбе устраивать специальное отверстие, перекрываемое отдельным жел. дор. мостом, что излишне удорожает стоимость сооружений;

3) система плотины предопределяется наличием моста, что устраняет выбор наиболее рационального типа таковой;

4) эксплуатация сооружения, служащего одновременно и для железно-дорожного и для водного транспорта, обычно очень неудобна и влечет за собой значительные затруднения.

Все перечисленные неудобства устраняются при расположении сооружения, примерно, в 100 саж. ниже оси моста. В этом случае мост даже полезен, так как его ледорезы обслуживают одновременно и плотину, предохраняя ее от действия ледохода. Шлюз в этом варианте располагается на левом берегу в небольшом деривационном канале, примыкая верхней головой к левобережному устью плотины. Устой плотины правого берега сопрягается с насыпью жел. дор. моста дамбой. Такая же дамба на левом берегу сопрягает жел. дор. насыпь с верхней головой шлюза.

Такое расположение сооружений, по сравнению с другими рассмотренными, обладает рядом преимуществ, не содержа их недостатки:

1) как уже было упомянуто, плотина здесь находится под защитой ледорезов моста;

2) стеснение живого сечения может быть достигнуто минимальное по заданию;

3) не встречается ограничений при выборе системы плотины;

4) подход судов к шлюзу из Сиверсова канала удобен;

5) перед шлюзом получается довольно значительная береговая линия для причала плотов и судов в ожидании шлюзования или в случае надобности для развития разгрузочно-погрузочных операций для грузов, следующих смешанным водно-железнодорожным путем;

6) наконец, преимуществом этого варианта является наиболее благоприятное геологическое строение ложа Волхова в этом месте. Действительно, как это видно из сравнения геологических разрезов, материковые породы—девонские глины—ближе всего подходят к поверхности именно в этом сечении. Наинизшая отметка девона 1,38 саж., а наивысшая 3,97 саж. над уровнем Балтийского моря. В русле реки девонские глины образуют возвышение с наивысшей отметкой 3,70 саж., которое опускается к правому и левому берегу. На правом берегу девон затем повышается довольно резко, в то время как на левом повышение это идет очень слабо (см. черт. л. 29).

Выбор типа плотины. Основные условия, которым должна удовлетворять плотина в истоке р. Волхова, следующие:

1. Во время весеннего половодья стеснение живого сечения реки должно быть крайне незначительно, чтобы не вызвать дополнительного подпора и излишних затоплений в разливе, которые даже в естественных условиях в исключительно многоводные годы достигают катастрофических размеров.

2. При наинизшем возможном горизонте воды нижнего бьефа кругло на отметке 7,50 саж. (сообразно отметке гребня плотины 7,39 саж. у Званки) и при выбранной отметке подпорного горизонта воды 10,0 саж. подпор на плотине составит 2,50 саж.

3. Наименьшая отметка дна на выбранном профиле, который не подлежит перемене, равна 5,70 саж., т. е. ниже подпорного горизонта воды на 4,30 саж.

4. Стоимость плотины должна быть наименьшей.

Из первого условия следует, что плотина должна быть разборчатой. При этом от систем, связанных с необходимостью постройки моста, как например, система Тавернье, приходится отказаться из-за громоздкости опускных стоек. Действительно, при отметке порога около 7,50 саж. и отметке низа мостовой упорной фермы 15,00 саж., высота стоек получается около 15,00 мтр. При такой высоте сооружения стойки, а следовательно и все закрытие получится очень тяжелым. Кроме того, как это указано было и выше, воспользоваться быками существующего моста не представляется возможным.

Далее, при напоре в 2,50 саж. представили бы значительные технические трудности системы плотин: цилиндрические, секторные, «Бер-Треп», Шаноана и Дефонтена, являющиеся к тому же и более дорогими, чем плотины типа Поаре. Преимущества первых в возможности более быстрого управления ими, в данном случае, при медленном и плавном изменении горизонта воды в верхнем бьефе т. е. оз. Ильмень не имеют существенного значения.

Таким образом все преимущества остаются на стороне плотины системы Поаре, обладающей достаточной устойчивостью при навалке плавающих тел и льда, допускающей применение сравнительно высоких напоров, выделяющейся простотой конструкции и управления, вследствие этого эта система и принята в описываемом проекте.

Некоторые соображения, проверенные расчетом, представляются в пользу разновидности системы Поаре, предложенной проф. Н. П. Пузыревским, сводящиеся к тому, что в его системе передняя стойка имеет более массивное образование, при котором фермы лучше будут противостоять действию осеннего ледохода, и во-вторых, вес ферм его системы при тех же условиях несколько меньше.

Место расположения и основные размеры шлюза. В принятом месте расположения плотины наиболее удобным для размещения шлюза является левый берег вследствие того, что с этой стороны возможно протрассировать деривационный канал, спрямляющий выпуклость берега и сопрягающийся с фарватером вполне удобно с низовой стороры и удовлетворительно с верховой (см. черт. л. 22). Расположение шлюза с правого берега имело бы недостатком неудобный выход плотов, в непосредственной близости ответвления от р. Волхова Малого Волховца, вследствие чего явилась бы опасность затягивания плотов в этот последний. Кроме того, плоты по выходе из Сиверсова канала в Волхов по

инерции откидываются к левому берегу, под которым им и удобнее подвигаться к шлюзу.

Для выбора размеров шлюза в плане могут служить двоякого рода соображения: 1) придать шлюзу размеры, вытекающие из нужд современного судоходства, с учетом возможного развития его в ближайшем будущем—такой подход явился бы целесообразным при сооружениях временного типа, или 2) принять размеры шлюза одинаковыми с таковыми же на Волховской гидростанции или же с размерами шлюзов намечаемых при плотинах на проектируемых Мстинских установках, с целью обеспечить одинаковые транзитные условия с верховым или низовым участком водного пути в этом пункте.

Полагая, что вопрос этот в окончательной форме может быть разрешен лишь по согласовании его с органами НКПС, в предлагаемом предварительном проекте для освещения наибольшей, предельной стоимости шлюза, разработан тип капитального сооружения при наибольших его размерах в плане, каковыми являются размеры шлюза при Волховской станции: 8 саж. ширины и 70 саж. полезной длины, считая таковую между внутренними углами шкафных частей.

Отметка короля шлюза принята 6,50 саж., исходя из стремления обеспечить и в исключительные годы минимальную глубину на короле шлюза в 1,00 саж., что равносильно принятию наинишей отметки горизонта воды нижнего бьефа при регулирующей плотине 7,50 саж. Что эта отметка является наинишей возможной, следует из таких соображений: при регулируемом стоке оз. Ильмень средний расход в самые маловодные годы не спускается ниже 17 кб. саж./сек., чему соответствует отметка нижнего бьефа 7,84 саж. и глубина на короле 1,34 саж. Наименьший расход, для которого был выполнен точный расчет кривой подпора ¹⁾, равен 14,00 кб. саж./сек. При этом расходе и отметке на гребне плотины у Званки 7,39 саж., отметка горизонта воды у регулирующей плотины определилась в 7,78 саж., т. е. полное падение р. Волхова на протяжении 180 верст его длины составляет $7,78 - 7,79 = 0,39$ саж. Вычисление этого падения при меньших расходах воды вследствие чрезвычайной малости этой величины перестает быть надежным. Если принять, приближенно, что при расходах воды ниже 14,00 кб. саж./сек. падение будет

¹⁾ См. „Материалы по исследованию р. Волхова и его бассейна“, вып. XXI.

уменьшаться пропорционально квадрату расхода, как это следует из формулы Шези, и пренебрегая при этом изменением площади живого сечения и гидравлического радиуса, меняющихся очень незначительно, то найдем, что отметка 7,50 саж. будет соответствовать расход воды в Гостинополе 7,50 кб. саж./сек. Около трети этого расхода даст боковой приток Волхова, даже при полном закрытии регулирующей плотины и, следовательно, для обеспечения принятой за нисший предел отметки нижнего бьефа 7,50 саж., необходим был бы пропуск воды из озера порядка около 5,0 кб. саж./сек., который может быть выполнен без заметного ущерба для интересов силовой станции в зимнее время, так как пропуск такого расхода поглощает в течении месяца сливную призму озера около 0,04 саж. высотой.

Изложенные соображения относятся исключительно к маловодным годам (1921 г.). В обычные маловодные годы, при наиболее пониженном темпе работы станции в летний период, для избежания значительных потерь в ливии передачи, работа станции должна производиться по крайней мере двумя агрегатами. Полагая работу их с ночными перерывами, потребуется средний секундный расход в $9,2 \times 2 \times \frac{17}{24} + 1 = 14,1$ кб. саж./сек. При таком же расходе отметка нижнего бьефа у Новгородской плотины будет 7,78 саж., а следовательно глубина на короле шлюза 1,28 саж.

Ежегодное действие шлюза будет происходить с момента опускания озера на спаде весеннего половодья до отметки 10,00 саж. Наивысший же уровень в годы наибольшего половодья возможен до отметки 11,00 саж., в соответствии с чем должны быть назначены отметки верха шлюза и дамб.

Общее описание сооружений. Как уже отмечалось выше, регулирующие сооружения расположены в 100 саж. ниже недостроенного моста жел. дороги Ленинград—Орел и состоят из плотины Поаре, однокамерного шлюза и сопрягающих дамб. Здесь же располагаются служебные постройки: служебные дома и складочные помещения.

Плотина. Отверстие плотины в 294 м (расчет коего приведен ниже) закрывается 209 металлическими фермами, расставленными на расстоянии 1,40 мтр. ось от оси. Общая высота фермы (черт. л. № 38) при напоре в 5,34 мтр. и глубине порога в 0,91 мтр.

определилась в 6,750 мтр. В конструктивном отношении ферма разбита на 3 панели с расстояниями между распорками 1,9 мтр.; 2,20 мтр. и 2,65 мтр. Для удобства маневрирования щитами передней стойке придан уклон в $\frac{1}{10}$. Ширина фермы по низу назначена 4,30 мтр., ширина же по верху, обусловленная конструкцией служебного мостика, принята в 1,50 мтр. Опорные части: шипы—стальные, подшипники—чугунные. Подшипники установлены на специальных подферменных камнях, надежно связанных с бетонным телом флютбета. Служебный мостик, перекинутый через всю плотину, состоит из рельс типа «Виньоль» № 10 и досчатого настила. Рельсы, помимо своего прямого назначения для передвижки крана, являются одновременно рабочей конструкцией и служат для связи ферм между собою. Опускание и подъем ферм с флютбета производится посредством лебедки, устанавливаемой на устое без ниши. Стальной трос, идущий от лебедки, перекидывается через блок, установленный на последней поставленной ферме, и скрепляется со специальным кольцом подъемной цепи. Как только ферма подтягиванием троса доведена до вертикального положения, она скрепляется с соседней уже закрепленной предварительно посредством специального крюка, укрепленного в низовом узле верхней распорки (см. черт. л. 38), а затем уже окончательно рельсами Виньоля. Вес одной фермы 1,676 тонн, а общий вес всех металлических частей плотины составляет 516 тонн, т. е. 1,76 тонны на погонный метр.

Основная часть флютбета плотины запроектирована бетонной. Ее ширина равна 18,50 мтр. (черт. л. 37) и общая длина между вертикальными гранями устоев 294 мтр. Толщина флютбета под фермой 3,00 мтр. Из общей ширины в 18,50 мтр. на понурную часть, включая порог, приходится 7,25 мтр., фермами занято 4,46 мтр. и остальные 6,79 мтр.—на водобой. С низовой в верховой стороны бетонной части флютбета устроены зубья, шириной по низу 1,00 мтр., по верху 3,00 мтр. и глубиной 2,00 мтр.

Для полного пересечения водоносного слоя (черт. л. 36). под верховым зубом помещена прямоугольная бетонная стенка шириной 1,00 мтр. и высотой на протяжении 40 мтр. от правого устоя в 3,25 мтр. и в остальной части 2,25 мтр. Таким устройством верховой зуб флютбета на ∞ 1,50 мтр. врезан в водоупорный грунт, благодаря чему возможность фильтрации доведена до минимума. Кроме того бетонный массив флютбета огражден с напорной сто-

роны брусчатым 4" шпунтом с отметкой низа 2,03 саж. = 4,33 мтр., а с низовой 2¹/₂" досчатым, доведенным до отметки 3,05 саж. Между низом зуба и верхом вертикальной стенки оставляется шов, закрываемый противофильтрационной металлической пластинкой (с применением асфальта). С низовой стороны вертикальная стенка ограждена также шпунтовой брусчатой линией, забитой до отметки 1,55 саж. = 3,33 мтр. Этот же шпунт служит палубой при бетонировке. Бетон в флютбете запроектирован 1:3:6 и 1:4:8. В верхней части флютбет армирован рельсами типа IV, к которым приклепывается швеллер, служащий опорой для низового подферменного камня. Ниши для верховых подшипников покрыты бетоном.

Понур, примыкающий к бетонной части флютбета (черт. л. 37) имеет ширину 15,00 мтр. и состоит из слоя чуры толщиной 0,75 мтр. и двойной мостовой толщиной 0,50 мтр. В начале и конце понура устроены зубья из чуры. За бетонной частью флютбета располагается на протяжении 40,0 мтр. рисберма, из коих на первых 35,00 метрах устроены хворостяные клетки со стороною в 1,00 мтр. Основую для клеток служат свайки длиной 2,50 мтр., диаметром 1¹/₂ вершка. Клетки заполнены на 0,30 мтр. утрамбованным щебнем и на 0,7 мтр. рваным камнем. Часть рисбермы в 35,00 мтр. заканчивается рядом 4-х вершк. свай и на остальных 5,0 мтр. сходит на нет.

Устой плотины исполнены также из бетона. По ограниченности места и по схеме сопряжения плотины со шлюзом устой с нишей расположен на левом берегу реки со стороны шлюза. Глубина ниши сообразно с размерами ферм и расстоянием между ними определена в 6,10 мтр.; ширина ее—4,50 мтр. Низ основания устоя лежит на глубине нижней грани флютбета, т. е. на отметке 5,51 саж. (11,75 мтр.). Бетонная часть флютбета, на которой помещается устой с нишей, меняет свою ширину с 18,50 (в плоскости речной грани) до 12,00 мтр. (в плоскости задней грани устоя). В плане устой имеет П-образную форму (черт. л. 39). Размер устоя в направлении нормальном к оси плотины равен 12,00 мтр., в направлении по оси плотины с верховой стороны 25,0 мтр. и с низовой 17,50 мтр. Верховая стенка, шириной по верху в 2,00 мтр., соединяет устой со шкафной частью шлюза. Низовая стенка имеет ширину по верху в 1,60 мтр. и до шлюза не доведена.

Для пересечения водоносного слоя с верховой стороны стенки, соединяющей устой со шлюзом, помещен бетонный зуб прямо-

угольного сечения толщиной 1,00 мтр. Конец зуба запроектирован на отметке 3,51 саж. (7,50 мтр.).

Толщина всех стенок со стороны засыпки увеличивается уступами к основанию. Отметка верха устоя 11,20 саж. (23,97 мтр.).

Отметка верхней грани устоя без ниши в соответствии с отметкой подошвы рельса для передвижки подъемного крана назначена 10,25 саж. (21,90 мтр.). Устой этот в плане имеет II-образную форму (черт. л. 41). В направлении оси плотины длина его по верху равна 11,50 мтр., в нормальном направлении 10,00 мтр. Толщина стенки, обращенной к плотине, по верху равна 2,25 мтр. В крыльях эта толщина уменьшается до 1,20 мтр. Утолщение стенок устоя осуществлено только с внутренней стороны при помощи 6 уступов. Полная высота устоя 12,15 мтр. Основанием устоя без ниши служит продолжение бетонной кладки флютбета. Шпунтовые стенки, расположенные по краям бетонной части флютбета, продолжены также по боковым стенкам основания устоя и врезаны затем на 5 мтр. в берег параллельно оси дамбы.

Так как отметка наивысшего горизонта воды в реке Волхове равна 11,00 саж. (23,47 мтр.), а отметка устоя назначена 21,90 мтр., то для предупреждения перелива воды по верховому крылу устоя предусмотрено устройство парапета высотой 2,07 мтр., т. е. до отметки 23,97 мтр. и шириной 0,70 мтр. Парапет этот продолжен за устой на 5,60 мтр. с устройством для него вне устоя специального фундамента.

Выступающая часть парапета обсыпана с обеих сторон конусами из сухой кладки с полуторными откосами и сопрягается с основной дамбой вспомогательной, имеющей по верху ширину 2,00 мтр.

Выше было отмечено, что плотина сопрягается с насыпью жел. дор. Ленинград—Орел дамбами. На левом берегу сопрягающая дамба начинается от верхней головы шлюза и имеет прямолинейное направление нормальное к оси шлюза на протяжении 73 мтр. Затем дамба под углом 155° отклоняется к югу. Радиус кривой 300 мтр., длина ее 132 мтр. После поворота дамба опять имеет прямолинейное направление и, сохраняя таковое, сопрягается с жел. дор. насыпью.

Наибольшая высота дамбы 2,73 саж. = 5,80 мтр. Ширина дамбы по верху 6,00 мтр. Верховой откос двойной укреплен двойной мостовой на мху, низовой также двойной и защищен одерновкой.

Правобережная дамба на протяжении 8,50 мтр. от задней грани устоя горизонтальна и имеет отметку 21,90 мтр. (10,25 саж.). Затем на протяжении следующих 42,2 мтр. основная дамба имеет подъем в $\frac{1}{20}$ и подымается с отметки 21,90 мтр. до отметки 23,97 мтр. В этом месте дамба имеет значительное уширение, на котором устраиваются складочные помещения для хранения щитов, помещение для стоянки крана и прочие устройства. В дальнейшем дамба имеет на протяжении 64 мтр. прямолинейное направление, после чего под углом в 170° поворачивает к югу и сопрягается с железнодорожной насыпью (черт. л. 41). Откосы дамбы двойные и укрепляются она аналогично левобережной. По правобережной дамбе уложены рельсовые пути, по которым перевозятся щиты к складочным помещениям. Ширина колеи 1,00 мтр. План путей усматривается из черт. л. 41.

Как указано было выше, на площадке правобережной дамбы устроены: сарай для щитов, площадью 260 кв. мтр., два склада для помещения механизмов площадью по 21 кв. мтр. каждый и, наконец, склад для хранения запасных ферм площадью 120 кв. мтр.

Шлюз. По принятой схеме регулирования шлюз работает при отметках горизонта воды на озере ниже 10,00 саж. (21,34 мтр.). Наибольший напор на шлюзе, так же как и на плотине 5,34 мтр. (2,50 саж.).

Геологический разрез по оси шлюза показан на черт. л. 31, из коего видно, что в месте расположения шлюза имеется мощный слой суглинков общей толщиной около 5,50 мтр., под которыми залегают водоносные пласты песка мощностью от 2,00 до 4,50 мтр. Ниже песков идет мощный слой валунной глины, подстилаемой девонскими разноцветными глинами. Основание шлюза запроектировано в песчаных слоях.

Шлюз, как это было отмечено в общей схеме, располагается в деривационном канале. Верхний подходный канал имеет ширину 27,50 мтр. (черт. л. 39), нижний 50,50 мтр. Отметка дна каналов 15,87 мтр. (6,50 саж.). Откосы полуторные. Дно верхнего участка канала укреплено одиночной мостовой на протяжении 30,00 мтр., в нижнем канале на протяжении первых 30,00 мтр. дно укреплено двойной мостовой, дальнейшие 10 мтр. одиночной. Откосы каналов в пределах укрепленного дна защищены двойной мостовой на всю высоту.

Для улучшения входа в шлюз судов, идущих вниз, с речной стороны верхнего бьефа запроектирована направляющая дамба, по типу северо-донецких, длиною 50,00 мтр. Дамба (черт. л. 40) образована из засыпки внутреннего ядра грунтом и внешней отсыпи для укрепления этого ядра, в виде каменных призм, расположенных в несколько ярусов. Ширина дамбы по верху 2,13 метр., откосы одиночные. Боковая поверхность укреплена сухой кладкой из крупных околотых камней. Под основанием дамбы, в головной части и с речной стороны, уложен тяжелый тьюфак, имеющий ширину 8,00 мтр., из коих 3,00 мтр. находятся под дамбой.

Для облегчения направления судов в подходных каналах у береговой стороны устроены деревянные эстакады, каждая по 120 мтр. длиною. Ширина эстакад по верху 2,00 мтр.; возвышение настила над наивысшим горизонтом, при котором работает шлюз, равно 0,50 мтр.

В верхнем подходном канале, от конца направляющей дамбы и до оси жел. дор. моста, расположена линия кустов свай, назначение которых, не допуская нагона судов ветром на плотину, служить причалом для судов, ожидающих входа в шлюз. Подобные же кусты свай помещены и в низовом канале с речной стороны, на протяжении 120 мтр. Расстояние между кустами 20,0 мтр. и состоят они из семи 6-ти вершк. свай.

Шлюз проектируется бетонным. Размеры его: полезная длина камеры 149 мтр., ширина 16,07 мтр. и наименьшая глубина на короле 2,13 мтр. Питание шлюза осуществляется посредством водопроводных галлерей, проложенных в его стенках. Живое сечение галлерей определено на основании времени наполнения, принятого по примеру существующих больших шлюзов в 480 сек.

Сечение галлерей прямоугольное, перекрытое пологим сводом, площадь сечения 6,35 кв. мтр., ширина 3,00 мтр. и наибольшая высота 2,30 мтр. Вход и выход питательных устройств в бьефы осуществлены в торцовых частях голов шлюза, причем оси галлерей имеют в плане некоторый наклон и пересекаются на оси шлюза в расстоянии 30,00 мтр. от наружной грани головы. Площади выводных отверстий, сохраняя прямоугольное очертание, доведены до 8,26 кв. мтр.

От продольных галлерей в камеру ответвляются по 10 боковых отверстий площадью по 0,95 кв. мтр. каждое. В нижней и

верхней головах водопроводные устройства оборудованы щитовыми затворами на катках и пандорными закрытиями, допускающими в случае надобности производство ремонта.

Шлюзные головы. Верхняя голова шлюза стенки падения не имеет. Длина головы 23,20 мтр., длина шкафной части 11,00 мтр., входной стенки 4,00 мтр. и, наконец, упорной стенки 8,20 мтр. Стрела королевой линии 3,35 мтр. Шлюзные площадки возвышаются над наивысшим горизонтом воды на 0,50 мтр. и имеют отметку 23,97 мтр. К верхней голове с береговой стороны примыкает дамба, описание которой приведено выше.

Шкафная часть имеет порог высотой 0,5 мтр. Углубление шкафа равно 1,25 мтр., которые слагаются из толщины ворот (1,00 мтр.), зазоров между воротами и внутренней гранью стенки (0,10 мтр.) и внешней (0,15 мтр.). Высота головных стен 10,10 мтр., в шкафной части 10,60 мтр. Фундамент голов сплошной бетонный с двойной арматурой из круглого железа.

Ворота, как в верхней, так и в нижней головах, предусмотрены на вертикальной оси стоечного типа.

Камерные стенки. Ввиду полного обеспечения водой для питания шлюза и с целью уменьшения его стоимости, камерные стены спроектированы в виде бетонных полустенок, заключающих в себе галлерею для питания шлюза (черт. л. 40). Выше уровня нижнего бьефа полустенка переходит в полуторные откосы, обделанные двойной мостовой на мху. Камерные стены выбраны по типу, разработанному в проекте водного пути между Камой и Иртышом. Подобная конструкция осуществлена уже на реке Молдаве в Либшице, в Германии в шлюзе на Дортмунд-Эмском канале и на шлюзах р. Майн. Площадки камерных стен имеют ширину 6,50 мтр. и замощены одиночной мостовой. Наружный земляной откос стен камеры одернован. Заканчивается откос полуторным конусом, который, как и часть примыкающего к нему откоса замощен одиночной мостовой на мху.

Бетонные полустенки разбиты на отдельные массивы температурными швами, расположенными на расстоянии 27,40 мтр. друг от друга.

Для удобства проводки судов в камере вдоль каждой стенки предусмотрено сооружение деревянной эстакады, шириной по верху в 2,00 мтр. Эстакада состоит из 6-ти вершковых стоек с укло-

нами. Стойки прикреплены к бетонным полустенкам железными анкерами и обшиты пластинами. Для причала судов используются стойки эстакада, которые для этого выпускаются на 0,80 мтр. выше настила и изготавливаются из 8-ми вершк. леса. В местах устройства тумб конструкция эстакады соответственно изменена для восприятия усилий от зачаливаемого судна. На каждой тумбе установлено по 3 рыма. На головах шлюза также установлено по 2 ряда рымов, по три в каждом ряду.

Ввиду большой ширины заграждение шлюза на случай ремонта осуществляется установкой ферм Поаре, которые могут быть взяты из числа запасных для плотины. Подшипники для ферм закладываются в бетон в особо устроенных траншеях и закрываются съемными щитами. Доставка ферм со склада на место производится на специально оборудованных парных понтонах, а установка—помощью водолазов.

Расчет плотины. а) Выбор отметки порога флютбета. При выборе отметки порога плотины необходимо считаться с тем, чтобы излишне не увеличивать мертвого слоя оз. Ильмень, т. е. той части озера, которая находится ниже наинизшего возможного горизонта воды. Физической границей этого слоя является уровень на отметке 7,05 саж. над уровнем Балтийского моря, соответствующей нисшей точке дна седловины перевала из озера в р. Волхов.

До сооружения Волховской гидростанции фактической границей мертвого слоя можно было считать уровень 7,35 саж., соответствующий самому низкому наблюденному уровню в истоке р. Волхова за последние 45 лет. После сооружения плотины у Званки с гребнем на отметке 7,39 саж., на каковой высоте будет обычно поддерживаться уровень воды на плотине, отметка горизонта воды на оз. Ильмень уже не сможет опускаться ниже этого предела, а самый этот предел мог бы лишь теоретически иметь место при расходе Волхова равным нулю.

Наименьший зарегулированный расход р. Волхова при годовом регулировании по рассматриваемому варианту определен в 17 кб. саж./сек. При этом расходе отметка горизонта воды на озере, на основании данных подсчета кривых подпора, составляет 7,83 саж. При проходе этого расхода через живое сечение регулирующей плотины создавался бы следующий подпор:

При	отметке порога	7,40 саж.	подпор	0,015 саж.
»	»	» 7,50	»	» 0,020
»	»	» 7,60	»	» 0,050
»	»	» 7,70	»	» 0,120

Подсчеты велись при отсутствии затопления со стороны нижнего бьефа по формуле

$$Q = m \sqrt{2g} \cdot b H^{3/2} = M b H^{3/2}$$

где:

M — коэффициент расхода = $0,32 \sqrt{2g} = 1,42$

b — ширина отверстия плотины в метрах

H — возвышение горизонта воды верхнего бьефа над порогом + скоростной напор. в мтр.

В случае затопленного водослива применялась формула

$$Q = \sigma_n M b H^{3/2}$$

где: σ_n — коэффициент затопления равный

$$\sigma_n = k \sqrt{1-k} : \frac{m}{\varphi} = \frac{k \sqrt{1-k}}{0,385} ; k = \frac{a}{H}$$

a — глубина над порогом воды нижнего бьефа

H — глубина над порогом воды верхнего бьефа увеличенная на скоростной напор.

Величины подпоров при разных расходах приведены в таблице № 17.

Т а б л и ц а № 17.

№ по порядку.	Отм. гор. воды нижнего бьефа в сж.	Расход воды кб. саж./сек.	Величина перепада в саж. при отметке порога			
			7,40 сж.	7,50 сж.	7,60 сж.	7,70 сж.
1	7,68	10	0,012	0,027	0,100	—
2	7,77	14	0,013	0,020	0,055	0,150
3	7,83	17	0,015	0,020	0,050	0,120
4	8,00	30	0,019	0,020	0,035	0,059

Как усматривается из приведенной таблицы, отметка порога плотины 7,50 является наивысшей, при которой почти-что с одинаковым подпором можно пропустить разные расходы. Понижение порога ниже этой отметки не даст скольконибудь заметных улучшений. Повышение же порога вызывает прогрессивное возрастание подпора и тем самым увеличивает мертвый слой озера.

Более наглядную иллюстрацию влияния отметки порога флютбета на величину создаваемого дополнительного подпора на озере при разных расходах дает изображенный на чертеже л. 35 график кривых расхода и подпоров в живом сечении плотины. На этом графике приведены кривые расхода для нижнего бьефа регулирующей плотины как для естественного состояния р. Волхова, так и для подпертого плотиной Волховской гидростанции, которая имеет нулевую точку на отметке 7,39 саж. (отметка гребня плотины у станции) и построена по данным подсчета кривых подпора. Здесь же даны кривые расхода при отметках гребня плотины 7,40 саж., 7,50 саж., 7,60 саж. и 7,70 саж. В нижней части чертежа изображены кривые, выражающие зависимость величины перепада, создаваемого регулирующей плотиной в зависимости от расхода воды при разных отметках порога флютбета. Наконец, пучек кривых в правой части графика повторяет последнюю зависимость в другой проекции, при которой особенно наглядно иллюстрируется положение, что отметка порога флютбета 7,50 саж. является предельной наивысшей, до которой сохраняется почти одинаковый подпор на озере в 0,02 саж. при разных расходах.

Изложенные соображения и позволили окончательно остановиться на отметке порога 7,50 саж.

Из неучтенных в подсчете отметки порога обстоятельств можно указать на два:

1) наинизший возможный расход в 17 кв. саж./сек. положенный в основу выбора отметки флютбета, может иметь место в конце зимы при ледяном покрове, а не при открытом русле, к которому отнесены исчисления кривых подпора;

2) подпорные кривые, по которым определены отметки горизонта воды нижнего бьефа регулирующей плотины при разных расходах, исчислены в предположении некоторого среднего притока по длине самого Волхова. Поэтому расход, отвечающий этим уровням, проходит не в полном указанном объеме через живое

сечение плотины, а постепенно нарастает до своей величины по мере приближения к Волховской гидростанции.

Не трудно, однако, учесть, что оба отмеченные условия влияют в сторону уменьшения исчисленного перепада на регулирующей плотине. Действительно, в первом случае, с увеличением при ледяном покрове сопротивления в русле, при тех же отметках на плотине станции и в нижнем бьефе регулирующей плотины, в реке, а следовательно и в створе плотины будут проходить меньшие расходы, чем это принято в расчете. Второе обстоятельство, на основании сказанного выше, также влечет некоторое уменьшение расхода воды в истоке, что имеет следствием и уменьшение подпора на плотине.

Расчет отверстия плотины и проверка скоростей течения. Исходя из принятой отметки порога плотины в 7,50 саж. и необходимости при незатопляемых дамбах, сопрягающих плотину с берегами, пропуска всего внесенного расхода через открытую плотину, ведем расчет ее отверстия на максимальный расход, имевший место за последние 45 лет. Таковым явился расход во время весеннего половодья 1922 года при горизонте воды у Новгорода с отметкой 10,80 саж.

Этот расход, измеренный поплавками на Хутынской гидрометрической станции, определен в 255 кб. саж./сек. Допуская возможность ошибки при измерениях расхода поплавками около 20%, получим расчетный расход $1,20 \times 255 = 306$ кб. саж./сек. или кругло 3000 кб. мтр./сек.

Отметка горизонта воды, отвечающая такому расходу у оси проектируемой плотины, равна 10,83 саж.

Отверстие плотины определено, исходя из двух условий:

1) дополнительные затопления земель при максимальном разливе озера, вызываемые подпором открытой плотины, должны быть возможно меньше. Пределом возможного перепада, при наибольшем расходе, принимаем величину в 10 см.;

2) скорости в створе плотины в интересах судоходства не должны превышать 2,00 мтр./сек.

Предварительно отверстие плотины определено было грубо для расхода в 255 кб. саж./сек., при подпоре в 0,05 саж. и глубине воды нижнего бьефа над порогом $10,80 - 7,50 = 3,30$ саж., пользуясь приведенной выше формулой расхода воды для затопленного водослива. Отверстие плотины при этом получилось $294 \text{ мтр.} = 137,8 \text{ саж.}$

При окончательном подсчете отверстия учитывалась скорость подхода, которая при площади живого сечения в 2820 кв. мтр. оказалась равной $\frac{3000}{2820} = 1,06$ мтр./сек.

Пользуясь той же формулой для затопленного водослива, отверстие определилось в 292 мтр., что почти точно совпадает с определенной предварительным подсчетом величиной, вследствие чего отверстие плотины и принято в проекте 294 мтр. При принятом расстоянии между фермами Поаре в 1,40 мтр.; число их должно быть 209 шт.

При толщине переливающегося слоя в 7,20 мтр. и ширине отверстия 294 мтр., живое сечение имеет площадь 2120 кв. мтр., и таким образом средняя скорость для всего сечения $= \frac{3000}{2120} = 1,42$ мтр./сек. Наибольшая поверхностная скорость из зависимости $V_{\text{ср.}} = 0,8 V_{\text{max}}$ определяется в 1,78 мтр./сек. $< 2,00$ мтр.

Кроме указанного произведена также проверка скорости перед закрытием плотины, т. е. в момент, когда на спаде уровень воды в озере достигает отметки 10,00 саж. Расход воды из озера при этой отметке, определенный путем построения кривых подпора, составляет 1600 кв. мтр./сек. и соответственная наибольшая скорость 1,20 мтр./сек. Таким образом, во время открытой плотины наибольшие поверхностные скорости по оси плотины будут колебаться в пределах 1,20—1,78 мтр./сек., вместо имеющих место в естественных условиях 0,72—1,06 мтр.

Расчет флютбета. Расчету подвергался элемент флютбета по длине равный расстоянию между фермами, т. е. 1,40 мтр.

Кроме проверки прочности флютбета на изгиб, были исполнены проверки на скольжение, опрокидывание и, наконец, определены, давления на грунт в крайних точках флютбета.

Проверка на скольжение и опрокидывание. Действующие силы приведены в таблице № 18.

Коэффициент устойчивости на скольжение определен

$$K = \frac{178,8 \times 0,3}{36,5} = 1,46.$$

Опрокидывание всей системы может произойти около нижнего ребра заднего зуба. Действующие моменты всех сил вокруг указанного ребра приведены в таблице № 19, причем моментом, вращающим флютбет по часовой стрелке, принят знак +, а в обратном направлении знак —.

Т а б л и ц а № 18.

№№ по ряду.	Действующие силы.	Горизонталь-	Вертикаль-	Примечание.
		ные в тоннах.	ные в тоннах.	
1	Горизонтальная сила от фермы	21,6	—	Знак + для сил, действующих сверху вниз; знак — для сил обратного направления.
2	Гидростатич. давление	43,8	—	
3	Отпор грунта	— 35,2	—	
4	Напор грунта	+ 6,3	—	
5	Сила от верхов. подш.	—	— 10,73	
6	Сила от низов. подшипника	—	+ 14,63	
7	Вес флютбета, считая его погруж. в воду	—	+ 117,2	
8	Вес воды верхн. бьефа	—	+ 57,7	
Всего		36,5	178,5	

Т а б л и ц а № 19.

№№ по ряду.	Действующие силы.	Моменты.	
		+	—
1	Вертикальная сила, действующая на верховой подшипник	120,5	—
2	Гидростатическое давление	143,4	—
3	Напор грунта	10,8	—
4	Горизонтальная сила от фермы на флютбет	114,5	—
5	Вертик. сила, действующ. на низовой подшипник	—	99
6	Вес флютбета	—	1118
7	Вес воды верхнего бьефа	—	842
8	Отпор грунта	—	60,5
Сумма		389,2	2119,5

Коэффициент устойчивости на опрокидывание

$$K = \frac{2119,5}{389,2} = 5,45.$$

Давление на грунт. При определении давления на грунт предположено, что ферма загружена временной нагрузкой и что фильтрационное противодействие на подошву флютбета отсутствует.

Весь расчет приведен к одному пог. метру длины флютбета. Сумма всех вертикальных сил определилась в 214,18 тонн, а точка приложения равнодействующей удалена от низовой грани флютбета на $\frac{\Sigma M}{\Sigma P} = 9,79$ мтр. и, следовательно, эксцентриситет давления на грунт равен 0,54 мтр. При этих данных давление на грунт определяется по формуле

$$p = \frac{\Sigma P}{b} \left(1 \pm \frac{6e}{b} \right)$$

где: b — ширина флютбета

e — величина эксцентриситета.

По этой формуле давление на грунт у верхней грани определилось $p_1 = 1,36$ кгр./см.², а у низовой $p_2 = 0,955$ кгр./см.², что вполне допустимо.

Проверка флютбета на изгиб. При проверке тела флютбета на изгиб реакция грунта под основанием определилась по принципу балок на упругом основании. Подсчет показал, что реакция грунта при таком предположении почти точно совпадает с распределением давления грунта по закону прямой, соединяющей наибольшее и наименьшее давление на грунт у противоположных граней флютбета. Имея закон распределения реакции грунта, а следовательно все действующие на флютбет силы, последний рассчитывался как балка переменной жесткости. Наибольший момент оказался в пределах между подшипниками ферм и по величине равен $M = 68,83$ тон. мтр.

Напряжения в бетоне исчислены по формуле

$$p = \frac{P}{w} + \frac{M}{W}$$

где P — сжимающая сила

M — изгибающий момент

w — площадь сечения

W — момент сопротивления сечения,

и оказались равными $P_{\max.} = 4,96$ кгр./см.², $P_{\min.} = 4,20$ кгр./см.²

Так как в флютбете имеются растягивающие напряжения, то для восприятия их в верхней зоне поставлена арматура из рельс.

Расчет фермы Поаре. При расчете ферм Поаре учитывались горизонтальные силы от действия напора, вертикальные—от собственного веса и временной нагрузки и, наконец, местный изгиб. Кроме того, произведена проверка напряжений в элементах ферм при подъеме и опускании.

Усилия в стержнях определялись построением диаграмм Крмона для разных случаев нагрузок. Полученные величины этих усилий сведены в таблице № 20.

Т а б л и ц а № 20.

№ по ряду.	Наименование элементов.	Длина элемента в мтр.	У с и л и я в кгр.				Примечание.	
			От давления воды.	От вертикал. сил.	Расчетные.	Моменты кгр./см.		
1	2	3	4	5	6	7	8	
	Передн. стойка.							
1	Верхняя панель.	2,68	— 150	— 1.550	— 1.700	13.600	+ растяжение — сжатие	
2	Средняя панель.	2,22	+ 400	— 2.100	— 2.100	} 290.000		
3	Нижняя панель.	1,92	+ 4.400	— 2.510	+ 4.400			204.100
	Задн. стойка.							
4	Верхняя панель.	2,78	— 1.250	— 1.280	— 2.530	—		
5	Средняя панель.	2,33	— 6.630	— 1.400	— 8.030	—		
6	Нижняя панель.	2,00	— 14.700	— 1.500	— 16.250	—		
	Распорки.							
7	Верхняя	1,50	— 1.050	— 175	— 1.225	—		
8	Вторая	2,59	— 8.300	+ 175	— 8.300	} —		
9	Третья	3,50	— 17.200	+ 160	— 17.200		} —	
10	Нижняя	4,30	— 17.400	+ 475	— 17.400			—
	Раскосы.							
11	Верхн. панель .	3,17	+ 1.400	— 370	+ 1.400	} —		
12	Средн. панель .	3,59	+ 8.450	— 250	+ 8.450		} —	
13	Нижняя панель .	4,14	+ 16.800	— 250	+ 16.800	—		
					— 250			

Подобранные по этим усилиям сечения показаны на черт. л. 38. Опорные шипы ферм исполнены из стальных отливок и рассчитаны как консольные балки, заделанные в нижних опорных узлах. Подшипники из чугуна, спроектированы по образцам на существующих сооружениях.

Расчету подвергалась лишь верхняя часть верхового подшипника, удерживающая ферму от опрокидывания, а также опорные болты и низовой подферменный камень. Вес одной фермы без опорных частей составляет 1,676 тонн, при учете же веса опорных частей и служебного мостика вес каждой фермы равен 2,47 тонн.

Расчет шлюза. Основные размеры шлюза были приведены выше при общем описании сооружений. При расчете времени наполнения шлюза и необходимой площади обеих водопроводных галлерей использована обычная зависимость

$$T = \frac{2V}{\eta w \sqrt{2gH}} \text{ откуда,} \quad w = \frac{2V}{\eta T \sqrt{2gH}} \text{ где}$$

w — площадь водопроводных галлерей в кв. мтр.

V — объем сливной призмы равный 17942 куб. мтр.

T — время наполнения принятое по аналогии с существующими большими шлюзами в 480 сек.

g — ускорение силы тяжести = 9,81 мтр./сек.

H — напор

η — коэффициент сопротивлений = 0,60¹⁾

При подсчете площадь обеих галлерей определилась в 12,7 кв. мтр. и следовательно, площадь сечения каждой из них в 6,35 кв. мтр.

Средняя скорость поднятия воды в камере $\frac{5,54}{4,80} = 1,11$ см./сек.

Средняя скорость воды в водопроводных галлерей

$$V_{\text{оп}} = \frac{17942}{480 \times 12,7} = 2,94 \text{ мтр./сек.}$$

Упорная стенка нижней головы. При расчете упорной стенки нижней головы в запас прочности предположено, что стена сопротивляется распору от ворот самостоятельно, будучи как бы отделенной от шкафной стены и откосного крыла, и не принято во внимание давление засыпки или воды, находящейся на уровне нижнего бьефа. Ширина основания стенки 7,25 мтр. определена по графикам изменения основных элементов шлюза в зависимости от напора, приведенным в труде А. С. Аксамитного «Шлюзы» (проект Камско-Тоболь-

¹⁾ Аксамитный „Шлюзы“.

ского в. п.), ширина по верху принята в 5,90 мтр. Необходимая длина стенки определена из условия равновесия действующих сил и моментов и оказалась равной 8,20 мтр. Проверка на скольжение в самом невыгодном предположении, а именно—отсутствие засыпки и действия распора ворот,—дала коэффициент запаса 2,18; коэффициент устойчивости на опрокидывание при действии на стенку засыпки и веса ворот—оказался равным 2,52. Наибольшее напряжение в бетоне, как показал подсчет, равно 3,21 кгр./см. ².

При расчете шкафной стенки верхней головы введены следующие положения: камера опорожнена (случай ремонта), с внешней стороны действует засыпка, на засыпке временная нагрузка, в виде толпы, в галлерее воды нет. Размеры стенки: по низу 6,00 мтр., по верху 4,65 мтр. Проверка на скольжение дала коэффициент запаса 2,18; коэффициент устойчивости на опрокидывание—2,28. Наибольшее напряжение 7,60 кгр./см. ².

Фундамент голов. Головы шлюза спроектированы на сплошном фундаменте (черт. л. 40). При расчете распределения реакция грунта принималась в двух следующих предположениях: 1) равномерное распределение реакции грунта по всему основанию и 2) реакция от веса воды и самого фундамента распределяется равномерно, от боковых же стенок камеры неравномерно, по закону треугольника.

Фильтрационное давление на подошву подсчитано по Bligh'у при коэффициенте для глинистых грунтов $C=7$ и с учетом забивки 3-х саженого шпунта.

В обоих указанных выше предположениях подсчитаны величины изгибающих моментов для середины фундамента, значения коих приведены в таблице № 21.

Т а б л и ц а № 21.

Распределение реакции грунта.	Величина изгибающего момента в тонн.-метрах от:						
	Веса дна и стенок.	Фильтрационного давления.	Бокового давления земли.	Влияния воды в камере и галлерее.	Веса дна и стенок + боков. давлен. земли.	Веса дна и стенок + боков. давл. земли + фильтрац. давление.	Суммарный момент.
Равномерное.	+ 600	— 461	+ 27,0	— 66,8	+ 627	+ 166	+ 99,2
Неравномерное . . .	+ 277	— 461	— 27,05	— 83,5	+ 249,5	— 211,5	— 295,0

Как видно, при одном предположении наибольший изгибающий момент имеет величину + 627 т. мтр., при другом — 295,0 т. мтр. Необходимая толщина фундамента определилась в 2,78 мтр., а для обеспечения восприятия изгибающих моментов разных знаков установлена двойная арматура.

Стенки камеры. Камерные стенки проектируемого шлюза, как это было отмечено уже в общем описании, представляют собой земляные дамбы с полуторными откосами и шириной по верху 6,00 мтр. Со стороны камеры подошва дамбы упирается в бетонную полустенку, в которой проложена водопроводная галлерей. Для увеличения устойчивости стенок на скольжение, запроектированы распорные балки, соединяющие обе стенки и размещенные на расстоянии 6,85 мтр. друг от друга. Так как камерные стенки с обеих сторон ограждены шпунтовыми рядами (черт. л. 40), то при проверке стенки на скольжение учтено также и сопротивление шпунтовых рядов.

Усилие, воспринимаемое балкой, подсчитано по формуле

$$N = (H \times 6,85 - q) - f \Sigma P \times 6,85$$

где:

H — распор действующий на пог. метр стенки

ΣP — вес пог. метра стенки

f — коэффициент трения кладки по грунту

$q = d \times R \times 6,85$ — сопротивление срезыванию шпунтового ряда

d — толщина шпунта.

R — допускаемое сопротивление дерева на срезывание.

Сжимающая распорную балку сила, на основании приведенного выражения, определилась в 103,2 тонны, по каковой величине и произведен подбор сечения балки. Коэффициент устойчивости на опрокидывание получился равным 2,57. Наибольшее давление на грунт определилось в 2,00 кг./см.².

Определение пропускной способности шлюза. Для определения пропускной способности шлюза принимаем следующие данности.

- 1) время открывания и закрывания ворот 1 мин.
- 2) время наполнения и опорожнения камеры 8 »

3) скорость ввода: для баржей длиною в 25 и 30 саж. — 0,21 мтр./сек., длиною 50 саж. — 0,16 мтр./сек., для плотов — 0,11 мтр./сек.

4) скорость вывода: для баржей длиною в 25 и 30 саж. — 0,26 мтр./сек., длиною 50 саж. — 0,20 мтр./сек. и для плотов — 0,13 мтр./сек.

5) размеры плота: длина 12 арш., ширина 11 арш.

6) при осадке в 6 четвертей в запроектированный шлюз может быть одновременно введено 4 гонки по 9 плотов каждая, с общим количеством бревен 3.600 шт., весом около 73.000 пудов (максимальная загрузка).

При указанных данных, время потребное на пропуск плотов при одностороннем шлюзовании:

Т а б л и ц а № 22.

№№ по порядку.	Наименование операции	Время в сек.	Примечание.
1	Ввод плота в шлюз	1.591	= 175 мтр.
2	Закрывание верхних ворот	60	
3	Опорожнение камеры	480	
4	Открывание нижн. ворот	60	
5	Вывод плота из шлюза	1.461	= 190 мтр.
6	Закрывание нижн. ворот	60	
7	Наполнение камеры	480	
8	Открывание верхн. ворот	60	
В с е г о		4.252	
или		71 мин.	

При исчислении времени шлюзования судов рассмотрены следующие схемы:

- 1) караван из буксира (15 саж.) и 2-х баржей по 50 саж.
- 2) » » » (15 ») » 3-х » » 30 »
- 3) » » » (15 ») » 2-х » » 25 »

Т а б л и ц а № 23
времени шлюзования 2-х встречных караванов.

№№ по порядку.	Наименование операции.	Буксир	Буксир	Буксир	Примечание.
		+ 2 баржи по 50 саж.	+ 3 баржи по 30 саж.	+ 2 баржи по 25 саж.	
в секундах.					
1	Ввод буксира + 1 баржа . . .	1.438	1.095	1.096 ¹⁾	1) Вводятся сразу обе баржи. 2) Выводится весь караван сразу.
2	Закрывание верхних ворот . . .	60	60	60	
3	Опорожнение камеры	480	480	480	
4	Открывание нижн. ворот . . .	60	60	60	
5	Вывод буксира + 1 баржа . . .	1.550	1.192	1.094 ²⁾	
6	Ввод буксира + 1 баржа встречн.	1.125	857	867 ¹⁾	
7	Закрыв. нижних ворот	60	60	60	
8	Наполнение камеры	480	480	480	
9	Открыв. верхн. ворот	60	60	60	
10	Вывод буксира + 1 баржа встречная	1.700	1.308	1.365 ²⁾	
11	Ввод 1 баржи	1.438	1.095	—	
12	Закрыв. верхн. ворот	60	60	—	
13	Опорожнение камеры	480	480	—	
14	Открыв. нижних ворот	60	60	—	
15	Вывод 1 баржи	1.300	1.000	—	
16	Ввод 1 баржи встречн.	1.125	857	—	
17	Закрыв. нижних ворот	60	60	—	
18	Наполнение камеры	480	460	—	
19	Открыван. верхних ворот	60	60	—	
20	Вывод баржи встречн.	1.700	1.308	—	
Всего		13.776	11.112	5.722	
или		3 ч. 50 м.	3 ч. 06 м.	95 м.	
На 1 караван в средн.		115 м.	93 м.	95 м.	
На 1 шлюзов. „ „		57,5 м.	46,5 м.	47,5 м.	

Потребное при одностороннем шлюзовании время приведено в таблице № 24.

Т а б л и ц а № 24.

№№ по порядку.	Наименование операции.	Буксир	Буксир	Буксир	Примечание.
		+ 2 баржи по 50 саж.	+ 3 баржи по 30 саж.	+ 2 баржи по 25 саж.	
1	Ввод буксира + 1 баржа . .	1.094	833	834	
2	Закрывание верхних ворот .	60	60	60	
3	Опорожнение камеры	480	480	480	
4	Открывание нижних ворот .	60	60	60	
5	Вывод буксира + 1 баржа .	900	693	692	
6	Закрывание нижних ворот .	60	60	60	
7	Наполнение камеры	480	480	480	
8	Открывание верхних ворот .	60	60	60	
9	Ввод 1 баржи	1.094	833	—	
10	Закрывание верхних ворот .	60	60	—	
11	Опорожнение камеры	480	480	—	
12	Открывание нижних ворот .	60	60	—	
13	Вывод 1 баржи	725	558	—	
14	Закрывание нижних ворот .	60	60	—	
15	Наполнение камеры	480	480	—	
16	Открывание верхних ворот .	60	60	—	
Итого на 1 ка- раван		6.213	5.317	2.726	
или		104 м.	89 м.	—	
На шлюзование		52 м.	44,5 м.	45,5 м.	

Грузоподъемность рассмотренных типов судов составляет:

- 1) баржа в 25 саж. 30.000 пуд.
- 2) » » 30 » 40.000 »
- 3) » » 50 » 120.000 »

При пропуске через шлюз исключительно плотов только в одном направлении, при 20 часовой работе можно бы в сутки сделать шлюзований $\frac{20 \times 60}{71} = 17$. Однако, одновременно с плотами придется шлюзовать и крестьянские лодки, что вызовет некоторое увеличение времени на шлюзование. Оценивая это увеличение в 15 минут, получим возможное число шлюзований в сутки равным 14, и соответственно суточный пропуск древесины в плотях $14 \times 73.000 = 1.022.000$ пудов.

Максимальная суточная пропускная способность шлюза для судового движения показана в нижеприведенной таблице № 25 (при работе в течение 20 час.):

Т а б л и ц а № 25.

№.№ по порядку.	Характер движения караванов.	Количество шлюзований в сутки и пропускная способность при:		
		Буксир + 2 баржи по 50 саж.	Буксир + 3 баржи по 30 саж.	Буксир + 2 баржи по 25 саж.
1	Одностороннее движение судов.			
	а) Число пропускаемых судов	11	13	20
	б) Тоже с учетом времени на пропуск крестьянских лодок	10	11	20
	в) Суточный пропуск в пудах	2.640.000	1.560.000	1.560.000
2	Равномерное движение судов.			
	а) Число пропускаемых караванов	10	12	25
	б) Суточный пропуск грузов в пудах	2.400.000	1.440.000	1.500.000

Принимая средний грузооборот за навигацию в $\frac{1}{3}$ от максимальной теоретической пропускной способности шлюза при 24 часовой работе, имеем, что средний грузооборот равен:

$$24/20 \times \frac{1}{3} A \times n = 0,40 \times A \times n$$

где:

A — суточный пропуск в пудах при 20 час. работе

n — число навигационных дней, которое в условиях р. Волхова может быть принято равным 200.

При указанных данных величины навигационного грузооборота в пудах приведены в таблице № 26.

Т а б л и ц а № 26.

Характер движения.	Грузооборот в пудах при караванах.			
	Буксир + 2 баржи по 50 саж.	Буксир + 3 баржи по 30 саж.	Буксир + 2 баржи по 25 саж.	Плоты.
Равномерное двустороннее	192.000.000	115.200.000	120.000.000	—
Одностороннее движение.	211.000.000	124.800.000	124.800.000	99.280.000
Одностороннее с учетом времени потребного на пропуск крестьян- ских лодок	192.000.000	105.600.000	96.000.000	81.760.000

В 1913—14 г.г. грузооборот у г. Новгорода составлял 50—60 милл. пудов, в настоящее же время он этой величины еще не достиг, и таким образом пропускная способность шлюзов вполне достаточна на ближайшие годы. В случае значительного увеличения грузооборота, пропускная способность может быть увеличена:

- 1) путем применения механической тяги судов в шлюзах и
- 2) путем устройства особого сооружения для пропуска крестьянских лодок.

Общее количество и стоимость работ. На основании составленного проекта было подсчитано количество работ. Главнейшие данные приведены в табл. № 27.

Т а б л и ц а № 27.

№№ по порядку.	Наименование работ.	Единицы.	Количество работ.			
			Плотины.	Шлюз.	Дамба.	Всего.
1	Земляные работы					
	а) выемки	кб. мтр.	77.471	175.864	—	253.335
	б) насыпи	” ”	25.987	54.390	44.005	124.382
2	Бетонные рабвты	” ”	17.672	14.122	—	31.794
3	Жел.-бетон. работы	” ”	6.910	4.765	—	11.675
4	Каменные работы					
	а) насыпи и кладки . . .	кб. мтр.	2.832	2.960	—	5.792
	б) штучного камня . . .	шт.	418	44	—	462
	в) кордон	пг. мтр.	86,2	200	—	286,2
5	Мощение	кв. мтр.	15.758	12.950	—	28.708
6	Плотничные раб.					
	а) щитов Буле	шт.	1.500	—	—	1.500
	б) настила	кв. мтр.	2.985	—	—	2.985
	в) шпунтов. ряд.	пг. мтр.	1.004	912	—	1.916
	г) эстакад	” ”	—	513	—	513
	д) разн. констр.	” ”	—	475	—	475
7	Металлич. констр.	тонн	516	201	—	717

Общая стоимость всех сооружений, включая и накладные расходы, при исчислении единичных цен по данным Волховского Строительства определилась в 5.250.000 руб., из коих на плотину падает 3.065.905 руб. или 58,4%, на шлюз 2.091.421 руб. или 39,8% и, наконец, на дамбы 92.674 руб. или 1,8%. По отдельным родам работ стоимость всех сооружений складывается следующим образом:

Т а б л и ц а № 28.

№.№ по пор.	Наименование работ.	Стоимость в рублях по:				% от об-щей стоим.
		ПЛОТИНЕ.	ШЛЮЗУ.	ДАМБЕ.	ВСЕГО.	
1	Земляные работы . .	68.498	146.694	54.566	269.758	5,2
2	Бетонные работы . . .	585.017	463.399	—	1.048.416	20,0
3	Железо-бетонные ра- боты	277.920	218.332	—	496.252	9,4
4	Металлические работы	542.961	264.175	—	807.134	15,4
5	Плотничные и свайные работы	89.455	100.768	—	190.225	3,6
6	Торкретирование . . .	714	11.221	—	11.935	0,2
7	Мощение	134.146	58.489	—	192.635	3,7
8	Каменные работы . . .	41.680	65.653	—	107.333	2,0
9	Фашинные работы . .	—	1.231	—	1.231	0,02
10	Механическое обору- дование	9.640	—	—	9.640	0,2
11	Перемычки	216.810	—	—	216.810	4,1
12	Водоотлив	58.100	15.800	—	75.900	1,4
13	Разные работы	285.201	195.550	—	480.751	9,2
14	Накладные расходы на рабсилу 20,5%	101.478	78.753	8.989	189.220	3,6
15	Соцстрах 10%	49.502	58.416	4.385	92.303	1,8
16	Рабочий городок . . .	74.253	57.624	6.578	138.455	2,7
17	По § 7 Урочн. Полож. 3% от сметы	70.593	47.539	1.751	119.883	2,3
18	Содержание Управле- ния работ и охраны .	—	—	—	668.628	12,8
19	Непредвиденные рас- ходы	—	—	—	125.493	2,4
Всего		—	—	—	5.250.000	100

Производство работ. Работы по сооружению регулирующей плотины в истоке р. Волхова предполагается начать на левом берегу с постройки шлюза и примыкающей к нему части плотины и постепенно передвигаться будут к правому берегу. Общий срок работ, за исключением подготовительного периода, трехлетний. В год, предшествующий началу постройки сооружений, намечены землечерпательные работы по производству основной части выемки котлована под шлюз и по расчистке дна у левого берега, для приготовления участка первого года работ. В первый год строительных работ предназначена к выполнению левобережная часть флютбета на протяжении 110 мтр., устоя с нишей, верхняя голова шлюза и, примерно, половина примыкающей к ней камеры. Землечерпательные работы в первый год переносятся на расчистку дна у правого берега реки и на прорытие деривационного канала. Земляные дамбы, сопрягающие плотину с железнодорожной насыпью и не связанные с программой общего хода работ, возводятся в течение всего строительного периода по мере возможности. Во второй год работ предполагается сооружение средней части флютбета, длиной около 70 мтр., окончание шлюза, деривационного канала и возведение служебных построек. В третий и последний сезон заканчивается сооружение последней части флютбета длиной около 110 мтр., производится окончательная отделка всех сооружений и построек. При этом необходимо отметить, что этот год будет являться уже первым годом полного действия регулирующей плотины, т. к. по спаде высоких вод готовой уже на 60% плотины с избытком достаточно, чтобы осуществить требуемое регулирование стока.

Земляные работы предполагается производить многочерпаковой землечерпательницей с рефулером, типа Волжская 17, с контрактной производительностью в 100 куб. мтр./час. Из общего количества выемки в 253.335 куб. мтр. землечерпательницей должно быть вынуто 217.880 куб. мтр., выемка же остального количества должна быть произведена вручную. Главная масса насыпи, а именно 105.782 куб. мтр. будет исполнена вручную, а остальное рефулером.

Как уже отмечено выше, землечерпательный снаряд в год подготовительных работ занят выемкой грунта под котлован шлюза и затем верховой части деривационного канала и одновременно отсыпает для шлюза-же земляную перемычку с отметкой верха 11,23 саж. = 23,97 мтр. Перемычка имеет внутренний одиночный

откос и наружный полуторный (см. черт. л. 43). Ширина перемычки по верху 2,00 мтр. В тот же год подготовительных работ на левом берегу на площадке для служебных зданий сооружается временная силовая станция на 150 кв., которая вступает в работу с начала первого строительного сезона.

В первом году работы предполагено начать со шлюза, уже обнесенного в предыдущем году земляной перемычкой.

Работы должны быть организованы таким образом, чтобы в течение первого-же года имелась возможность произвести полный монтаж верхних ворот с тем, чтобы при помощи их во второй строительный год оградить котлован от весенней воды. Если бы монтаж верхних ворот произвести не удалось, то для обеспечения котлована от затопления весенними водами предусматривается устройство у верхней головы шлюза временного заграждения типа подкосного деревянного моста, фермы которого, будучи поставлены горизонтально, перекрыли бы шкафную часть и таким образом оградили бы котлован с верховой стороны.

Возведение перемычек, ограждающих район работ на плотине (см. черт. л. 42), начинается после спада воды в озере до отметки 9,50 саж. Тип перемычек показан на черт. л. 43. Земля для засыпки перемычек подается рефулером из выемки. При определении водоотливных средств использован опыт, полученный при шлюзовании р. С. Донца. Сообразуясь с данными отчета об этих работах, для 1-го года строительных работ на Волхове оказалось возможным остановиться на трех 12'' насосах типа завода Г. Шиле и К^о во Франкфурте на Майне¹⁾, производительностью 8 куб. мтр./мин. для котлована плотины, и двух таких же насосах, из коих один резервный, для шлюза и двух 6'' насосах, производительностью в 2 куб. мтр./мин., для откачки воды из тех частей котлована, которые будут разобщены от общей водосборной сети.

Бетонирование шлюза и устоя с нишей производится из бетона, приготовляемого в бетоньерках, расположенных на левом берегу. Бетонирование же флютбета предполагено производить с плавучего бетонного завода, сооруженного на барже.

К концу первого строительного сезона, на концевой части флютбета, около поперечной перемычки, вдоль реки на бетонной части перемычки и частично на понуре и рисберме сооружается

1) См. Хютте, т. II, стр. 672.

вспомогательная перемычка облегченного типа. Перемычка эта состоит из двух рядов 4'' шпунта, надлежаще связанных с бетонной частью флюбета, а также и между собой. Пространство между обоими шпунтовыми рядами засыпается землей и сама перемычка защищается от действия льда ледорезом.

Во второй год строительных работ, как это указано выше, исполняется средняя часть флюбета и заканчивается устройство шлюза. Перемычка в реке возводится того же типа, как и в первой очереди работ (см. черт. л.л. 42 и 43). Бетонирование производится посредством тех же бетонных заводов, т. е. левобережного и плавучего. После окончания участка флюбета второй очереди, в конце его устраивается опять таки продольная перемычка облегченного типа, к которой примыкают перемычки третьего сезона работ.

Монтаж ферм Ноаре производится по участкам по мере окончания работ каждой очереди.

В течение третьего года работ выполняется правобережная часть плотины и устоя без ниши, а также заканчивается сооружение всех служебных зданий и построек. Для бетонирования устоя на правом берегу устраивается небольшой бетонный завод, в котором оборудование перенесено с завода левого берега.

Пропуск воды во время производства работ. Проверка перепадов и скоростей при различных расходах воды исполнена лишь для 2-х годов постройки, а именно 1-го и 3-го, т. е. для тех условий стеснения русла, при которых имеет место наибольшее и наименьшие стеснение русла. При выборе горизонтов и расходов, для которых желательно сделать проверку пропуска воды через стесненное сечение, исходили из того, что работы обычно будут производиться при отметках гор. воды 9,00 саж. и ниже. Кроме того, учтена возможность повышения уровня воды вследствие нагона ветром до 9,25 саж., а также и имевший место осенний горизонт воды до отметки 9,53.

Расчет подпора производился по формуле Aubuisson'a ¹⁾

$$z = \frac{\alpha V_e^2}{2g} \left[\left(\frac{B_e}{\varepsilon b} \right)^2 - \left(\frac{h_e}{h_e + z} \right)^2 \right], \text{ где}$$

V_e — скорость течения воды в естественных условиях,

B_e — ширина зеркала в естественных условиях,

h_e — средняя глубина живого сечения в естественных условиях,

¹⁾ См. Проф. Н. Н. Павловский — „Гидравлический Справочник“.

g — ускорение силы тяжести,

$\varepsilon = 0,75$ — коэффициент сжатия для прямоугольного сечения,

b — ширина зеркала воды в сжатом сечении.

Для некоторых расходов воды величина подпора была проверена по формуле Rehbock'a ¹⁾.

$$z = \left[\delta_0 - \varepsilon_0 (\delta_0 - 1) \right] (0.4\varepsilon_0 + \varepsilon_0^2 + 9\varepsilon_0^4) \left(1 + \frac{2h_v}{h_e} \right) h_v, \text{ где}$$

ε_0 — отношение отнимаемой опорами части живого сечения к величине последнего в естественных условиях,

δ_0 — коэффициент, зависящий от формы опор, причем для быков прямоугольного сечения

$$\delta_0 = 4,85 - 0,27 \frac{l_\delta}{d} \text{ для } \frac{l_\delta}{d} = 4,5.$$

l_δ — длина быка,

d — ширина быка,

h — скоростной напор,

h_e — естественная глубина потока.

Величины подпора, вычисленные по формуле Rehbock'a значительно меньше таковых, определенных по Aubeisson'y, вследствие чего явилось более осторожным в расчет ввести последние.

Значения подсчитанных подпоров и наибольших скоростей приведены в таблице № 29.

Т а б л и ц а № 29

Расход куб. саж./сек.	Отметка горизонта воды саж.	1-й год работ.				3-й год работ			
		Подпор		Наиб. скорость		Подпор		Наиб. скорость	
		саж.	мтр.	саж./сек.	мтр./сек.	саж.	мтр.	саж./сек.	мтр./сек.
120	9,58	0,046	0,098	0,64	1,36	0,07	0,15	0,84	1,79
100	9,24	0,04	0,085	0,58	1,24	0,068	0,145	0,83	1,77
75	8,93	0,035	0,075	0,53	1,13	0,054	0,115	0,76	1,62
30	8,08	0,015	0,032	0,32	0,68	0,061	0,13	0,74	1,58

¹⁾ См. Проф. Н. Н. Павловский — „Гидравлический Справочник“.

Из таблицы видно, что величины подпоров весьма незначительны, а скорости на поверхности не превосходят 1,79 мтр./сек., что с точки зрения судоходства следует признать допустимым.

Судоходные условия р. Волхова после сооружения регулирующей плотины. При наличии на р. Волхове одной только плотины у гидроэлектрической станции наименьшие транзитные глубины в навигационное время при суточном регулировании¹⁾ в пределах порожистого участка реки, согласно подсчета кривых подпора, достигали величины 1,62 мтр.²⁾, а в истоке р. Волхова — 1,49 мтр.

После сооружения регулирующей плотины у Новгорода в самый маловодный год возможен случай остановки гидростанции на летний период для накопления запаса воды в Ильменском водохранилище на зимний период времени. В период остановки станции, при горизонтальном бьефе наименьшие глубины в пределах порожистого участка будут не ниже 1,74 мтр. В это же время глубина в истоке, благодаря подпору регулирующей плотины, будет больше 4,13 мтр.

При действии регулирующей плотины наименьшая глубина воды в истоке не упадет ниже 2,84 мтр., глубины же в порожи-стом участке даже при применении суточного регулирования не будут ниже указанных в вып. XVIII «Материалов», так как наименьший регулируемый расход равен 17 куб. саж./сек., в то время как указанные глубины подсчитаны для расхода в 14,00 куб. саж.

Таким образом, сооружение Новгородской плотины будет иметь следствием увеличение судоходных глубин, а следовательно и улучшение судоходных условий р. Волхова.

Убытки от затоплений. Выше были приведены данные об общем количестве земель в пределах Ильменской поймы, затраги-ваемых регулированием.

В качественном отношении доходные земли подразделяются на следующие группы: усадебные, пашни, лес разный сухой, лес по болоту, луга мягкие, луга мокрые, луга с кустами и выгон. В состав недоходных земель отнесены: кусты, болота, песок и обрывы. Количества земель по отдельным категориям даны в таблице № 30.

¹⁾ Под суточным регулированием проектом Волховской гидростанции подразумевалось такое изменение режима стока реки, при котором суточный баланс стока обязательно бы соблюдался.

²⁾ См. выпуск XVIII Материалов исследований р. Волхова.

Т а б л и ц а № 30.

№№ по порядку.	Горизонты по поясам.	Доходные земли в десятинах.									Недоходные земли в десятинах.					
		Усадьбыне.	Пашни.	Лес сухой.	Лес по болоту.	Луг сухой.	Луг мокрый.	Луг с кустами.	Выгон.	Итого по поясам.	Кусты.	Кусты по болоту.	Болото.	Обрыв и песок.	Итого по поясам.	ВСЕГО.
1	10,0—9,5.	130,8	1.003,9	3.607,8	253,2	4.805,0	666,8	879,9	1.696,8	13.044,2	3.780,3	2.427,5	250,8	357,7	6.816,3	19.860,5
2	9,5—9,0.	92,2	78,4	3.010,0	550,0	6.917,3	3.265,5	542,4	719,4	15.205,2	4.198,4	5.617,7	1.845,9	114,1	11.776,1	26.981,3
3	9,0—8,5.	—	3,8	51,4	86,2	5.069,0	6.734,8	130,8	288,3	12.364,3	901,5	442,2	3.848,1	103,3	5.295,1	17.659,4
4	8,5—8,0.	—	—	—	2,3	13,3	10.725,0	—	—	10.740,6	—	15,4	144,6	43,7	203,7	10.944,3
	Всего .	223,0	1.086,1	6.669,2	891,7	16.834,6	21.392,1	1.553,1	2.704,5	51.354,3	8.880,2	8.502,8	6.089,4	618,8	24.091,2	75.445,5

Нормы доходности земель в современных условиях исчислялись применительно к нормам вознаграждения землепользователей, согласно «Обязательного постановления Новгородского Г. И. К-а от 1 июля 1924 г.—о вознаграждении землепользователей за занятие земельных участков для нужд судоходства, сплав леса и связанных с ними операций вне полосы бечевников», предусматривающим компенсацию землепользователей за понесенные ими убытки при занятии земель на срок не свыше года.

Стоимость земель определялась путем капитализации доходности из расчета 5% годовых. Стоимость земель, не предусмотренных в вышеупомянутом положении, как-то земель под лесом и кустарником, заимствована из экономического расчета проф. В. В. Степанова, исполненного по данным о реализации древесины в Сев.-Зап. Области в 1923—24 операционных годах.

На основании указанных данных определились следующие средние нормы стоимости отдельных угодий:

усадебные земли	480 руб. за дес.
пашни	240 » » »
лес разный сухой	223 » » »
лес по болоту	46 » » »
луг мягкий осочный	280 » » »
луг мокрый	60 » » »
луг с кустарником	205 » » »
выгон	40 » » »

Современная стоимость непродуктивных земель принята равной нулю.

Действительная стоимость Приильменских земель из-за их периодичной затопляемости, что вызывает уменьшение урожайности, должна быть несколько понижена. Средняя длительность вегетационного периода в местных климатических условиях определена в 137 дней. Из-за затопления вегетационный период в рассмотренных поясах понижается. Пропорционально этому понижению уменьшается урожайность угодий, а следовательно и их ценность. При регулировании стока, из-за дополнительных затоплений, вегетационный период еще уменьшится и соответственно возрастут недоборы урожая.

В приведенной ниже таблице № 31 приведены данные о длительности вегетационного периода в естественных условиях и после регулирования, а также приведены стоимости земельных угодий.

Т а б л и ц а № 31.

№№ по порядку.	Предельные отметки поясов.	Нормальная стоимостность угодий.	Длительность вегетационного периода в днях.		Фактическая стоимость в рублях.		Уменьшение стоимости.
			Естественного.	После регулирования.	Естественная.	После регулирования.	
1	10,0--9,5	2.753.566	137	111	2.753.566	2.092.730	660.836
2	9,5—9,0	3.040.744	115	93	2.432.595	1.216.297	1.216.298
3	9,0 - 8,5	1.878.093	87	0	995.389	—	995.389
4	8,5—8,0	647.330	48	0	110.046	—	110.046
		8.319.733	—	—	6.291.566	3.309.027	2.982.569

Таким образом, из-за регулирования стоимость угодий понизится на 2.982.569 руб., что будет отвечать ежегодным убыткам, при условии погашения капитала в течение 25 лет из 6% годовых, в сумме $2.982.569 \times 0,078 = 234.000$ руб.

Общие выводы по малому варианту. Приведенные выше данные о стоимости всех сооружений, связанных с регулированием стока, позволяют сделать некоторые выводы об экономической целесообразности данного решения. При определении ежегодных расходов по регулирующим сооружениям у Новгорода, которые должны быть отнесены на эксплуатацию Волховской гидростанции, предположен самый крайний случай, что все расходы, за исключением эксплуатации шлюза, падают на энергию. При этой калькуляции приняты следующие сроки амортизаций: мостовые, железо-бетонные, каменные работы—50 лет, деревянные сооружения—20 лет и, наконец, металлические конструкции—25 лет. Проценты на капитал приняты из расчета 6% годовых.

При таких условиях общая сумма ежегодных расходов по сооружению, включая текущий ремонт и эксплуатацию, составит:

1. Амортизация сооружений	55.460 руб.
2. Ремонт	51.435 »
3. Проценты на капитал	315.000 »
4. Эксплуатационные расходы	18.000 »
<hr/>	
Всего	439.895 руб.
Кругло	450.000 »

Прибавляя к этому расходы, связанные с убытками по сельскому хозяйству, получим общий годовой расход в сумме $450.000 + 234.000 = 684.000$ руб.

Из приведенной на стр. 98 таблицы № 16 усматривается, что регулирование стока по малому варианту, помимо обеспечения мощности Волховской гидроустановки, имеет следствием также и некоторое увеличение выработки годовой энергии, причем для среднего года это увеличение составляет 26,4 милл. кв.-час. При таких условиях стоимость Волховской энергии после осуществления мероприятий по регулированию стока по малому варианту составит $\frac{7.437.000 + 684.000}{282,4 \cdot 10^6 + 26,4 \times 10^6} \times 100 = 2,63$ коп. за кв.-час, т. е. на 0,37 коп. дешевле, чем при пользовании паровым резервом.

Таким образом, на основании изложенного представляется возможным прийти к выводу, что для обеспечения мощности Волховской гидроустановки более целесообразно осуществить проект регулирования стока путем создания Ильменского водохранилища, чем устраивать тепловой резерв в Ленинграде, хотя бы даже за счет резервирования одной из существующих Ленинградских станций.

VII. Годовое регулирование стока путем применения обвалования озера (большой вариант).

Схема проекта. В предыдущей главе было описано решение задачи обеспечения полной мощности Волховской гидроустановки путем частичного регулирования стока р. Волхова.

Решение это в общем, будучи экономично, имеет тот недостаток, что из сельско-хозяйственного обращения выводится значительное количество земель, которые являются источником дохода для местного крестьянства.

Учитывая это обстоятельство, инж. П. В. Ивановым было предложено иное решение регулирования стока Волхово-Ильменского бассейна, при котором возможно достигнуть не только обеспечения полной мощности Волховской станции, но также повысить выработку ее энергии, и кроме того, мелиорировать земли Ильменской поймы и тем самым внести значительные улучшения в местное земельное хозяйство. Решение это заключается в создании мощного Ильменского водохранилища путем сплошного обвалования его.

Гидрологическое исследование показало, что при доведении горизонта воды в озере до отметки не свыше 10,50 саж. = 22,40 мтр. возможно использование до 93% стока и соответственно довести выработку энергии до 370 милл. кв. часов в год.

Первоначально был рассмотрен вариант ограждения незатопляемыми дамбами всего озера, причем вне огражденного пространства оставались дельты р.р. Ловати и Мсты, где низменные, отчасти заболоченные земли не представляют особой ценности (черт. 49—план оз. Ильмень). При этом в устьях рек Мсты, Ловати и Шелони, являющихся судоходными, предполагалось устроить разборчатые плотины, открываемые для впуска в озеро весеннего паводка, и шлюзы для обеспечения интересов судоходства. Для регулирования выпуска воды из озера в истоке р. Волхова, так же как и в малом варианте, проектировалась плотина выше устья Сиверсова канала. После спада весенних вод плотины в устьях притоков Ильменя—Мсты, Ловати и Шелони закрывались бы и весь меженный расход этих рек, также как и сток бассейна самого озера, отводились в р. Волхов особыми каналами, проходящими по пойме оз. Ильмень непосредственно за дамбами.

При ближайшем рассмотрении пришлось от этого варианта отказаться, так как меженние и осенние паводки в бассейнах р.р. Мсты и Ловати нередко бывают столь значительны, что для быстрого их пропуска, во избежание затоплений, потребовалось бы чрезвычайно большое живое сечение отводящих каналов. Излишне большие размеры каналов вызвали бы огромное количество земляных работ и тем самым значительно увеличили бы их стоимость. Кроме того, при таком решении, условия культурного использования Приильменьских земель не улучшились бы, тем самым не была бы осуществлена одна из основных идей проекта.

Вследствие указанных причин был разработан другой вариант (черт. л. 49—план оз. Ильмень), в котором общее очертание ограждающих дамб сохранено таким же, как и в первом варианте, но такими же дамбами ограждены устьевые участки до высоких берегов р.р. Ловати и Шелони, которые таким образом сохраняют всегда открытое сообщение с оз. Ильмень. Таким образом, отпадает необходимость отвода их паводков к истоку р. Волхова особым каналом и становятся излишними какие-либо разборчатые плотины в устьях этих рек.

При этой схеме объем вод, который приходится искусственно отводить с огражденной части южной и восточной поймы оз. Ильменя, ограничивается осадками, выпадающими на этой сравнительно небольшой площади (500—600 кв. клм.), а потому не требуется отводного канала особо большого сечения и размеры его определяются тем количеством грунта, который может быть с выгодой переброшен из этой выемки в насыпь ограждающих дамб.

Единственное затруднение заключается в том, что пойма левого берега р. Ловати совершенно отрезана от района, осушаемого отводным каналом, простирающимся за дамбой по юго-восточному и восточному берегам озера, а потому необходимо устроить под руслом р. Ловати дюкер (см. черт. л. 45), который позволил бы включить и лево-бережный участок р. Ловати в район действия отводящего канала. С технической стороны устройство такого дюкера не представляет особо серьезных затруднений, экономически же он оправдывается сохранением для культуры больших земельных площадей Ильменской поймы. Что же касается р. Мсты, то последняя отводится (см. черт. л. 44) через Сиверсов канал и речку Спасовку в Малый Волховец. Перед устьем, за разливом р. Спасовки, устраивается разборчатая плотина, которая служит для управления стоком как р. Мсты, так и восточного осушительного канала.

Таким образом, общая схема сооружений, по мысли так называемого большого варианта, сводится к следующему (см. черт. л. 44, 45 и 49): на р. Волхове ниже устья Сиверсова канала устраивается разборчатая плотина для регулирования вытекающего из озера расхода. При плотине с левого берега устраивается шлюз для судов, идущих через озеро. Плотина соединяется сопрягающей дамбой с железно-дорожной насыпью, от которой начинается западная оградительная дамба, идущая по естественному урезу озера до высокого левого берега р. Шелони. С нагорной стороны дамбы, примерно от д. Малиновки, начинается дренажный канал, который пересекает р. Веренду и далее доводится до р. Веряжи, представляющей в своем нижнем течении озерный залив. У дер. Ракоши из Веряжи берет начало второй западный канал, который выводится в р. Волхов ниже регулирующей плотины. Эти каналы принимают в себя сток западной и северо-западной части поймы оз. Ильмень и отводят его в нижний бьеф регулирующей плотины, способствуя таким образом осушению местности.

В южной части озера, несколько восточнее дер. Устрик, начинается южная ограждающая дамба, которая, пересекая Тулебльский залив, подходит к левому берегу р. Ловати у с. Взад и здесь поворачивает вдоль левого берега этой реки, пересекает все ее притоки, в том числе и судоходную р. Полисть, и кончается там, где левый берег р. Ловати имеет достаточно высокую отметку. В устье р. Полисти устроен для обеспечения интересов судоходства шлюз. Для вывода стока южной части поймы оз. Ильмень вдоль дамбы проведен осушительный канал, который принимает в себя воды всех пересекаемых им притоков озера и р. Ловати и отводит их в русло р. Верготи, проходя под Ловатью дюккером. Оградительная дамба по правому берегу р. Ловати начинается от полотна жел. дор. Псков—Бологое, спускается вниз до р. Пола и затем, направляясь по левому берегу Пола, вверх, кончается у дер. Сачкова. Здесь же на правом берегу р. Пола начинается восточная оградительная дамба озера. Несколько выше слияния рек Пола и Ловати она пересекает р. Полу, разобщает обе реки, закрывая место слияния и направляется к озеру по правому берегу р. Ловати. Обогнув озеро Ситно и после перечесения Сытецкого залива, дамба следует по естественному урезу озера и, пересекая дельту р. Мсты и устье Сиверсова канала, сопрягается с регулирующей плотиной в истоке р. Волхова.

Восточный дренирующий канал, отводящий в р. Волхов весь сток восточной части поймы, идет вдоль дамбы и в районе дельты р. Мсты отводится в Сиверсов канал, который, как это отмечено было выше, соединяется с р. Малым Волховцом.

Управление стоком и метод построения графиков стока. Схема управления стоком показана на черт. л. 46 и заключается в следующем: при начале весеннего подъема воды в озере регулирующая плотина на р. Волхове закрывается и таким образом весенний приток р.р. Ловати, Пола и Шелони задерживается в Ильменском водохранилище, причем наполнение озера допускается лишь до отметки 10,50 саж. В случае переполнения озера излишний приток сбрасывается путем частичного открытия Новгородской плотины. В это же время Мстинская плотина открыта. Весенний паводок р. Мсты и сток восточной части поймы оз. Ильмень начинает затоплять пойму озера за дамбами, причем затопление это соответственным маневрированием Мстинской плотины не допу-

скается свыше наивысших в естественных условиях отметок. Дюкер под р. Ловатью закрыт до тех пор, пока горизонт воды в южной части поймы не сравняется с таковым же в восточной. По сравнении горизонтов обоих пойм дюкер открывается и до весеннего паводка следующего года остается открытым. При указанных условиях питание р. Волхова до открытия регулирующей плотины у Новгорода происходит за счет весеннего стока р. Мсты и части собственного бассейна оз. Ильмень, путем стягивания воды с затопленных восточной и западной части поймы оз. Ильмень.

Для выяснения картины режима р. Волхова после применения регулирования по большому варианту, необходимо было построить кривые притока и стока для Ильменского водохранилища, а также для восточной и южной частей Ильменской поймы. Вычисления были исполнены на основании гидрометрических данных для притоков р. Волхова ¹⁾ и топографических планов поймы озера Ильмень ²⁾. На черт. л. 46 для 1920—24 г.г. показаны суммарные графики притока и регулируемого стока Волхов-Ильменского бассейна, кривые регулируемых расходов р. Волхова и, наконец, графики колебания горизонтов воды в пределах самого Ильменского водохранилища, разлива за ограждающими дамбами и нижнего бьефа регулирующей плотины. Внизу на этом же чертеже приведен режим всех регулирующих сооружений.

Проектировка регулирования расходов р. Волхова велась с таким расчетом, чтобы наилучшим образом удовлетворить графику нагрузки, вследствие чего расходы летнего периода времени имеют минимальное значение.

Рассмотрим проект регулирования стока в реальных условиях 1920—1924 г.г. С 1 марта 1920 г. закрываются Новгородская регулирующая плотина и дюкер под Ловатью и открывается Мстинская плотина. Вследствие значительного стока р. Мсты, восточная пойма озера за дамбами быстро наполняется до отметки около 10,50 саж., после чего, благодаря уменьшению притока, начинается спад воды в этой пойме; при сравнении горизонтов воды восточной и южной частей поймы в конце апреля открывается дюкер, и пойменный разлив, питая Волхов, начинает сра-

¹⁾ См. вып. XIII „Материалов по исследованию р. Волхова“.

²⁾ См. альбом планов „Оз. Ильмень и его пойма“ изд. Волховского Строительства.

батываться. Расход на Волхове в это время за счет сработки одного только пойменного разлива поддерживается в 74 куб. саж./сек. Так как Новгородская плотина до среднего июня продолжает быть закрытой и в озеро продолжает поступать сток рек Ловати, Пола и Шелони, то подъем в Ильменском водохранилище продолжается. Поемные земли благодаря действию Мстинской плотины освобождаются от разлива в самом начале июня, т. е. почти что на 2 месяца раньше чем в естественных условиях. Регулирующая плотина начинает работать только с 10 июня 1920 г. и поддерживает минимальный, необходимый по графику нагрузки, расход в 17,00 куб. саж./сек. По мере роста спроса регулированный расход увеличивается. Перед концом периода регулирования в 1920—21 г.г., т. е. в самый маловодный год, удастся поддержать расход не менее 20 куб. саж./сек., и таким образом, обеспечить всегда полную мощность Волховской гидроустановки. В 1921 г. весеннее половодье началось 10/III и к этому сроку должны быть закрыты плотины на Волхове у Новгорода и дюкер на Ловати. Мстинская же плотина наоборот открыта. Пойма за дамбами быстро затопляется, достигая уже к 5/IV отметки 10,5 саж. и затем начинается спад. Соответственным маневрированием через Мстинскую плотину в р. Волхов пропускается расход в 74 куб. саж./сек. К 12/IV горизонты воды в восточной и южной частях поймы сравниваются, вследствие чего открывается дюкер. К 15/V пойма за дамбами почти что полностью осушена и начинается сброс воды из водохранилища в таком размере, чтобы обеспечить станцию расходом воды, отвечающим потребной мощности по графику нагрузки. 5/XI регулирующая плотина открывается полностью и остается открытой до начала половодья 1922 г. В следующие годы операции с сооружениями производятся те же и в последовательности показанной на черт. л. 46.

Величины зарегулированных расходов усматриваются непосредственно из чертежа л. 46. Во все эти годы пойменные земли от разлива освобождаются значительно ранее обычных в естественных условиях сроков и тем самым улучшаются условия их сельскохозяйственного использования.

Эффект регулирования при применении большого варианта в отношении энергетического использования р. Волхова подсчитан для периода 1881—1925 г.г. и приведен в таблице № 32 и графически изображен на черт. л. 50.

Годовой период.	Естественный режим.		Регулирование с обвалов. озера.		Регулирование с обвалов. озера.			Количество энергии в 10 ⁶ кв. ч. за годов. период на шинах в Ленинграде.			Приращение энергии за годов. период на шинах в Ленинграде в 10 ⁶ кв. ч. относительно естествен. режима.		П Р И М Е Ч А Н И Е.
	Средний секундный расход за декабрь саж. ³ /сек.	Мощность в часы макс. нагрузки при суточ. регулиров. по графику 1929 г.	Наимен. зарегул. расход в декабре саж. ³ /сек.	Мощность в кв. в часы максимальной нагрузки при суточ. регулир. по графику 1929 г.	Средн. суточн. мощности за декабрь в кв.		Мощность в часы макс. нагрузки при суточ. регулир. по графику 1929 г. и напоре 12 м.	А без применения регулир. (естествен. режим).	В регулирование с обвалованием озера.	С регулирование с обвалованием озера при напоре 12 м. В (1+0,10).	При регулир. с обвалован. В.	При регулир. с обвалован. С.	
					М ₁ при напоре 10,5 м. на гл. пл.	М ₂ при напоре 12 м. М ₁ (1+0,10) кв.							
1881—82	21,6	49.900	48	51.300	33.276	36.604	51.300	235,0	294,2	323,6	59,2	88,6	Мощности подсчитаны на шипах понижающей подстанции в Ленинграде.
1882—83	5,3	26.800	28	51.300	19.411	21.352	51.300	198,5	256,4	282,0	57,9	83,5	
1883—84	45,0	51.300	44	51.300	30.503	33.553	51.300	317,5	329,0	361,9	11,5	44,4	
1884—85	11,5	37.200	44	51.300	30.503	33.553	51.300	237,8	315,8	347,4	78,0	109,6	
1885—86	33,7	51.300	45	51.300	31.196	34.316	51.300	264,0	307,8	338,6	43,8	74,6	
1886—87	28,7	51.300	42	51.300	29.116	32.028	51.300	252,8	304,0	334,4	51,2	81,6	
1887—88	58,4	51.300	47	51.300	32.582	35.840	51.300	319,0	324,0	356,4	5,0	37,4	
1888—89	45,6	51.300	50	51.300	34.662	38.128	51.300	284,0	342,4	376,6	58,4	92,6	
1889—90	16,0	43.500	43	51.300	29.809	32.790	51.300	222,2	292,0	321,2	70,0	99,0	
1890—91	25,1	51.300	36	51.300	24.957	27.453	51.300	231,2	255,0	280,5	23,8	49,3	
1891—92	17,4	45.200	31	51.300	21.491	23.640	51.300	201,8	230,6	253,7	28,8	51,9	
1892—93	27,5	51.300	47	51.300	32.582	35.840	51.300	275,8	327,0	359,7	51,2	83,9	
1893—94	43,8	51.300	59	51.300	40.901	44.991	51.300	326,0	378,4	416,2	52,4	90,2	
1894—95	65,8	51.300	71	51.300	49.220	54.142	51.300	404,9	454,0	499,4	49,1	94,5	
1895—96	30,5	51.300	53	51.300	36.742	40.416	51.300	273,0	336,6	370,3	63,6	97,3	
1896—97	23,4	51.300	45	51.300	31.196	34.316	51.300	271,2	320,4	352,4	49,2	81,2	
1897—98	12,0	37.900	40	51.300	27.730	30.503	51.300	198,5	285,0	313,5	86,5	115,0	
1898—99	69,5	51.300	72	51.300	49.913	54.904	51.300	380,4	402,5	442,8	22,1	62,4	
1899—90	38,2	51.300	55	51.300	38.128	41.941	51.300	305,0	367,8	404,6	65,8	29,6	
1900—01	33,5	51.300	48	51.300	33.276	36.604	51.300	264,6	338,0	371,8	73,4	107,2	
1901—02	8,2	32.300	36	51.300	24.957	27.453	51.300	204,2	270,0	297,0	65,8	93,0	
1902—03	55,5	51.300	74	51.300	51.300	56.430	51.300	394,0	434,0	477,4	40,0	83,4	
1903—04	56,9	51.300	63	51.300	43.674	48.041	51.300	382,0	425,0	467,5	43,0	85,5	
1904—05	55,7	51.300	57	51.300	39.515	43.467	51.300	313,0	355,0	390,5	42,0	77,5	

Годовой период.	Естественный режим.		Регулирование с обвалов. озера.		Регулирование с обвалов. озера.		Мощность в часы макс. нагрузки при суточ. регулир. по графику 1929 г. и напоре 12 м.	Количество энергии в 10 ⁶ кв. ч. за годов. период на шинах в Ленинграде.			Приращение энергии за годов. период на шинах в Ленинграде в 10 ⁶ кв. ч. относительно естествен. режима.		ПРИМЕЧАНИЕ.
	Средний секундный расход за декабрь саж. ³ /сек.	Мощность в часы макс. нагрузки при суточ. регулиров. по графику 1929 г.	Наименов. зарегул. расход в декабре саж. ³ /сек.	Мощность в кв. в часы максимальной нагрузки при сут. регулир. по графику 1929 г.	Средн. суточн. мощность за декабрь в кв.			А без применения регулир. (естествен. режим).	В регулирование с обвалованнем озера.	С регулирование с обвалованнем озера при напоре 12 м. В (1+0,10).	При регулир. рован. с обвалован. В.	При регулир. рован. с обвалован. С.	
					М ₁ при напоре 10,5 м. на гл. пл.	М ₂ при напоре 12 м. М ₁ (1+0,10) кв.							
1905—06	61,3	51.300	68	51.300	47.141	51.300	51.300	374,5	428,5	471,4	54,0	96,9	
1906—07	40,3	51.300	45	51.300	31.196	34.316	51.300	237,0	308,8	339,7	71,8	102,7	
1907—08	9,2	33.800	31	51.300	21.491	23.640	51.300	195,5	240,0	264,0	44,5	68,5	
1908—09	57,5	51.300	51	51.300	35.355	38.891	51.300	362,1	372,0	409,2	9,9	47,1	
1909—10	23,2	51.300	51	51.300	35.355	38.891	51.300	255,0	307,8	338,6	52,8	83,6	
1910—11	52,7	51.300	56	51.300	38.800	42.680	51.300	340,0	389,0	427,9	49,0	87,9	
1911—12	41,7	51.300	57	51.300	39.550	43.505	51.300	259,6	332,4	365,5	72,8	106,0	
1912—13	31,1	51.300	49	51.300	33.967	37.364	51.300	280,0	359,5	396,5	79,5	116,5	
1913—14	47,2	51.300	55	51.300	38.128	41.941	51.300	321,5	390,0	429,0	68,5	107,5	
1914—15	17,5	45.400	39	51.300	27.086	29.740	51.300	215,0	303,0	333,3	88,0	118,3	
1915—16	21,6	49.900	44	51.300	30.503	33.553	51.300	239,0	310,8	341,0	71,8	102,9	
1916—17	57,5	51.300	68	51.300	47.141	51.300	51.300	339,2	423,0	465,3	83,8	126,1	
1917—18	59,5	51.300	74	51.300	51.300	51.300	51.300	402,5	452,0	497,2	49,5	94,7	
1918—19	23,4	51.300	51	51.300	35.355	38.891	51.300	284,2	359,9	395,9	75,7	111,7	
1919—20	13,2	39.600	41	51.300	28.423	31.265	51.300	203,8	258,1	283,9	54,3	80,1	
1920—21	10,3	35.500	29	51.300	20.104	22.114	51.300	177,8	231,8	255,0	54,0	77,2	
1921—22	19,3	47.500	31	51.300	21.491	23.640	51.300	198,0	226,0	248,6	28,0	50,6	
1922—23	31,4	11.300	51	51.300	35.355	38.891	51.300	306,0	363,8	400,2	57,8	94,2	
1923—24	87,9	51.300	65	51.300	45.061	49.567	51.300	406,3	433,0	476,5	26,7	70,2	
1924—25	15,8	43.300	45	51.300	31.196	34.316	51.300	273,4	352,8	388,1	79,4	114,7	
Среднее за 44 г.	35,2	46.930	49,5	51.300	34.331	—	51.300	282,4	336,1	369,6	53,7	87,2	

Описание гидротехнических сооружений. Регулирующая плотина в истоке р. Волхова, за исключением высоты, сохраняет те же размеры, как и в проекте по малому варианту и, следовательно, о ней может быть оставлено в силе все то, что сказано было по этому сооружению выше. Что же касается высоты плотины, то таковая определяется наивысшим возможным горизонтом воды в водохранилище, который в исключительные годы может достигнуть отметки 11,00 саж. При такой отметке горизонта воды, отметка верха плотины должна быть назначена 11,25 саж., т. е. на 1,00 саж. выше чем в малом варианте. Отметки верха береговых устоев сохраняются такими же, как и в малом варианте, так как устои плотины проектировались незатопляемыми. Плотина на р. Мсте запроектирована того же типа, как и регулирующая на Волхове. Отверстие ее подсчетом определилось в 150 мтр. Шлюзы, как на Волхове, так и на Мсте и р. Полисти приняты так же как и в малом варианте по типу Волховскому, хотя, повидимому, на первое время представлялось бы возможным ограничить размеры шлюза в плане 100×13 мтр., т. е. несколько больше, чем имеют существующие шлюзы на Маринском водном пути. Во всяком случае вопрос о размерах шлюзов можно будет разработать лишь тогда, когда регулирование озера Ильмень будет признано задачей первой очереди.

Дюкер, необходимый для осушения левобережной поймы р. Ловати, представляет довольно крупное и серьезное сооружение. При эскизной проектировке не было возможности в точности рассчитать режим стока через дюкер из левобережной поймы. Приблизительные подсчеты, исполненные с известным запасом, позволили остановиться на величине расчетного расхода в 100 куб. мтр./сек., при разности уровней около 2,00 мтр. Это дает скорость течения около 6 мтр./сек. и необходимую площадь сечения 17 кв. мтр. Для удобства эксплуатации и ремонта дюкер проектирован в виде двух параллельных и соединенных общим фундаментом сводчатых бетонных труб, площадью сечения каждая около 8,5 кв. мтр. при ширине 3,00 мтр. и высоте 3,7 мтр.

Со стороны правого берега р. Ловати трубы эти закрываются плоскими металлическими щитами, помещенными в бетонных колодцах.

При таком устройстве левобережная пойма р. Ловати будет защищена от затопления Мстинскими паводками. Конструкция дюкера показана на чертежах л. 48 и л. 49-а.

Дамбы. Самым крупным по объему работ является возведение вокруг озера и по устьевым частям р.р. Ловати и Шелони незатопляемых дамб, общим протяжением около 197 км. и объемом около 15 милл. куб. мтр.

Как указано было выше, наивысший уровень наполнения водохранилища может быть принят 10,5 саж. = 22,40 мтр., но при исключительно высоком половодьи этот уровень как в озере, так и в пойме может подняться до отметки 11,00 саж. = 23,47 мтр. Средние отметки поймы по трассе дамбы 8,5—9,0 саж. Таким образом при осушке поймы напор на дамбах будет 3,2—4,3 мтр., но гребень их должен быть по крайней мере на 1,00 мтр. выше наивысшего возможного горизонта воды и должен иметь отметку 11,50 саж. = 24,50 мтр. При наибольшей ширине озера в 42 км. полная высота волны может достигнуть, судя по имеющимся эмпирическим формулам¹⁾, величины 2,0—2,2 мтр., чему соответствует возвышение гребня волны над средним уровнем около 1,5 мтр., т. е. при нормальном наполнении гребень волны будет на 0,5 мтр. ниже площадки дамбы. Совпадение исключительно высокого стояния гор. воды в водохранилище с весьма сильными западными ветрами мало вероятно, но если бы в редком случае волны и достигали площадки дамбы, защищенной рассадой ивняка, то нельзя опасаться серьезных размывов и нет оснований из-за этого повышать дамбы и увеличивать их объем.

Дамбы придется возводить из песчаных и песчанисто-глинистых грунтов Ильменьской поймы, без какого-либо водонепроницаемого ядра, устройство которого в местных условиях особо затруднило бы работу. При небольшом напоре указанный тип наиболее целесообразен и оправдывается опытом целого ряда подобных сооружений (см. черт. л. 47). Для выбора профиля земляной напорной дамбы, решающим фактором является средний уклон кривой депрессии. Наблюдения над многими плотинами показали, что этот уклон колеблется в пределах 0,2—0,35 в зависимости от качества грунта и способа возведения дамбы. При расчете дамб обычно применяется уклон 0,2—0,22. В настоящем случае, учитывая ежегодное пропитывание водой берегового откоса дамбы во время весеннего половодья и трудность надзора за столь длинными дамбами, уклон принят в 0,143. Ширина дамбы по верху принята

¹⁾ „Материалы к проекту Днепростроя“, вып. I.

в 6,00 мтр., что определяется опытом многих из существующих плотин (черт. л. 47), так и требованием сохранить возможность прокладки здесь дороги шириною 3—4 мтр., для подвоза ремонтных материалов и, в особенности, для объезда плотин в весеннее время. Озерной (напорный) откос имеет уклон 2,5:1, что при полной обеспеченности устойчивости дает некоторую экономию в количестве земляных работ, тем более, что массивная каменная одежда откосов необходима здесь для защиты дамбы от волны.

Этот укрепленный откос простирается от подошвы дамбы (см. черт. л. 47) до отметки нормального подпорного горизонта воды = 22,40 мтр., на уровне которого устраивается мощная берма шириною в 1,00 мтр. Выше этой бермы откос тройной, но укрепленный только посадкой тальника, который является достаточно хорошей защитой от волнения. Главное назначение бермы—это уничтожение живой силы вкатывающейся по откосу донной волны.

Береговому откосу дамбы придан уклон 2:1, а укрепление запроектировано в виде нескольких рядов ивовых рассадок, так как со стороны поймы нельзя опасаться ни сильного волнения, ни значительного ледохода. При высоте дамбы более 5,30 мтр., для обеспечения уклона депрессионной линии в $\frac{1}{7}$, ширина ее увеличивается устройством береговой бермы. Типовые профили дамбы показаны на черт. л. 47.

Весьма серьезным являлся вопрос о выборе типа укрепления откосов дамб, так как общая площадь их достигает 1,2 милл. кв. мтр., и стоимость этих укреплений может оказаться чрезвычайно большой.

Применение бетонных или железобетонных типов укрепления, а также укрепления типа деревянных подпорных стенок, по соображениям производства работ и стоимости, отпали вовсе. Таким образом оставался выбор между каменной мостовой и хворостяными тюфяками с камнем. Последний тип в местных условиях имеет следующие недостатки: во-первых, он требовал бы заготовки громадных количеств хвороста (не менее 1.000 куб. саж. на версту дамбы), во-вторых—при падении уровня озера во второй половине зимы или к началу весны большая часть тюфяков обнажалась бы и подвергалась бы промерзанию и высыханию, что влекло бы довольно быстрое разрушение их. Вследствие указанных соображений, окончательно принят тип крепления откоса каменной мостовой на мху.

При определении необходимой толщины каменного крепления в основу было положено условие устойчивости каждого участка мостовой на откосе, даже при отсутствии упора с низовой стороны. На основании простых соображений была выведена формула, определяющая условия предельного равновесия камня, лежащего на откосе, при прохождении волны высотой h :

$$\frac{b}{h} = \frac{0,25 \varphi}{(\gamma - 1) (\varphi \cos \alpha - \sin \alpha)}, \text{ где}$$

b —толщина камня,

h —высота волны,

φ —коэффициент трения камня по грунту,

α —угол образуемый откосом с горизонтом,

γ —удельный вес камня.

При наибольшей высоте волны в 2,00 мтр. наибольшая толщина мостовой на откосе 1 : 2½ определилась в 0,70 мтр. При расположении дамбы далеко от естественного меженного уреза воды озера, величина волны при подходе к дамбе уменьшалась, а следовательно, уменьшалась и толщина мощения. Дамбы, ограждающие пойму р. Ловати, укреплены мостовой толщиной в 0,25 мтр.

Как уже отмечено было выше, грунт, необходимый для возведения дамб, может быть взят в непосредственной близости от них, так как пойма оз. Ильмень почти что повсеместно покрыта пластами суглинков, ленточных глин и песка ¹⁾, вполне пригодными для насыпи дамб массивного профиля. Для отвода весенних и дождевых вод, скопляющихся в пойме за дамбами, необходимо иметь вдоль последних осушительный канал такого сечения, чтобы по возможности скорее осушить всю пойму и тем улучшить условия землепользования. Совершенно очевидно, что выгоднее всего использовать выемку этого канала в качестве резерва для насыпи дамб.

Средняя отметка поймы по трассе дамб может быть принята около 8,80 саж. над уровнем Балтийского моря, чему соответствует площадь сечения дамбы около 120 кв. мтр. Так как верхний почвенный слой непригоден для насыпки дамб, то объем выемки резерва должен быть несколько больше. Принимая необходимый запас в 10%, получим необходимую площадь выемки в 132 кв. мтр.

¹⁾ Вып. VII „Материалов по исследованию р. Волхова“.

Профиль сечения резерва подобран из условия наибольшей его пропускной способности. Размеры резерва-канала при этом получились следующие: глубина 5,00 мтр. = 2,34 саж., ширина по дну 16,00 мтр., откосы двойные.

Расстояние от подошвы дамбы до бровки резерва принято по американским нормам не менее 30,5 мтр. ¹⁾

Способ производства работ. Вследствие очень большого количества земляных работ, сопряженных с устройством оградительных дамб по большому варианту проекта регулирования стока оз. Ильмень, вся организация и сроки выполнения зависят исключительно от этих земляных работ.

В описываемом эскизном проекте обращено исключительное внимание на способ производства именно этих работ, в то время как остальные работы считались по аналогии с таковыми же для малого варианта, так как все сооружения, за исключением дюкера, а именно плотины и шлюзы, однотипны и могут быть легко подсчитаны по данным малого варианта.

Приведем средние основные данные, характеризующие земляные работы во всем объеме. Весь объем грунта, подлежащего выемке и перемещению в насыпь, при протяжении дамб около 197 клм. составит 15 милл. куб. мтр. Среднее расстояние перемещения грунта (между центрами тяжести насыпи и выемки) 75 мтр. при средней высоте подъема около 4,40 мтр.

При указанных данностях и местных условиях работ возможность производства работ вручную или конной возкой сразу же отпадает.

Из механических снарядов, применяемых для выполнения земляных работ, могут быть отмечены:

- 1) сухопутные эскаваторы с непосредственной передачей грунта в насыпь,
- 2) сухопутные эскаваторы с отвозкой грунта поездами,
- 3) наконец, плавучей землечерпательницей или землесосом с рефулером.

Одночерпаковые сухопутные эскаваторы типа «паровой лопаты», несмотря на свои общеизвестные достоинства, вряд ли применимы в данном случае, так как дно выемки, по которому они должны

¹⁾ Труды XI Международного Конгресса по судоходству. Доклад инж. Оккерсона.

передвигаться, легко может затопляться грунтовыми водами. Вообще в рассматриваемом случае более целесообразными являются машины,двигающиеся по бровке выемки, на уровне естественного грунта, т. е. многочерпаковые или канатные с достаточным выносом стрелы для получения двойного откоса выемки.

Первый тип, широко применяемый европейскими строителями, имеет тот недостаток, что конструкция его сравнительно сложна и весь снаряд получается тяжелым и дорогим. Кроме того, при нем необходимо особое оборудование для отвозки грунта. Так как в нашем случае приходится считаться с необходимостью убирать на зиму все рельсовые пути и подвижной состав на незатопляемые места, иногда довольно далеко от места работ, что в свою очередь потребует значительных затрат и потери времени, то в эскизном проекте тип сухопутных многочерпаковых снарядов также не рассматривался.

Второй тип сухопутных снарядов—канатные экскаваторы—имеют многие преимущества в отношении простоты, легкости и дешевизны конструкции. По каталогу завода Бьюсайрус на 1915 г. наибольшие снаряды имели черпаки емкостью 2,67 куб. мтр., наибольшее горизонтальное расстояние захвата грунта от оси снаряда 30—38 мтр., наибольшую глубину черпания 11—15 мтр. и наибольшее расстояние места выгрузки от оси снаряда 33—40 мтр. Следовательно, такой снаряд смог бы выполнять насыпь при расстоянии между центрами тяжести выемки и насыпи до 70—80 мтр., что соответствует условиям проектируемых работ. Производительность снаряда, при 40 черпаниях в час и среднем наполнении около 80%, т. е. 2 куб. мтр., составит 80 куб. мтр. в час, а за две 8-ми часовые смены—1.280 куб. мтр. При продолжительности строительного сезона в 150 дней, для выполнения всей работы необходимы $\frac{15.000.000}{150 \times 1.280} = 78$ снарядо-сезонов, и, следовательно, при четырехлетнем сроке работ кругло 20 снарядов. Стоимость каждого снаряда, включая провоз и пошлину, может быть принята в 100.000 руб.

Годовые эксплуатационные расходы на каждый снаряд составляют:

- 1) Топливо из расчета по 0,25 тонны
в час, считая по 30 руб. за тонну . 18.000 р.
- 2) Смазка ∞ 5% от стоимости топлива . 1.000 »

3) Отчисление на амортизацию снаряда .	10.000 р.
4) Обслуживающий персонал, включая премиальные	16.000 »
5) Ремонт снаряда—5% от стоимости .	5.000 »
6) Накладные расходы: по доставке, сборке и разборке снарядов, устройство зимовочных сараев, планировка полотна для передвижения снаряда на зимовку, амортизация шпал и рельсовых путей	18.600 »
7) Водоснабжение	3.000 »
8) Разные расходы	3.400 »
<hr/>	
Всего	75.000 р.

В числе этих 75.000 руб. около 20.000 руб. составляют расход на зарплату.

За 4 года работ расходы по всем 20 снарядам составят:

эксплуатационные расходы по снарядам	6.000.000 р.
накладные расходы на зарплату . . .	480.000 »
технический надзор 6%	360.000 »
неучтенные расходы 8%	480.000 »
<hr/>	
Итого	7.320.000 р.

Таким образом, примерная стоимость выемки 1 куб. мтр. грунта, с укладкой его в насыпь дамбы, определится около 50 коп.

Наиболее соответствуют условиям работ на оз. Ильмень землечерпательница или землесос, рефулирующие вынимаемый грунт в насыпь дамбы. Ширина канала вполне достаточна для маневрирования снаряда и рефулера. Работу таким снарядом можно начинать в нескольких местах, где трасса канала пересекает реки, впадающие в оз. Ильмень или его заливы. Работа может начинаться даже ранее спада высоких весенних вод и обнажения поймы и производиться до поздней осени, так как рабочий период может достигнуть 170—180 дней.

Грунт, выбрасываемый рефулером, уже хорошо разрыхлен и, благодаря сильному разжижению, ложится весьма плотно без всякой особой утрамбовки. Производительность снаряда может быть гораздо выше сухопутного эскаватора. Наконец, по окончании работ на оз. Ильмень, эти плавучие снаряды легко могут быть переведены

на водные пути Волжского бассейна, для работ на транзите или в гаванях, в чем несомненно будет ощущаться потребность. Необходимо иметь только ввиду, что при рефулировании грунт стремится далеко расплываться, образуя весьма пологие откосы. Вследствие этого, при возведении из него дамб определенного профиля, необходимо места выгрузки ограждать легкими и дешевыми заборами. Наиболее подходящим типом будут хворостяные клетки, возвышающиеся над поверхностью грунта на 0,6—0,8 мтр.

Для выбора типа были исследованы снаряды со средней действительной производительностью в 100—150—250—400 и 650 куб. мтр. песчано-глинистого грунта в час.

Основные данные этого исследования приведены в таблице № 33.

На основании данных таблицы № 33 наиболее подходящим снарядом оказался снаряд, соответствующий типу «Днепровская 14», который на приемных испытаниях показал часовую производительность в 445—700 куб. мтр. песчаного и иловато-песчаного грунта при длине рефулера 303 мтр., высоте подъема его конца 3 мтр. и глубине всасывания 8,23 мтр. Договорная производительность его в тех же условиях 400 куб. мтр./час. Мощность рефулерной машины 600 инд. сил, полный расход угля, отнесенный на 1 инд. силу главной машины, составлял 0,8—1,13 кг. Договорная стоимость этого снаряда в 1913 году составляла 216 тыс. руб.

В произведенных расчетах стоимости земляных работ стоимость снаряда была принята 500 тыс. руб. Стоимость переработки одного куб. мтр. грунта определилась кругло в 18 коп.

К этой сумме необходимо прибавить расходы, связанные с устройством плетневой заборки для удержания рефулируемого в насыпь грунта.

При высоте плетней в 0,6 мтр. высота каждой ступени будет около 0,7 мтр., так как грунт ляжет с откосом в $1/10$ — $1/20$. При средней высоте дамбы в 5,75 мтр., на каждый погонный метр таковой придется по 16 пог. мтр. плетневых заборов, или на каждые 8 куб. мтр. тела дамбы придется по 1 пог. мтр.

По данным инж. Вислоцкого ¹⁾, исправленным сообразно условиям настоящего случая, стоимость 1 пог. мтр. плетневого

¹⁾ Доклад VII Съезду русских деятелей по водным путям.

Т а б л и ц а № 33.

№№ по порядку.	Наименование данных.	Единицы.	Снаряды с действительной производительностью					Примечание.
			Куб. мтр./час.					
			100	150	250	400	650	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Контрактная производительн. в песке	куб.мтр/час.	150	250	400	550	900	1) Исчислено из расчета 175 раб. дней при работе в 2 смены и учетом потери времени на перекладку рефулеров. Последние потери для снарядов в 100, 150, 250, 400 и 600 куб. мтр./час приняты соответственно—13, 18, 27, 40 и 55%.
2	Длина рефулирования до	мтр.	300	300	300	300	300	
3	Высота рефулирования до	”	10	10	10	10	10	
4	Мощность всех машин	PS инд.	220	360	530	750	1.150	
5	Предполагаемая современ. стоимость	тыс. руб.	310	380	470	550	900	
6	Ожидаемая произв. снаряда в течение сезона (175 дней) при работе в 2 см.	тыс.куб.мтр	244	344	511	672	820	
7	Число снарядов для выполнен. работ в течен. 4 лет	снар.	15	11	8	6	5	
8	Годовое число часов работы машин 1)	час.	2.440	2.290	2.040	1.680	1.260	
9	Годовой расход на топл., смазку и обтирку на один снаряд	тыс. руб.	17	22,5	27	29	30	
10	Содержание обслуживающего персонала на один снаряд	”	17	19	22	24	30	
11	Ремонт и зимовочн. расходы на один снаряд	”	18	23	28	31	54	
12	Стоимость рабочих команд в течение одного сезона на месте свалки	”	5	7	8	9	12	
13	Расходы по амортизации	”	9	11	14	16	27	
14	Стоимость выемки и рефулирования в насыпь 1 куб. мтр. гр.	коп.	26	23,2	19,8	17,6	18,4	

забора подсчитана в 0,95 руб. и соответственно на 1 куб. мтр. земляных работ $\frac{95}{8} = 12$ коп. .

Учитывая расходы по планировке откосов, окончательная стоимость одного куб. мтр. дамбы подсчитана в 35 коп.

Стоимость сооружений. Как усматривается из общего описания, проект регулирования стока по большому варианту обнимает собой следующие сооружения: плотины на р. Волхове и р. Мсте, со шлюзами при них, шлюз на р. Полисти, дюкер под р. Ловатью, ограждающий вал и осушительный канал вокруг оз. Ильмень. При надобности каналы эти могут быть использованы для судоходных целей, причем в этом случае пришлось бы предусмотреть устройство еще одного шлюза из р. Ловати в указанный канал.

При исчислении стоимости всех работ использованы были расценки и единичные цены для малого варианта, а также изложенные выше соображения о стоимости земляных работ.

Сводные данные о стоимости всех сооружений приведены в таблице № 34.

Т а б л и ц а № 34.

№№ по порядку.	Наименование работ и сооружений.	Единицы.	Количество.	Стоимость единицы в руб.	Сумма.	Примечание.
1	Плотины	пог. мтр.	424	15.000	6.360.000	
2	Шлюзы	шт.	3	2.000.000	6.000.000	
3	Дюкер	„	1	500.000	500.000	
4	Дамба:					
	земляные работы .	тыс.куб.мтр.	15.000	350	5.250.000	
	мощение откосов .	тыс. кв. мтр.	1.200	5.500	6.600.000	
	„ площад.	„	200	3.000	600.000	
	Итого . . .	—	—	—	25.310.000	
5	Непредвиденн. расходы 10%	—	—	—	2.531.000	
	ВСЕГО . .	—	—	—	27 841.000	
	Кругло	—	—	—	28.000.000	

Значение проекта для судоходства и сельского хозяйства.

При осуществлении проекта регулирования стока оз. Ильмень с применением обвалования, условия судоходства по р. Волхову существенного изменения сравнительно с проектом по малому варианту не получают. Что же касается условий судоходства по озеру Ильмень, то здесь можно ожидать значительного их улучшения. Действительно, плавание по Сиверсову каналу в весеннее время под защитой оградительных дамб будет более безопасно, чем в настоящее время, когда весной вся пойма представляет собой сплошное озеро. Далее, при наличии осушительного канала большого сечения, весь сплав леса, идущий в настоящее время через озеро, может быть направлен по обходному каналу, благодаря чему будут избегнуты обычные аварии или значительные задержки плотов при сильных ветрах.

Для сельского хозяйства проект регулирования по большому варианту имеет весьма большое значение. Пойменные земли, как это было указано в описании режима зарегулированного стока, освобождаются от весеннего разлива на 2 месяца ранее, чем в естественных условиях, вследствие чего вегетационный период для них достигает своей нормальной продолжительности. В результате осушения земель произойдет не только увеличение урожайности луговых угодий, но повысится также и качество сена, так как осочные луга перейдут в категорию заливных мягких лугов, что, конечно, увеличит и их ценность. Благодаря этому ценность всех пойменных земель значительно повысится и все угодия, за исключением мокрых лугов, расположенные в пределах поймы, достигнут своей нормальной стоимости, что же касается последних, то вследствие перехода их в разряд сухих, ценность их в значительной мере увеличится. При этих условиях, на основании данных таблицы № 31, увеличение ценности земель составит $8.319.733 - 6.291.596 + 21.392 \times 220 = 6.730.377$ руб. Ежегодная доходность этих земель из расчета 10% годовых увеличится на 673.000 руб. Цифра эта не может считаться преувеличенной, так как улучшению подвергаются 62.000 десятин, что дает в среднем увеличение доходности на десятину 10,80 руб. При производстве специальных мелиоративных работ доходность пойменных земель возрастет еще больше, вследствие чего, благодаря обвалованию озера, для культурного землепользования будет приобретен значительный новый земельный фонд.

Для выяснения экономической стороны проекта по большому варианту принято, что годовые расходы по эксплуатации и амортизации сооружений составляют, по аналогии с малым вариантом, 8,6% от строительной стоимости. При этом условии ежегодные расходы по Волховской станции увеличатся на $0,086 \times 28.000.000 = 2.408.000$ руб.

Из таблицы № 32 усматривается, что при осуществлении описанного проекта, кроме обеспечения полной мощности, Волховская гидроустановка увеличит выработку энергии в среднем на 53,7 милл. кв. часов.

Учитывая годовое увеличение доходности мелиорированных земель, стоимость Волховской энергии после регулирования определится:

$$\frac{7.437.000 + 2.408.000 - 673.000}{336,1 \times 10^6} \times 100 = 2,73 \text{ коп. за кв. час.}$$

т. е. на 0,27 коп. дешевле, чем при пользовании паровым резервом и на 0,10 коп. дороже, чем при исполнении регулирования по малой схеме. Однако, при более детальном учете выгод от обвалования озера для других отраслей народного хозяйства, а именно сельского хозяйства и судоходства есть основания предполагать, что стоимость энергии понизится и таким образом этот вариант окажется наиболее выгодным.

Выводы по большой схеме проекта регулирования. Изложенное выше позволяет отметить следующие преимущества регулирования стока оз. Ильменя при применении обвалования его берегов сравнительно с другими схемами:

1) Средний коэффициент использования стока Волхов-Ильменского бассейна повышается с 78% до 93%. При этом, как показали предварительные подсчеты, оказывается возможным установленную мощность Волховской установки увеличить и довести до 12 агрегатов.

2) Благодаря мелиорации 62.000 десятин пойменных земель, создадутся благоприятные условия для развития и усовершенствования сельского хозяйства.

3) Значительно облегчается и становится безопасным речное судоходство и сплав между р.р. Волховом, Мстой и Ловатью.

4) Ввиду ограждения Ильменской поймы, представляется возможным, затрагивая в незначительной мере интересы сельского

хозяйства, поднять напор на плотине у Волховской гидроустановки. Действительно, вследствие почти что полной регулировки стока оз. Ильмень, весенние расходы на р. Волхове значительно снизятся и Волховская пойма затопляться будет лишь в исключительно многоводные годы. При этих условиях увеличение напора на плотине у Званки, на основании данных предварительных обследований, вызовет очень незначительное количество дополнительных затоплений и отчуждений сверх тех, которые были предусмотрены для ныне действующей станции. Для увеличения напора потребовалось бы некоторое переустройство плотины Волховской гидростанции, для чего должен быть составлен подробный проект. При выполнении такого переустройства стоимость энергии при регулировании стока по большому варианту составила бы 2,50 коп. за кв. час, что, конечно, является уже более выгодным чем для регулирования стока по другим схемам.

Соображения об очередности исполнения проекта. Так как регулирование стока оз. Ильмень по обоим вариантам безусловно обеспечивает в любой по водности год работу станции полной мощностью, регулирование же по большой схеме проекта имеет ряд преимуществ, то естественно подразделить выполнение работ по схеме большого варианта на очереди таким образом, чтобы имелась возможность постепенного осуществления его в целом. При такой постановке вопроса оказывается более выгодным изменить расположение сооружений по малому варианту, вводя средний переходной вариант между большим и малым, а именно перенести плотину выше устья Сиверсова канала (см. черт. л. 51), между этим последним и Юрьевским монастырем. При этом сток оз. Ильмень, собирающийся в отверстие недостроенного моста жел. дор. Ленинград—Орел, будет подходить к этому отверстию только частично через плотину, а частично через Сиверсов канал, который при таком решении остается свободным. Благодаря значительным размерам живого сечения этого канала, около 30,00 саж. по дну, и отметки дна 6,75 саж., возможно, учитывая его пропускную способность, отверстие регулирующей плотины уменьшить примерно до 250 мтр.

Вдоль Сиверсова канала бровки его берегов, расположенные на отметках 9,5—10,0 саж., выравниваются при этом до отметки 10,0 саж., что потребует частичного повышения этих бровок на

высоту не свыше 0,5 саж. Притоки и рукава р. Мсты в ее дельте закрываются в этом среднем варианте земляными перемычками с укрепленным верхом и с отметкой верха 9,00 саж. Общая длина всех перемычек около 150 саж.

Регулирование стока по среднему варианту начинается, когда горизонт воды на озере опустится до отметки 10,0 саж. Вследствие частичного закрытия регулирующей плотины, задержится несколько сток из озера и усилится сток по Сиверсову каналу. После того, как уровень озера опустится до отметки 9,00 саж., произойдет разобщение дельты реки Мсты от озера и в дальнейшем обнажение пойменных лугов дельты из под воды, вследствие малой емкости поймы ниже уровня 9,00 саж., произойдет в очень короткий срок до уровня, который будет поддерживаться в нижнем бьефе регулирующей плотины.

С достижением горизонтом воды озера отметки 9,00 саж. таковой горизонт будет поддерживаться в течение всего лета до осени, когда начнет возрастать потребность Ленинграда в электро-снабжении и когда, следовательно, сохраненный в озере слой вместе с текущим притоком озера будет использоваться в соответствии с ростом нагрузки в Ленинграде. Гидрологический подсчет показал, что сохранение в озере горизонта на такой отметке достаточно даже в условиях исключительно маловодных лет для обеспечения работы Волховской станции на полную установленную на ней мощность в часы зимних максимумов нагрузки.

Кроме того, вследствие переноса плотины выше устья Сиверсова канала, весь грузовой поток, идущий со стороны р. Мсты, проходит свободно, не пользуясь шлюзом, который при указанной схеме расположения сооружения нужен только для судов, идущих через оз. Ильмень. При таких условиях на ближайшее время шлюз может быть построен временным, значительно меньших размеров.

Таким образом, изложенный выше метод решения задачи по среднему варианту имеет некоторые преимущества сравнительно с проектом по малому варианту, которые заключаются в следующем:

- 1) При осуществлении первой очереди работ достигается частичное регулирование стока оз. Ильмень и тем обеспечивается в любые по водности годы полная установленная мощность Волховской гидроустановки, причем затраты на осуществление работ могут быть сокращены сравнительно с таковыми по малому варианту.

2) Сельско-хозяйственные угодья в пойме оз. Ильмень подвергаются несколько меньшему ухудшению, а в дельте р. Мсты достигаются даже лучшие условия для их использования.

3) Расположение сооружений удобнее для возможности в дальнейшем совершить переход к большому варианту регулирования, и тем самым этот вариант кладет начало мелиорированию Ильменской поймы.

Стоимость среднего варианта. Стоимость выполнения работ для регулирования стока оз. Ильмень по схеме среднего варианта подсчитана по приведенным выше данным для малого и большого вариантов и сводка этих подсчетов приведена в таблице № 35, т. е. стоимость работ по схеме среднего варианта одинакова с таковой-же по малому варианту.

Также почти совпадают условия и сроки выполнения строительных работ.

Т а б л и ц а № 35.

№№ по порядку.	Наименование работ и сооружений.	Единицы.	Количество.	Стоимость единицы в руб.	Сумма.
1	Плотина	куб. мтр.	250	15.000	3.750.000
2	Шлюз	”	—	—	1.200.000
3	Дамбы	”	—	—	33.500
4	Непредвиденн. расходы	”	—	—	216.500
Всего . . .		—	—	—	5.200.000

Заключение.

В заключение представляется необходимым сделать сводку всего изложенного.

В качестве общего положения может быть указано, что регулирование стока Волховского бассейна является задачей вполне

осуществимой и достаточно рентабельной. Это регулирование возможно выполнить по двум схемам. Первая схема—малый вариант, дает решение удовлетворительнее с энергетической точки зрения, а также отчасти и судоходной, но вносит ухудшения в условия землепользования по берегам оз. Ильмень. По схеме малого варианта достигается обеспечение работы Волховской станции на полную мощность в любой год при работе этой станции в зимнее время на пиковую часть графика нагрузки и с применением при том суточного регулирования.

Вторая схема—большой вариант,—дает также не только выгодное решение с энергетической и судоходной точки зрения, но разрешает и вопросы улучшения землепользования по Ильменю.

При этом варианте в оборот культурного сельского хозяйства может быть введено свыше 62.000 десятин. Таким образом схему регулирования по большому варианту надлежит рассматривать как проблему, в решении которой заинтересована как Ленинградская промышленность, так и НКПС и Наркомзем и в особенности Новгородский округ.

Донный лед на р. Волхове в зиму 1928—29 г. ¹⁾.

В естественных бытовых условиях, до сооружения плотины, р. Волхов, как было известно, местами не покрывался сплошным ледяным покровом, образуя ряд майн, из которых часть к середине зимы закрывалась, часть же существовала до весны. Наиболее интересным в этом отношении и значительным в смысле влияния на характер зимнего режима реки являлся участок между Гостинопольем (175 верста) и местом сооружения гидростанции (185 верста), на котором расположены Ладожские пороги. До 60% поверхности этого десятиверстного участка, благодаря значительным скоростям, достигавшим до постройки плотины пяти с лишним метров в секунду ²⁾, не замерзало даже в самые суровые зимы, являясь причиной переохладения воды и источником образования значительного количества донного льда.

Сооружение Волховской плотины и перекрытие Ладожских порогов значительным слоем подпорной воды, уменьшив скорости течения, обращало верхний бьеф сооружения в плесовой участок большой глубины, который, по предположениям, должен был покрываться сплошным ледяным покровом одновременно с другими аналогичными частями реки и, таким образом, фабрикация донного льда выше станции сводилась на нет.

Контрольные исследования зимнего режима р. Волхова, произведенные в первый год эксплуатации станции в январе 1927 г., подтвердили в общем правильность этих предположений, указав, что верхний бьеф гидросиловой установки действительно покрывался

¹⁾ Статья составлена инж. Г. К. Лоттер и В. Н. Вальман.

²⁾ См. Выпуск XIV Материалов по исследованию р. Волхова и его бассейна, стр. 96.

нормальным ледяным покровом и донного льда в его пределах обнаружено не было ¹⁾).

К сожалению, расформирование исследовательского аппарата Волховского Строительства, произведенное в связи с переходом на чисто эксплуатационные формы управления установкой, прекратило дальнейшие детальные наблюдения над режимом реки в новых искусственных условиях и, таким образом, крайне важный для бесперебойной работы станции вопрос о замерзаемости верхнего бьефа более точной проработке и освещению подвергнут не был; между тем, исследования зимой 1927—28 г.г. могли бы дать указания по донному льду при новом режиме Волхова.

Вследствие указанных обстоятельств, значительное количество донного льда, обнаруженное на р. Волхове в зиму 1928—29 г.г. и вызвавшее в середине декабря даже кратковременную остановку Волховской Гидростанции, явилось для эксплуатационного управления станцией несколько неожиданным; выяснение полной картины указанного явления и документальное установление всех обстоятельств, сопутствовавших ему представляется в настоящее время невозможным. Однако, произведенные после появления донного льда рекогносцировочные осмотры реки, периодические промеры шуги в верхнем бьефе, общее изучение метеорологической обстановки конца 1928 г. и начала 1929 г. и производство измерений температуры воды в пределах участка реки, примыкающего к станции, точными приборами,—позволяют и в настоящее время сделать некоторые заключения, не лишённые общего интереса.

Общее описание явления. Для выяснения общей картины возникновения и последовательного развития зажорных явлений у гидросиловой установки в 1928—1929 г.г. авторами настоящей статьи в разное время произведено несколько рекогносцировочных осмотров сопредельного со станцией участка реки Волхова, которые вместе с результатами наблюдений местных работников Волховской станции позволяют установить следующие основные фазы протекания означенного явления.

Осенний ледоход на всем протяжении верхнего бьефа реки в виде шуги, сала и донного льда был отмечен водомерными наблюдателями впервые в конце первой декады декабря месяца,

¹⁾ Там же, см. стр. 160.

в связи с наступлением прочного захолаживания. Начало заметного обмерзания предохранительных решеток станции и забития их донным льдом произошло в ночь на 13 декабря и продолжалось до покрытия реки поверхностным льдом. 15 декабря Волхов выше плотины начал постепенно затягиваться тонкой пленкой ледяного покрова. Осмотр реки, произведенный 16 декабря, показал, что от плотины (186 вер. = 197,5 клм. от истока) до с. Вельсы (177 вер. = 189,4 клм.) на реке образовался почти сплошной ледостав, прерываемый небольшим количеством незначительных майн. Вверх от с. Вельсы до д. Уляшево (174 вер. = 186,2 клм.) река на протяжении около 3 вер. оставалась открытой, имея лишь неширокие забереги, между которыми продолжался ледоход. Выше д. Уляшево вновь имел место сплошной ледостав, по которому местами уже делались небезуспешные попытки пешей переправы.

Более внимательный осмотр незамерзшего участка реки в пределах от с. Вельсы до д. Уляшево с берега и с лодки показал, что происходящий ледоход состоит: 1) из обломков поверхностного льда, выкрошившихся от кромки заберегов; 2) тончайших ледяных пластинок поверхностного льда, спаянных между собою в ажурную сетку с промежутками чистой воды, производивших впечатление пятен на реке; 3) небольшого количества мягких комков снеговых осадков и 4) наконец, значительной массы донного льда, всплывавшего со дна и имевшего вначале вид намокших желтоватых комков, надводные части которых постепенно твердели на морозе, приобретая белый цвет, как бы от только что выпавшего перед тем снега. Нижние подводные части этих комков продолжали оставаться мягкими и в них видны были песчинки и другие части грунта, свидетельствовавшие об их донном происхождении. При более близком рассмотрении эти комки представляли собой беспорядочные нагромождения ледяных пластинок, сцепленных между собой без всякой симметрии. Всплывание отдельных пачек донного льда наблюдалось на всем протяжении незамерзшего участка, а до появления ледяного покрова он, по указанию водомерных наблюдателей, в значительно большем количестве выделялся таким же образом по всей реке. При взятии проб воды нигде в толще воды кристаллов донного льда обнаружить на глаз не удалось.

Вторичный осмотр реки был произведен 4 января 1929 г. Участок от Уляшево до с. Вельсы продолжал оставаться неза-

мерзшим, несмотря на значительные морозы в это время. Ниже с. Вельсы сплывавшие массы донного льда, набившись под ледяной покров, образовали зажор, под влиянием которого значительно увеличились скорости течения реки, промывшей в ледяном покрове длинную языкообразную майну, спускавшуюся своим низовым концом на километр ниже мызы Моллера (178 вер. = 190,5 клм. от истока).

Произведенные 3 января промеры показали полную забитость шугой береговых участков в пределах указанной языкообразной майны, за майной же начинался сплошной зажор, в котором вода пробила себе ряд извилистых ходов. В пределах языкообразной майны вода двигалась со значительной скоростью, превышавшей 1,5 м./сек., и река имела вид стремительного потока.

Повторные промеры, произведенные в промежуток времени между 12—16 и 28 января, обнаружили продвижение зажора вниз по реке, причем скорость перемещения его по данным промеров определилась в среднем около 100 мтр. в сутки. Голова зажора имела при этом в определенные моменты времени следующие положения: 6 января на 191 клм., 16 января—на 192,25 клм., на 28/1 на 193,00 клм., на 16/II на 193,84 клм. и, наконец, к 2/III она продвинулась до 194,34 клм.

Последующие осмотры реки, произведенные в первой половине января и середине февраля, указали, что в нижней границе майны, несмотря на значительные морозы, до начала марта не произошло заметных изменений и только после оттепели она стала постепенно затягиваться поверхностным льдом, нараставшим от с. Вельсы вверх по течению, причем к 17 марта нижняя кромка ледяного покрова продвинулась до 175 версты (187,3 клм.).

Это нарастание ледяного покрова вверх по течению является крайне характерным при замерзании реки и наблюдалось в текущую зиму еще в районе Гостинополья, где местные жители путем последовательного искусственного примораживания ледяных полей, откалываемых от заберегов и устанавливаемых поперек реки под некоторым острым углом к течению, образовали непрерывный ледяной пояс для сообщения с противоположным берегом. Замерзание реки вверх от этого пояса до соединения со сплошным ледяным покровом у д. Ульяшево, на протяжении свыше 1 километра, произошло в течение нескольких дней, вниз же кромка льда за то же время продвинулась всего на несколько метров.

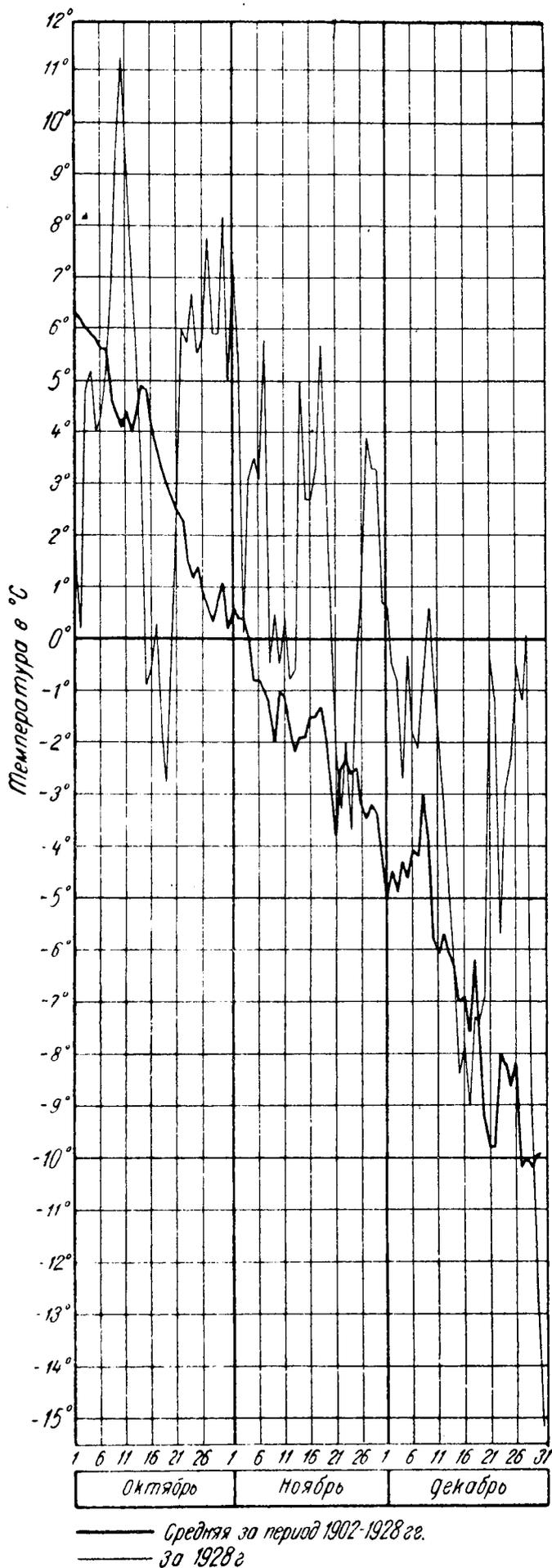
Незамерзавшая майна, создавая переохлаждение воды, являлась причиной дальнейшего образования донного льда, который частично отлагался в хвосте зажора, частично же выносился быстрым течением в низовой конец его, оседая в местах с тихим течением. Благодаря этому выносу шуги, наблюдалось дальнейшее продвижение головы зажора вниз по течению, происходившее, однако, по мере увеличения глубины бьефа с постепенным уменьшением суточной скорости. Производившимися наблюдениями установлены следующие суточные скорости: на 16/1—120 мтр., на 28/1—60 мтр., на 16/II—45 мтр. и на 2/III—38 мтр.

Для характеристики режима реки за рассматриваемый период небезинтересно отметить, что до ледостава расход воды в реке был равен 1100 м.³/сек., чему отвечает наибольшая средняя скорость течения на участке незамерзавшей майны в 0,69 м./сек. При естественных условиях, до сооружения плотины, средняя скорость в указанном месте при том же расходе была бы около 1,00 м./сек. После ледостава расход упал до 550 м.³/сек. и средняя скорость соответственно до 0,34 м./сек. В аналогичных условиях средняя скорость течения в естественном состоянии реки была бы 0,55 м./сек. В первой половине марта, когда майна стала затягиваться от Вельс вверх по течению, расход реки упал до 430 м./сек., чему соответствует средняя скорость около 0,27 м./сек.

Температурные условия конца 1928 и начала 1929 года.

Переходя от описания этой фактической стороны явления к разбору причин его вызвавших, необходимо прежде всего отметить некоторые особенности температурных условий конца 1928 и начала 1929 года, резко отклоняющихся от нормы.

В виду отсутствия в районе сооружения метеорологического пункта длительного действия, дальнейшие выводы сделаны по данным ближайшей станции II разряда, расположенной в с. Свирица, в устье р. Свири. Хотя температурный режим этой станции в известной мере отражает влияние такого значительного водоема, каким является Ладожское озеро, и, следовательно, несколько отличается от температурных условий Волховского бассейна, однако, отличие это незначительно и сказывается, главным образом, на абсолютной цифровой характеристике отдельных периодов, совершенно не отражаясь на правильности относительной оценки отдель-



Чертеж 18.

ных годов и месяцев при сопоставлении их между собой и соответственными средними значениями за многолетний период.

В нижепомещенных таблицах №№ 39 и 40 приведена сводка средних суточных и месячных температур воздуха за октябрь, ноябрь и декабрь месяцы с 1902 по 1928 г. включительно, по наблюдениям означенной метеорологической станции в Свирице. Из этих таблиц усматривается, что средняя многолетняя температура воздуха в октябре равна $+3,5^{\circ}$ при крайних значениях $+8,7^{\circ}$ (в 1909 г.) и $-0,5^{\circ}$ (в 1912 г.). В ноябре температура составляет $-1,9^{\circ}$ при экстремных значениях $+1,9^{\circ}$ (в 1913 и 1923 г.) и $-6,9^{\circ}$ (в 1919 г.). В декабре средняя многолетняя равна $-7,0^{\circ}$ при крайних значениях $-2,2^{\circ}$ (в 1914 г.) и $-17,0^{\circ}$ (в 1907 г.). Сравнение этих данных с соответственными средними месячными температурами 1928 г. указывает на определенную аномалию осени и первой половины зимы указанного года, выразившуюся в значительном смещении температур в сторону потепления. Аналогичных по температурному режиму годов за приведенный двадцатисемилетний период (с 1902 по 1928 год) можно отметить еще только три: 1913, 1923 и 1924 г.

Обращаясь к прилагаемому графику нормального хода средних суточных температур за 1902—1928 г. (см. черт. № 18), видим, что он представляет собою линию в общем почти равномерного уклона, понижающуюся от $+6,0^{\circ}$ в начале октября до $-10,0^{\circ}$ в конце декабря со средней интенсивностью падения около $0,2^{\circ}$ в сутки. Средняя температура октября определяется по этой кривой в $+3,5^{\circ}$, ноября $-1,9^{\circ}$ и декабря $-7,0^{\circ}$. Устойчивый переход через нуль падает на 4-е ноября.

В соответствии с этими температурными условиями, первое сало на р. Волхове обычно появляется в конце первой декады ноября, а окончательное замерзание—в конце означенного месяца. При этом, как показали исследования 1922—26 г.г., для полного замерзания р. Волхова обычно необходимо, чтобы с момента появления первого сала сумма средних суточных температур была или равна или несколько меньше среднего секундного расхода воды в саж.³/сек., так как большему расходу соответствует больший запас тепла в воде и, следовательно, для образования льда требуется более длительное охлаждение ее.

Обращаясь от этих средних данных к графику хода средней суточной температуры за 1928 г., изображенного на том же черт-

Т а б л и ц а № 39.

№№ по пор.	Г О Д.	Средняя месячная температура воздуха в градусах Ц.			Сумма средних месячных температур воздуха за октябрь- декабрь в граду- сах Ц.
		Октябрь.	Ноябрь.	Декабрь.	
1	1902	0,7	— 5,1	— 11,0	— 15,4
2	1903	0,5	— 0,1	— 4,5	— 4,1
3	1904	5,7	— 3,3	— 8,1	— 5,7
4	1905	3,2	— 0,7	— 3,9	— 1,4
5	1906	3,4	— 1,6	— 6,2	— 4,4
6	1907	6,3	— 3,3	— 17,0	— 14,0
7	1908	3,4	— 4,5	— 5,6	— 6,7
8	1909	8,7	—	—	—
9	1910	—	—	—	—
10	1911	—	—	—	—
11	1912	— 0,5	— 1,2	— 3,2	— 4,9
12	1913	3,9	1,9	— 4,9	+ 0,9
13	1914	2,3	— 2,7	— 2,2	— 2,6
14	1915	2,1	— 4,1	— 15,7	— 17,7
15	1916	1,3	0,5	— 5,3	— 3,5
16	1917	6,2	— 0,6	— 7,4	— 1,8
17	1918	7,1	— 1,1	— 6,7	— 0,7
18	1919	4,5	— 6,9	— 9,0	— 11,4
19	1920	1,5	— 0,4	— 4,8	— 3,7
20	1921	1,9	— 6,3	— 7,8	— 12,2
21	1922	2,7	— 1,0	— 6,8	— 5,1
22	1923	5,7	1,9	— 4,7	+ 2,9
23	1924	5,8	0,2	— 3,3	+ 2,7
24	1925	2,2	— 3,6	— 8,4	— 9,8
25	1926	—	—	—	—
26	1927	2,0	— 3,9	— 9,7	— 11,6
27	1928	4,5	1,7	— 3,9	+ 2,3
	Среднее	3,5	— 1,9	— 7,0	— 5,5
	Максим.	8,7	1,9	— 2,2	+ 2,9
	Год	1909	1913, 1923	1914	1923
	Миним.	— 0,5	— 6,9	— 17,0	— 17,7
	Год	1912	1919	1907	1915

Т а б л и ц а № 40.

Число	Средняя суточная температура воздуха в градусах Цельсия.					
	Октябрь		Ноябрь		Декабрь	
	Средняя за 1902—1928 г.	За 1928 г.	Средняя за 1902—1928 г.	За 1928 г.	Средняя за 1902—1928 г.	За 1928 г.
1	6,3	1,8	0,6	7,3	— 5,0	0,6
2	6,2	0,2	0,4	5,4	— 4,5	— 0,5
3	6,0	4,8	0,4	0,1	— 4,9	— 0,8
4	5,9	5,2	0,0	3,1	— 4,3	— 2,7
5	5,8	4,0	— 0,8	3,5	— 4,6	— 0,3
6	5,6	4,3	— 0,8	3,1	— 4,1	— 1,8
7	5,6	5,3	— 1,0	5,8	— 4,2	— 2,1
8	4,6	6,9	— 1,3	— 0,5	— 3,0	— 1,0
9	4,3	9,4	— 2,0	0,5	— 3,8	0,6
10	4,1	11,3	— 1,0	— 0,5	— 5,8	— 0,6
11	4,4	9,9	— 1,1	0,4	— 6,1	— 1,7
12	4,0	7,4	— 1,7	— 0,8	— 5,7	— 3,1
13	4,4	5,8	— 2,2	— 0,6	— 6,1	— 4,9
14	4,9	3,3	— 1,9	5,0	— 6,4	— 6,7
15	4,8	— 0,9	— 1,9	2,7	— 7,0	— 8,4
16	4,1	— 0,5	— 1,5	2,7	— 6,9	— 7,8
17	3,7	0,3	— 1,5	3,4	— 7,6	— 9,0
18	3,3	— 1,7	— 1,3	5,7	— 6,2	— 7,3
19	2,9	— 2,8	— 1,8	3,3	— 7,6	— 7,4
20	2,7	— 0,7	— 2,9	0,6	— 9,2	— 6,9
21	2,5	2,3	— 3,8	— 2,2	— 9,8	— 0,4
22	2,3	6,0	— 2,5	— 3,3	— 9,8	— 1,4
23	1,5	5,7	— 2,3	— 2,0	— 8,0	— 5,7
24	1,2	6,7	— 2,6	— 3,7	— 8,2	— 2,9
25	1,4	5,5	— 2,5	— 0,3	— 8,6	— 2,2
26	0,8	5,8	— 3,2	1,0	— 8,2	— 0,5
27	0,5	7,8	— 3,5	3,9	— 10,2	— 1,2
28	0,3	5,9	— 3,2	3,3	— 10,0	0,1
29	0,8	5,9	— 3,4	3,3	— 10,2	— 8,8
30	1,1	8,2	— 4,1	0,7	— 10,0	— 12,7
31	0,2	5,0	—	—	— 9,9	— 15,2
Средняя .	3,5	4,5	— 1,9	1,7	— 7,0	— 3,9

теже, необходимо отметить значительное отклонение его от нормальной кривой. Первое захлаживание осенью 1928 года наблюдалось в период от 15 до 20 октября, в течение которого средняя суточная температура колебалась от $+0,3^{\circ}$ до $-2,8^{\circ}$, причем сумма холода за этот период составляла всего $-6,3^{\circ}$, что при расходе около 100 саж.³/сек. являлось явно недостаточным для образования ледяного покрова.

Вторая незначительная волна холода наблюдалась в период с 8 до 13 ноября, с падением средней суточной температуры до $-0,8^{\circ}$ и общей суммой холода всего в $-1,5^{\circ}$.

Третий холодный период отмечен в промежуток времени от 21 по 25 ноября со средней суточной температурой в пределах от $-0,3^{\circ}$ до $-3,3^{\circ}$ и общей суммой холода в $-11,5^{\circ}$, т. е. тоже недостаточной для окончательного замерзания. Со 2 декабря установились уже достаточно прочные морозы, благодаря которым к 15 декабря на реке местами установился ледяной покров.

Описанная ненормальная температурная обстановка конца 1928 г. с длительным периодом перемежающихся захлаживаний, недостаточных для формирования сплошного ледяного покрова, явилась причиной переохлаждения воды и вызвала образование донного льда, отлагавшегося как на решетках станции, так и по всей реке в подходящих для сего местах.

Таким образом, в отличие от естественных условий, когда фабрикация донного льда в течение всей зимы была сосредоточена на участке незамерзающих Петропавловских порогов, в конце 1928 г., благодаря особенностям температурного режима, вся река переохладилась и явилась источником образования донного льда.

Переохлаждение воды в майне. С 15 декабря после установления на большей части реки ледостава, переохлаждение воды продолжало происходить главным образом в местах соприкосновения открытой водной поверхности с наружным холодным воздухом. При течении не турбулентном, вследствие физических свойств воды, охлажденные поверхностные частицы, благодаря их меньшей плотности, остаются наверху и тем самым ускоряют появление ледостава. При турбулентном же движении происходит энергичное перемешивание воды и, таким образом, происходит охлаждение всей движущейся массы воды, что затрудняет, а иногда и препятствует ледоставу. Выделение кристаллов льда из переохлажденной

воды происходит при изменениях условий течения и наблюдается на выступах дна (неровности скальных участков, камни и т. п.), на погруженных в воду предметах (штанги, тросы, решетки и т. п.). При отсутствии подобных побудительных обстоятельств переохлажденная вода не выделяет кристаллов льда, сохраняя способность к этому в потенциальном состоянии. Так как образование кристаллов сопровождается выделением скрытой теплоты ледообразования, то в процессе выделения переохлажденной водой донного льда происходит подогрев воды. Такое положение было подтверждено лабораторными исследованиями проф. В. Я. Альтберга. Оно позволяет теоретически определить количество донного льда, которое может быть образовано переохлажденной до некоторой t° водой. Для этого определения может служить следующее уравнение:

$$\Delta \delta \cdot V = \delta' A \int_0^w \frac{3600 t}{80} v dw = \delta' A \int_0^w 45 v t dw^1)$$

где: V — объем выделенного в течение часа количества донного льда,

v — скорость течения в мтр./сек. в данном сечении реки,

t — температура переохлажденной воды,

w — площадь живого сечения реки в мтр.,

A — эмпирический поправочный коэффициент,

δ — удельный вес льда,

$\delta' = 1$ — удельный вес воды.

Δ — плотность залегания донного льда в зажоре.

Для выяснения степени переохлаждения воды на р. Волхове и проверки подогрева ее вследствие образования донного льда, с 13 по 16 января были произведены точными термометрами наблюдения температуры воды в разных пунктах реки.

Результаты этих наблюдений приведены в таблице № 41.

Данные наблюдений показывают, что подогрев переохлажденной воды имеет место с того момента, когда вода проходит участок ниже полыньи, покрытый поверхностным льдом. В пределах же полыньи, начиная от верхней границы ледостава и до ее конца, степень переохлаждения воды увеличивается. Так как образование донного льда происходит на всем протяжении полыньи, то очевидно термометром может быть измерена только температура уже несколько подогретой воды, и таким образом данные таблицы являются заведомо преуменьшенными.

1) Плотность воды принята равной 1.

Т а б л и ц а № 41.

№№ по порядку.	Наименование пунктов реки.	Км. от истока.	Расстояние между пункт. в мтр.	Температура воды в градусах Ц.	Разность температур в градусах Ц.	Примечание.
1	д. Ульяшево, в 30 мтр. выше кромки льда	184,5	2200	0,000		
2	с. Гостинополе, в проруби отстоящей от полыньи на 2,5 мтр.	186,7	2100	- 0,008	- 0,008	
3	д. Вельсы, в 30 мтр. от берега в полынье	188,8	1100	- 0,022	- 0,014	
4	д. Бор, на 300 мтр. ниже большой полыньи	189,9	1700	- 0,010	+ 0,010	
5	Новое Поле, в 2 км. ниже большой полыньи	191,6	5800	- 0,002	+ 0,008	
6	У ледозащитной стенки	197,4	—	+ 0,001	+ 0,003	
7	Перед решетками станции.	—	—	+ 0,001	- 0,000	
8	У нижнего конца мола	198,0	—	- 0,005	—	
9	Ниже плотины на левом берегу	197,4	—	- 0,004	—	

Значение зажора для работы Волховской станции. Выше уже было отмечено, что после ледостава на участке р. Волхова от Вельс до гидростанции закупорка решеток донным льдом прекратилась, но почти что одновременно завязался зажор в районе д. Вельс. Это положение является весьма характерным и наводит на некоторые мысли о возможных мероприятиях для предупреждения закупорки решеток Волховской станции донным льдом. Действительно, при

подробном осмотре решеток станции, забитых донным льдом, представилось возможным установить, что он является льдом местного образования, т. е., что переохлажденная вода, достигнув решеток, выделяла на них (см. выше) кристаллы донного льда. Таким образом основной причиной закупорки решеток являлось переохлаждение воды, а следовательно, единственной радикальной мерой борьбы может быть признан только такой способ, который это переохлажденное состояние воды уничтожает. Электрический способ подогрева (обогрев решеток), на основании теоретических подсчетов, требует следующего количества энергии в час:

$$N = \frac{Q \times t \times 3600 \times 1000 \times k}{860 \times \varphi} = 4200 \frac{Q t \cdot k}{\varphi} \text{ кв.-час.}$$

где. Q — расход в реке мтр.³/сек.,

t — температура переохлаждения воды,

φ — коэффициент полезного действия,

k — практический коэффициент, который должен быть меньше единицы.

В условиях р. Волхова для предупреждения обмерзания решеток пришлось бы затрачивать ежечасно 58000 кв. ч. (при $\varphi = 0,8$ и $k = 1,0$), т. е. станция работала бы только на подогрев решеток, что для Ленинграда равносильно ее остановке.

Приведенный подсчет показывает, что электрический подогрев для предупреждения обмерзания решеток (подогрев воды до 0°) является мерой весьма сомнительной ¹⁾. При этих условиях возникает мысль использовать способ, указываемый самой природой, а именно естественный подогрев воды при выделении переохлажденной водой донного льда. Для этой цели в русле р. Волхова в районе д. Вельс могут быть установлены сооружения легкой конструкции, которые бы способствовали энергичному выделению на них донного льда и тем самым в достаточной мере способствовали бы подогреву переохлажденной воды. В качестве примера может быть указано на приспособление, посредством которого во время сооружения Волховской станции выращивались со дна реки крупные образования донного льда — «пятры». Подробное описание этих работ приведено

¹⁾ Однако вероятно возможно ограничиться лишь такой интенсивностью подогрева, при котором не весь объем проходящей воды подогревается до 0° и выше, а лишь температура решеток поддерживается положительная, считая что при этом заледенение решеток не произойдет. Расход тока тогда будет много меньше.

в Волховском Бюллетене № 5. Так как предлагаемые приспособления, вызывая тепловые процессы, сами в них не участвуют, то по аналогии с химией, они могут быть названы катализаторами. Вот роль этих катализаторов и исполняет в природе на р. Волхове зажор.

Рост зажора по времени. Если бы образование и последующий рост зажора зависели исключительно от количества выделенного донного льда, то измерения температуры воды позволили бы до некоторой степени предугадать скорость нарастания зажора. Так как, однако, рост зажора обуславливается также и продуктами поверхностного льда образующимися в полынье, то, очевидно, продвижение зажора должно идти более быстрым темпом.

Количественная сторона роста зажора показана в нижеследующей таблице.

Т а б л и ц а № 42

Периоды наблюдений.	Средний расход воды за период в куб. мтр/сек.	Объем льда в зажоре в тыс. куб. мтр.	Колич. льда, выделяемое 1 куб. мтр. воды в сек.	Примечание.
16/хп—28—16/г—29 г. .	550	4.280	0,0029	
16/г—16/п--29 г.	480	2.675	0,0021	
16/п—2/пп—29 г.	230	1.290	0,0025	
	—	8.245	0,0025 (среднее).	

Как усматривается из этих данных количество донного льда, выделяемое каждым куб. мтр. переохлажденной воды, является величиной достаточно устойчивой, и на основании этой величины можно предсказывать (при определенных метеорологических условиях) движение зажора.

Произведенные подсчеты показали, что зажор, при сохранении той же интенсивности выделения льда, мог бы подойти к плотине лишь через 80 дней. Совершенно очевидно, что при таких условиях в марте какой либо опасности надвижения зажора на плотину не существовало.

Необходимо отметить, что при выделении каждым куб. метром воды 0,0025 куб. мтр. льда освобождается около 90 б. калорий (при $\Delta = 0,5^1$) и $\delta = 0,9$), т. е. значительно больше, чем требуется для подогрева воды с $-0,022^\circ$ до 0° . Этот расчет показывает что в зажоре, кроме донного льда, имеется также лед поверхностного образования, что также подтвердилось и результатами непосредственных наблюдений.

Заключение. На основании изложенного представляется возможным установить, что при наличии соответственных метеорологических факторов, несмотря на подпор от Волховской гидроустановки, вода в р. Волхове может приходиться в переохлажденное состояние и тем самым создать затруднения в эксплуатации станции. Участок реки от с. Гостинополя до Вельс трудно замерзаем и продолжает таким образом являться основной причиной образования донного льда на р. Волхове. Так как турбулентность движения потока вызывается конфигурацией русла, главным образом, очертанием берегов, а может быть и наличием в этом месте Вындина острова, то вполне возможно, что путем соответственных выправительных работ можно достигнуть изменения характера движения воды, а следовательно, достигнуть и нормальной замерзаемости. Эта мысль должна быть проверена путем подробных исследований в натуре и постановки соответственных лабораторных опытов.

Также лабораторно надлежит проверить и выработать наиболее подходящий тип сооружений, посредством которых возможно было бы, при переохлаждении воды, вызывать энергичное выделение донного льда и этим достигнуть подогрева воды до 0° , и, таким образом, предупредить возможность остановки Волховской станции из-за закупорки решеток. Какие либо другие меры борьбы на Волховской гидростанции с последствиями донного льда, как, напр., усиление механического оборудования для очистки решеток, электрический подогрев решеток и т. п.,—являются по мнению авторов паллиативными и не всегда приведут к положительным результатам.

1) Плотность залегания донного льда в зажоре.

Таблица суммарного стока по годовым периодам в створе Гостинополья за время с 1881 по 1920 г.
(В миллионах куб. саж.).

ГОДЫ.		1881—82	1882—83	1883—84	1884—85	1885—86	1886—87	1887—88	1888—89	1889—90	1890—91	1891—92	1892—93	1893—94	1894—95	1895—96	1896—97	1897—98	1898—99	1899—1900
ДАТЫ.	Чис- ло.																			
	Месяц.																			
Март.	10	—	30,3	—	—	—	—	—	—	—	[10,8]	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	20	—	108,1	—	—	—	—	—	—	—	57,1	—	—	—	[15,1]	—	—	—	—	—
	31	—	227,8	—	—	[15,0]	[8,6]	[18,7]	[15,6]	37,8	137,8	—	—	[16,6]	118,4	—	36,4	[53,8]	39,9	[67,4]
Апрель.	10	33,2	333,2	13,7	64,4	75,9	191,9	77,0	257,4	129,5	217,6	64,8	25,5	73,2	266,6	43,6	109,4	211,1	106,8	255,8
	20	169,7	429,5	102,7	171,6	192,1	298,2	172,9	396,5	282,4	305,2	166,8	145,2	172,2	404,0	184,9	218,7	367,5	227,7	452,4
	30	389,9	516,8	213,3	293,4	310,0	394,1	270,6	524,3	425,4	377,8	269,2	273,9	304,0	527,1	324,9	328,4	510,9	345,7	642,0
Май.	10	494,4	610,6	317,3	422,1	423,2	492,1	356,6	634,5	548,1	439,9	365,5	390,1	442,7	672,0	451,9	445,0	637,0	455,0	813,5
	20	627,9	699,2	411,4	551,7	522,6	589,7	431,8	730,5	659,1	496,2	452,8	497,6	569,7	751,3	560,3	553,4	744,6	556,5	961,6
	31	756,5	784,5	501,8	690,5	621,4	683,8	516,8	825,4	755,6	548,2	525,2	606,6	687,6	865,6	661,6	656,0	849,4	652,8	1.103,0
Июнь.	10	858,9	850,2	571,8	805,4	700,8	756,4	578,2	897,6	830,8	589,4	582,6	698,2	777,9	958,5	740,7	733,8	927,2	725,4	1.225,7
	20	951,8	908,5	633,2	910,4	769,5	821,6	639,1	962,9	894,0	628,6	631,0	776,4	855,7	1.045,8	812,4	802,1	983,4	793,3	1.345,4
	30	1.032,9	957,3	685,5	1.006,8	826,1	876,9	692,7	1.026,4	950,9	661,3	675,5	850,7	923,1	1.121,0	881,1	863,0	1.031,4	859,0	1.452,1
Июль.	10	1.104,2	1.000,5	734,8	1.094,7	874,1	923,6	737,2	1.078,6	997,2	687,8	713,1	927,6	989,7	1.188,0	946,8	916,1	1.072,5	926,9	1.546,7
	20	1.163,9	1.036,7	776,7	1.169,5	913,4	963,7	774,8	1.125,3	1.037,0	714,1	746,0	993,3	1.050,1	1.273,6	1.007,7	961,4	1.107,4	985,6	1.627,4
	31	1.218,6	1.069,0	820,3	1.233,6	949,0	1.002,0	808,5	1.172,6	1.073,3	734,2	778,2	1.067,0	1.105,9	1.354,6	1.063,9	1.001,9	1.138,7	1.038,1	1.694,1
Август.	10	1.264,4	1.094,1	859,2	1.288,0	977,1	1.042,2	837,5	1.211,9	1.109,6	750,5	803,3	1.129,7	1.149,1	1.419,4	1.106,3	1.040,7	1.161,6	1.076,5	1.745,1
	20	1.306,6	1.117,0	906,3	1.331,2	1.001,3	1.077,2	866,9	1.244,3	1.142,2	767,1	827,1	1.183,7	1.188,4	1.477,7	1.147,3	1.095,2	1.181,0	1.109,3	1.785,3
	31	1.350,3	1.139,3	962,1	1.374,8	1.024,7	1.111,5	896,2	1.277,6	1.171,2	781,4	851,8	1.240,6	1.237,4	1.556,1	1.186,5	1.145,3	1.200,3	1.139,3	1.829,1
Сентябрь.	10	1.383,4	1.155,7	1.006,6	1.409,3	1.046,3	1.138,3	920,8	1.302,2	1.195,2	757,7	875,2	1.287,7	1.288,9	1.630,4	1.220,2	1.188,0	1.213,7	1.167,0	1.866,7
	20	1.412,4	1.169,5	1.047,2	1.441,7	1.069,2	1.163,4	955,4	1.328,1	1.223,8	817,7	900,7	1.327,8	1.345,9	1.706,0	1.253,5	1.230,7	1.226,2	1.194,3	1.902,1
	30	1.441,0	1.182,9	1.095,6	1.470,3	1.104,6	1.185,0	999,0	1.352,3	1.251,5	839,7	927,1	1.364,0	1.403,7	1.777,3	1.288,0	1.273,1	1.240,9	1.222,4	1.938,0
Октябрь.	10	1.465,5	1.192,8	1.144,9	1.492,8	1.139,5	1.204,9	1.056,5	1.374,7	1.274,3	867,0	950,8	1.399,4	1.456,0	1.840,8	1.316,6	1.312,4	1.256,9	1.250,9	1.973,8
	20	1.479,6	1.197,6	1.206,6	1.520,1	1.184,0	1.223,5	1.123,7	1.397,1	1.293,1	903,4	970,7	1.436,1	1.511,7	1.906,5	1.357,6	1.347,3	1.272,0	1.295,4	2.014,0
	31	1.491,3	1.200,6	1.273,5	1.541,4	1.254,2	1.245,3	1.213,5	1.422,7	1.321,4	942,6	988,7	1.469,7	1.567,1	1.978,2	1.405,2	1.378,5	1.286,0	1.358,3	2.054,2
Ноябрь.	10	1.502,9	1.204,3	1.328,4	1.556,1	1.298,7	1.266,1	1.278,7	1.447,8	1.346,5	975,9	1.002,5	.496,5	1.612,4	2.041,6	1.445,8	1.403,1	1.294,2	1.416,6	2.086,2
	20	1.518,4	1.208,6	1.373,8	1.568,7	1.335,0	1.285,9	1.335,2	1.478,0	1.366,4	1.003,9	1.013,7	1.518,5	1.653,9	2.103,4	1.481,7	1.427,3	1.302,0	1.474,0	2.116,9
	30	1.536,6	1.213,8	1.414,0	1.578,7	1.368,6	1.305,7	1.387,5	1.516,0	1.383,0	1.028,4	1.025,3	1.543,1	1.693,7	2.165,2	1.512,8	1.450,6	1.311,5	1.531,0	2.151,5
Декабрь.	10	1.555,8	1.218,1	1.453,3	1.589,1	1.394,7	1.328,2	1.438,9	1.557,9	1.397,4	1.051,6	1.039,9	1.569,5	1.733,0	2.226,5	1.541,8	1.471,8	1.321,9	1.588,4	2.187,1
	20	1.573,9	1.222,6	1.492,1	1.599,5	1.427,8	1.354,5	1.490,3	1.597,6	1.410,7	1.070,8	1.055,5	1.592,8	1.770,2	2.282,2	1.567,7	1.492,1	1.332,3	1.648,0	2.219,9
	31	1.594,7	1.227,7	1.534,8	1.611,0	1.457,7	1.384,4	1.537,8	1.636,9	1.425,2	1.094,8	1.073,1	1.616,1	1.810,0	2.338,7	1.592,8	1.513,0	1.343,7	1.718,3	2.253,6
Январь.	10	1.614,1	1.232,3	1.571,9	1.621,4	1.483,2	1.409,9	1.581,0	1.669,3	1.485,9	1.113,2	1.087,8	1.635,5	1.844,1	2.385,4	1.613,6	1.530,7	1.357,5	1.780,9	2.283,0
	20	1.631,4	1.236,7	1.606,9	1.631,8	1.507,4	1.432,4	1.620,3	1.699,1	1.446,7	1.132,2	1.101,6	1.653,7	1.876,9	2.427,7	1.632,6	1.547,9	1.373,1	1.849,2	2.311,1
	31	1.650,8	1.242,1	1.643,6	1.643,7	1.533,1	1.455,7	1.660,1	1.729,5	1.460,7	1.152,1	1.117,2	1.672,6	1.911,2	2.468,8	1.652,6	1.564,5	1.390,6	1.924,2	2.338,9
Февраль.	10	1.667,2	1.246,5	1.675,6	1.653,7	1.554,7	1.474,7	1.693,4	1.755,0	1.472,0	1.168,6	1.129,7	1.689,0	1.941,0	2.502,9	1.669,0	1.580,6	1.407,4	1.989,9	2.362,7
	20	1.687,1	1.251,3	1.705,8	1.664,1	1.574,5	1.493,7	1.724,1	1.778,0	1.482,2	1.185,4	1.141,8	1.704,6	1.970,4	2.535,3	1.684,6	1.596,2	1.423,8	2.051,6	2.386,5
	28	1.709,6	1.254,7	1.728,9	1.672,7	1.589,0	1.508,9	1.756,5	1.796,6	1.490,4	1.198,4	1.151,4	1.715,9	1.992,5	2.558,8	1.701,2	1.608,7	1.435,3	2.098,2	2.406,7
Март.	10	—	1.259,5	1.756,1	1.683,9	1.606,7	1.526,6	1.782,0	1.817,4	[1.497,2]	1.215,0	1.163,4	1.730,6	2.020,1	2.585,6	1.715,8	1.625,5	1.450,0	2.152,6	2.429,1
	20	—	1.264,1	1.782,1	1.695,1	[1.615,3]	1.544,8	[1.796,5]	1.838,2	—	1.232,5	1.175,4	1.746,2	[2.033,9]	2.610,6	1.736,9	1.645,4	1.465,6	2.205,9	2.450,7
	31	—	1.270,7	1.813,3	[1.702,4]	—	[1.555,6]	—	—	—	1.259,2	1.188,6	[1.754,8]	—	2.638,1	—	[1.661,4]	—	[2.232,7]	[2.461,9]

Примечание. Заключенные в скобки цифры относятся лишь к предшествующей пятидневке.

Таблица суммарного стока по годовым периодам в створе Гостинополя за время с 1881 по 1920 г.
(В миллионах куб. саж.).

ГОДЫ.		1900—01	1901—02	1902—03	1903—04	1904—05	1905—06	1906—07	1907—08	1908—09	1909—10	1910—11	1911—12	1912—13	1913—14	1914—15	1915—16	1916—17	1917—18	1918—19	1919—20	1920—21	1921—22	1922—23	1923—24
ДАТЫ.	Число.																								
	Месяц.																								
Февраль.	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	38,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Март.	20	—	—	[15,6]	73,8	—	—	—	—	—	109,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	31	[17,6]	[29,5]	73,6	250,7	[30,1]	62,1	[31,2]	[23,8]	—	—	221,2	—	—	221,8	272,1	162,6	[14,5]	62,8	[23,0]	[41,5]	—	—	—	
Апрель.	10	138,6	169,1	148,7	436,5	118,2	179,6	158,2	103,6	39,3	65,2	343,9	47,1	334,5	415,4	322,3	117,3	207,5	151,7	181,4	102,9	—	—	—	
	20	325,2	326,4	279,1	604,5	212,0	353,2	289,1	214,2	113,2	122,3	459,1	238,1	463,6	649,6	477,0	285,8	361,0	319,3	320,5	235,5	—	—	—	
	30	501,0	479,3	426,4	755,3	299,5	521,2	406,7	329,9	206,6	311,9	568,4	426,9	582,3	666,5	618,7	452,9	500,5	478,2	446,7	356,0	—	—	—	
Май.	10	666,5	620,2	574,2	890,9	384,6	670,2	507,2	439,2	307,7	439,7	663,0	593,0	701,1	776,6	747,8	610,1	628,9	622,9	559,5	461,8	—	—	—	
	20	814,7	742,0	715,9	1.009,7	462,2	805,0	591,8	533,2	403,6	561,5	746,3	744,6	810,4	871,6	860,6	749,2	738,1	751,2	654,6	555,5	—	—	—	
	31	958,3	856,5	853,4	1.122,2	536,6	933,3	671,7	622,1	497,0	684,9	824,5	893,6	911,5	959,6	973,6	880,1	841,2	867,2	751,8	693,9	—	—	—	
Июнь.	10	1.066,8	944,0	963,6	1.210,8	598,8	1.037,4	732,6	692,6	572,4	773,5	884,9	1.009,8	991,7	1.024,3	1.059,0	985,1	926,4	956,7	829,4	712,2	—	—	—	
	20	1.153,2	1.020,1	1.064,7	1.286,4	654,9	1.123,7	783,2	753,0	642,5	848,3	940,6	1.094,8	1.069,0	1.083,4	1.133,3	1.073,2	1.000,2	1.030,6	907,2	776,2	—	—	—	
	30	1.228,8	1.090,6	1.161,5	1.356,0	705,0	1.196,1	825,1	803,0	717,1	915,3	986,2	1.168,6	1.130,8	1.136,0	1.192,5	1.149,6	1.066,4	1.098,4	979,0	834,9	—	—	—	
Июль.	10	1.293,2	1.151,5	1.254,9	1.423,0	749,0	1.261,3	859,5	845,7	780,4	974,9	1.025,9	1.234,7	1.181,7	1.183,5	1.243,1	1.215,3	1.124,9	1.168,9	1.041,2	886,3	—	—	—	
	20	1.347,2	1.202,5	1.345,2	1.480,0	789,1	1.319,0	885,8	885,4	833,8	1.031,0	1.058,6	1.290,7	1.227,9	1.223,2	1.286,3	1.271,5	1.174,1	1.248,8	1.096,9	930,8	—	—	—	
	31	1.396,3	1.248,3	1.452,7	1.542,0	831,6	1.376,3	912,9	926,7	880,1	1.089,9	1.092,9	1.345,0	1.260,5	1.259,8	1.326,1	1.322,1	1.219,9	1.336,1	1.149,5	974,3	—	—	—	
Август.	10	1.434,8	1.283,3	1.567,7	1.592,6	871,3	1.420,8	937,1	991,3	921,2	1.140,5	1.125,7	1.378,8	1.299,2	1.291,0	1.356,0	1.361,2	1.256,7	1.409,6	1.193,0	1.008,9	—	—	—	
	20	1.467,2	1.311,9	1.682,6	1.646,1	914,0	1.457,5	955,1	992,8	975,9	1.188,0	1.168,0	1.422,6	1.326,9	1.318,3	1.380,2	1.399,2	1.293,0	1.475,3	1.232,3	1.041,7	—	—	—	
	31	1.499,6	1.337,9	1.803,6	1.707,9	964,3	1.505,2	982,4	1.019,6	1.055,8	1.236,3	1.218,3	1.459,6	1.352,3	1.342,5	1.404,4	1.430,5	1.341,6	1.540,4	1.273,5	1.072,4	—	—	—	
Сентябрь.	10	1.525,6	1.359,1	1.906,8	1.757,2	1.007,0	1.547,5	1.002,9	1.041,6	1.163,4	1.273,5	1.259,8	1.489,9	1.377,4	1.361,5	1.423,8	1.456,5	1.386,3	1.603,1	1.323,7	1.097,9	—	—	—	
	20	1.549,8	1.376,4	1.998,3	1.804,7	1.047,2	1.593,1	1.023,5	1.061,0	1.274,7	1.306,7	1.296,9	1.520,6	1.406,8	1.379,2	1.441,8	1.479,4	1.427,9	1.668,8	1.376,0	1.125,5	—	—	—	
	30	1.578,7	1.393,6	2.085,1	1.864,3	1.085,2	1.659,5	1.042,5	1.082,2	1.396,6	1.338,1	1.340,5	1.549,0	1.431,0	1.397,7	1.461,6	1.501,4	1.473,7	1.737,4	1.426,6	1.153,1	—	—	—	
Октябрь.	10	1.610,6	1.410,0	2.165,0	1.917,9	1.123,2	1.742,0	1.060,9	1.101,2	1.514,1	1.371,0	1.385,4	1.580,6	1.453,9	1.418,9	1.479,2	1.522,6	1.539,5	1.818,6	1.471,5	1.169,5	—	—	—	
	20	1.639,6	1.423,8	2.241,4	1.978,3	1.165,1	1.813,3	1.078,6	1.116,6	1.619,9	1.401,3	1.427,3	1.624,1	1.472,4	1.440,1	1.494,9	1.541,1	1.619,9	1.899,8	1.514,7	1.178,7	—	—	—	
	31	1.661,1	1.433,7	2.321,6	2.040,8	1.203,9	1.881,5	1.098,1	1.127,4	1.715,2	1.427,2	1.463,8	1.681,9	1.490,6	1.465,2	1.504,1	1.556,0	1.712,7	1.983,6	1.559,8	1.185,9	—	—	—	
Ноябрь.	10	1.680,5	1.439,9	2.388,4	2.094,0	1.236,7	1.939,2	1.119,3	1.134,8	1.781,7	1.440,5	1.493,1	1.725,0	1.509,4	1.497,1	1.512,6	1.569,0	1.781,0	2.050,6	1.593,5	1.194,5	—	—	—	
	20	1.700,4	1.445,9	2.451,5	2.145,8	1.269,8	1.994,3	1.144,4	1.142,0	1.843,5	1.451,3	1.525,1	1.762,3	1.533,6	1.532,9	1.520,8	1.584,9	1.861,0	2.109,2	1.619,4	1.203,1	—	—	—	
	30	1.722,4	1.452,6	2.509,0	2.196,8	1.307,8	2.046,6	1.172,7	1.150,6	1.900,2	1.468,1	1.556,7	1.795,7	1.556,4	1.570,9	1.530,5	1.604,3	1.930,4	2.162,6	1.641,4	1.213,9	—	—	—	
Декабрь.	10	1.749,7	1.459,5	2.560,9	2.247,8	1.354,1	2.097,0	1.206,2	1.159,7	1.953,3	1.487,1	1.597,8	1.824,4	1.580,6	1.611,4	1.546,5	1.623,7	1.971,4	2.215,8	1.662,2	1.225,1	—	—	—	
	20	1.781,3	1.466,4	2.607,6	2.296,6	1.404,5	2.152,3	1.243,0	1.166,9	2.002,9	1.507,8	1.646,5	1.849,9	1.606,9	1.653,2	1.560,6	1.641,9	2.009,4	2.266,4	1.682,0	1.236,3	—	—	—	
	31	1.814,0	1.474,7	2.654,0	2.348,5	1.457,3	2.208,8	1.279,5	1.174,7	2.051,9	1.531,6	1.700,6	1.872,2	1.641,2	1.698,3	1.576,2	1.661,3	2.049,1	2.321,6	1.702,8	1.249,5	—	—	—	
Январь.	10	1.842,6	1.482,3	2.695,0	2.392,6	1.501,2	2.255,3	1.308,8	1.180,7	2.091,7	1.553,0	1.746,8	1.887,8	1.671,9	1.736,3	1.589,2	1.679,0	2.084,2	2.370,4	1.719,6	1.262,4	—	—	—	
	20	1.868,1	1.490,6	2.732,5	2.433,2	1.542,1	2.298,4	1.335,9	1.186,7	2.127,0	1.576,4	1.789,0	1.908,9	1.699,0	1.772,5	1.601,2	1.697,2	2.114,7	2.415,8	1.736,4	1.272,3	—	—	—	
	31	1.893,2	1.499,5	2.770,3	2.474,5	1.584,8	2.343,5	1.364,9	1.192,3	2.162,3	1.600,6	1.832,1	1.931,6	1.727,8	1.827,4	1.613,9	1.718,1	2.145,9	2.464,8	1.751,5	1.279,1	—	—	—	
Февраль.	10	1.915,6	1.508,4	2.802,7	2.509,0	1.618,8	2.381,0	1.390,0	1.168,3	2.191,8	1.622,0	1.867,9	1.949,2	1.751,6	1.898,7	1.625,9	1.736,7	2.172,7	2.509,6	1.763,5	1.284,9	—	—	—	
	20	1.937,2	1.517,3	2.838,9	2.540,1	1.650,6	2.415,4	1.412,9	1.204,3	2.218,8	1.645,8	1.902,5	[1.958,3]	1.772,6	1.976,5	1.638,4	1.754,9	2.196,2	2.554,5	1.775,0	1.294,4	—	—	—	
	28	1.953,8	1.524,4	2.875,9	2.565,4	1.676,0	2.451,4	1.430,6	1.209,6	2.238,5	1.668,0	1.930,7	—	1.789,6	2.037,8	1.647,6	1.770,4	2.215,2	2.588,0	1.784,6	1.304,1	—	—	—	
Март.	10	1.974,1	1.533,9	2.927,8	2.592,2	1.708,0	2.484,6	1.449,9	1.215,6	2.261,4	—	1.962,3	—	[1.801,1]	2.113,3	1.659,2	1.785,8	2.236,0	2.628,2	1.794,4	[1.312,1]	—	—	—	
	20	1.993,5	[1.540,4]	—	2.616,4	1.741,3	2.519,2	1.467,7	1.221,7	2.284,3	—	1.992,5	—	—	[2.151,7]	1.670,8	1.803,5	2.256,2	2.663,9	1.804,6	—	—	—	—	
	31	[2.004,3]	—	—	[2.628,5]	—	[2.536,9]	[1.479,8]	1.233,4	2.326,0	—	2.026,4	—	—	—	[1.676,3]	—	[2.267,5]	[2.686,1]	1.820,9	—	—	—	—	

Примечание. Цифры, заключенные в скобки, относятся лишь к предшествующей пятидневке.

Таблица суммарного притока в оз. Ильмень и в р. Волхов по годовым периодам за время с 1881 г. по 1920 г.
(В миллионах кубич. саж.).

ГОДЫ.		1881—82	1882—83	1883—84	1884—85	1885—86	1886—87	1887—88	1888—89	1889—90	1890—91	1891—92	1892—93	1893—94	1894—95	1895—96	1896—97	1897—98	1898—99	1899—900
ДАТЫ.	Чис- ло.																			
	Месяц.																			
Март.	10	—	192,3	—	—	—	—	—	—	—	[90,9]	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	20	—	468,8	—	—	—	[66,6]	—	[141,4]	—	282,6	—	—	—	[159,0]	—	—	—	—	—
	31	—	662,2	—	—	[100,9]	485,9	[122,3]	639,2	238,3	392,6	—	—	[147,4]	556,2	—	219,7	[436,2]	223,2	498,5
Апрель.	10	259,1	731,5	62,9	332,8	291,5	703,8	313,2	876,4	667,4	508,1	369,5	165,0	372,2	889,6	264,3	408,4	787,1	417,2	1.063,1
	20	738,0	799,5	439,4	557,2	559,0	763,5	509,6	980,2	889,6	604,2	538,0	631,7	554,6	1.019,0	788,1	563,1	993,5	622,8	1.331,1
	30	1.106,9	844,6	631,1	805,3	754,6	835,3	637,5	1.066,0	1.024,7	643,4	667,5	804,3	841,9	1.087,7	976,0	858,8	1.083,0	737,6	1.484,7
Май.	10	1.161,7	980,6	702,9	960,0	854,3	916,5	678,6	1.092,8	1.086,0	652,9	726,2	883,8	1.053,8	1.183,9	1.031,7	986,7	1.123,5	812,7	1.560,1
	20	1.200,0	1.027,0	766,1	1.117,1	886,4	975,4	675,9	1.135,3	1.103,7	689,3	757,2	955,9	1.138,0	1.050,7	1.043,3	1.036,4	1.152,6	893,2	1.592,6
	31	1.232,4	1.063,9	809,4	1.228,4	937,6	1.002,9	779,7	1.150,3	1.104,2	694,3	790,8	1.004,9	1.156,4	1.327,4	1.063,1	1.054,3	1.174,3	915,7	1.679,0
Июнь.	10	1.286,7	1.097,0	813,3	1.313,7	980,2	1.022,0	793,8	1.171,4	1.101,9	715,9	805,9	1.052,9	1.169,8	1.376,3	1.077,4	1.064,6	1.184,7	938,4	1.763,6
	20	1.312,5	1.076,5	831,2	1.338,1	992,8	1.037,2	820,0	1.196,5	1.125,0	736,3	804,8	1.066,9	1.177,7	1.409,6	1.111,4	1.073,2	1.193,9	983,9	1.872,1
	30	1.326,2	1.092,4	842,9	1.358,4	974,5	1.053,0	836,6	1.239,5	1.139,1	732,1	819,4	1.121,8	1.216,4	1.431,0	1.146,7	1.101,9	1.198,1	1.141,1	1.903,5
Июль.	10	1.332,6	1.100,1	854,9	1.376,8	981,8	1.052,2	857,3	1.247,6	1.141,1	745,8	784,8	1.179,7	1.263,5	1.442,8	1.193,6	1.111,6	1.207,6	1.184,4	1.929,1
	20	1.342,4	1.109,3	866,4	1.395,4	1.003,1	1.053,4	854,9	1.252,5	1.146,7	743,1	822,3	1.229,5	1.283,7	1.564,4	1.218,2	1.121,1	1.209,0	1.211,4	1.929,2
	31	1.349,4	1.116,5	898,5	1.402,6	1.010,6	1.091,7	877,4	1.280,3	1.153,4	755,2	839,8	1.292,8	1.286,8	1.614,8	1.244,8	1.119,9	1.209,5	1.209,5	1.933,0
Август.	10	1.378,3	1.124,7	941,2	1.423,1	1.019,4	1.131,8	895,5	1.303,6	1.189,7	760,8	856,0	1.342,7	1.295,2	1.660,9	1.246,0	1.138,3	1.209,1	1.211,6	1.930,8
	20	1.410,2	1.133,4	996,0	1.440,9	1.027,1	1.153,5	937,7	1.320,6	1.209,3	774,4	869,4	1.362,2	1.314,9	1.695,8	1.261,1	1.221,7	1.218,2	1.215,0	1.942,7
	31	1.444,0	1.148,1	1.071,8	1.464,5	1.039,5	1.173,1	938,5	1.335,6	1.206,8	800,9	897,5	1.402,6	1.363,9	1.821,7	1.276,2	1.244,9	1.216,6	1.223,2	1.955,6
Сентябрь.	10	1.441,4	1.148,4	1.092,5	1.476,4	1.061,1	1.177,2	966,5	1.354,9	1.247,9	817,2	810,8	1.425,0	1.473,3	1.896,0	1.294,7	1.308,1	1.224,0	1.229,6	1.986,8
	20	1.456,4	1.157,9	1.125,4	1.494,4	1.093,4	1.195,7	1.061,1	1.373,9	1.278,3	853,3	949,9	1.437,5	1.524,4	1.982,6	1.331,7	1.338,4	1.236,5	1.241,8	2.005,7
	30	1.493,7	1.162,6	1.193,2	1.509,2	1.175,4	1.207,6	1.142,9	1.396,3	1.295,5	880,3	981,6	1.461,6	1.589,4	2.048,4	1.360,6	1.393,2	1.255,7	1.304,4	2.087,6
Октябрь.	10	1.497,8	1.184,1	1.248,5	1.515,4	1.201,1	1.221,3	1.242,2	1.407,0	1.306,6	911,0	986,4	1.495,0	1.634,5	2.092,9	1.369,3	1.408,0	1.267,2	1.296,6	2.050,2
	20	1.505,4	1.183,1	1.359,5	1.550,7	1.321,3	1.247,7	1.367,6	1.466,0	1.320,5	970,5	1.001,3	1.549,9	1.697,4	2.142,7	1.441,5	1.448,9	1.282,3	1.452,8	2.149,1
	31	1.526,9	1.178,8	1.437,9	1.557,8	1.442,4	1.267,9	1.484,6	1.502,8	1.374,1	1.052,3	1.024,3	1.600,5	1.775,1	2.254,8	1.529,5	1.470,2	1.286,0	1.566,3	2.225,6
Ноябрь.	10	1.550,4	1.184,0	1.528,9	1.561,9	1.408,4	1.279,4	1.525,5	1.559,6	1.399,2	1.085,6	1.031,5	1.576,6	1.807,9	2.346,3	1.594,2	1.494,8	1.294,2	1.637,3	2.274,4
	20	1.589,2	1.188,3	1.559,5	1.577,5	1.483,4	1.299,2	1.579,4	1.633,7	1.429,8	1.119,8	1.031,6	1.632,3	1.867,0	2.382,8	1.621,2	1.524,9	1.315,8	1.679,5	2.249,8
	30	1.620,5	1.194,9	1.609,5	1.599,7	1.517,0	1.338,0	1.658,6	1.714,0	1.444,6	1.130,0	1.051,1	1.661,1	1.917,0	2.469,9	1.663,4	1.534,5	1.337,3	1.810,4	2.309,0
Декабрь.	10	1.643,6	1.200,7	1.666,4	1.610,1	1.550,3	1.437,9	1.737,9	1.768,4	1.443,1	1.145,3	1.077,1	1.696,0	1.938,5	2.539,8	1.679,1	1.546,3	1.349,3	1.893,1	2.342,3
	20	1.652,1	1.205,2	1.695,1	1.619,0	1.567,3	1.468,4	1.778,0	1.788,2	1.453,0	1.156,7	1.099,5	1.696,4	1.960,8	2.564,3	1.685,7	1.562,9	1.361,3	1.990,6	2.359,4
	31	1.686,4	1.211,7	1.730,3	1.630,5	1.588,5	1.502,4	1.798,0	1.801,3	1.469,2	1.173,0	1.118,8	1.707,8	1.993,3	2.590,7	1.694,4	1.565,0	1.376,0	2.073,0	2.380,1
Январь.	10	1.701,9	1.217,8	1.755,2	1.640,9	1.605,4	1.519,6	1.806,8	1.815,4	1.463,3	1.185,8	1.121,7	1.719,4	2.015,5	2.606,1	1.705,3	1.579,9	1.417,3	2.129,5	2.403,1
	20	1.698,5	1.222,2	1.778,3	1.649,7	1.611,0	1.536,0	1.818,3	1.834,2	1.480,6	1.201,1	1.135,5	1.731,9	2.036,6	2.618,3	1.712,7	1.600,6	1.425,8	2.237,9	2.422,9
	31	1.713,4	1.229,0	1.798,8	1.657,0	1.628,7	1.551,3	1.841,0	1.847,5	1.494,6	1.122,9	1.151,1	1.743,4	2.064,1	2.233,2	1.730,8	1.605,1	1.443,3	2.306,6	2.426,7
Февраль.	10	1.734,3	1.234,9	1.817,3	1.667,0	1.644,4	1.560,6	1.860,1	1.862,7	1.499,4	1.232,0	1.157,1	1.756,1	2.087,8	2.649,0	1.737,9	1.624,6	1.443,0	2.350,6	2.452,4
	20	1.796,8	1.239,7	1.849,7	1.678,9	1.656,5	1.574,6	1.870,2	1.876,4	1.519,4	1.248,8	1.162,8	1.768,0	2.112,1	2.670,4	1.748,0	1.641,9	1.457,7	2.388,3	2.474,3
	28	1.829,7	1.244,5	1.872,8	1.699,1	1.659,8	1.589,0	1.883,0	1.886,3	1.506,4	1.256,4	1.177,2	1.722,1	2.125,4	2.678,9	1.761,0	1.652,7	1.454,8	2.414,4	2.490,6
Март.	10	—	1.249,3	1.867,9	1.694,2	1.668,3	1.599,2	1.993,8	1.903,3	[1.534,4]	1.234,5	1.189,2	1.785,1	2.148,7	2.687,2	1.775,6	1.678,2	1.467,9	2.445,9	2.511,1
	20	—	1.255,4	1.881,7	1.720,9	[1.673,3]	1.619,3	[1.902,2]	1.920,2	—	1.264,8	1.199,6	1.809,6	[2.160,4]	2.708,2	1.857,0	1.714,3	1.493,0	2.488,0	2.525,2
	31	—	1.262,0	1.921,0	[1.748,1]	—	[1.630,1]	—	—	—	1.358,8	1.212,8	[1.827,4]	—	2.737,7	—	[1.787,9]	—	—	[2.536,4]

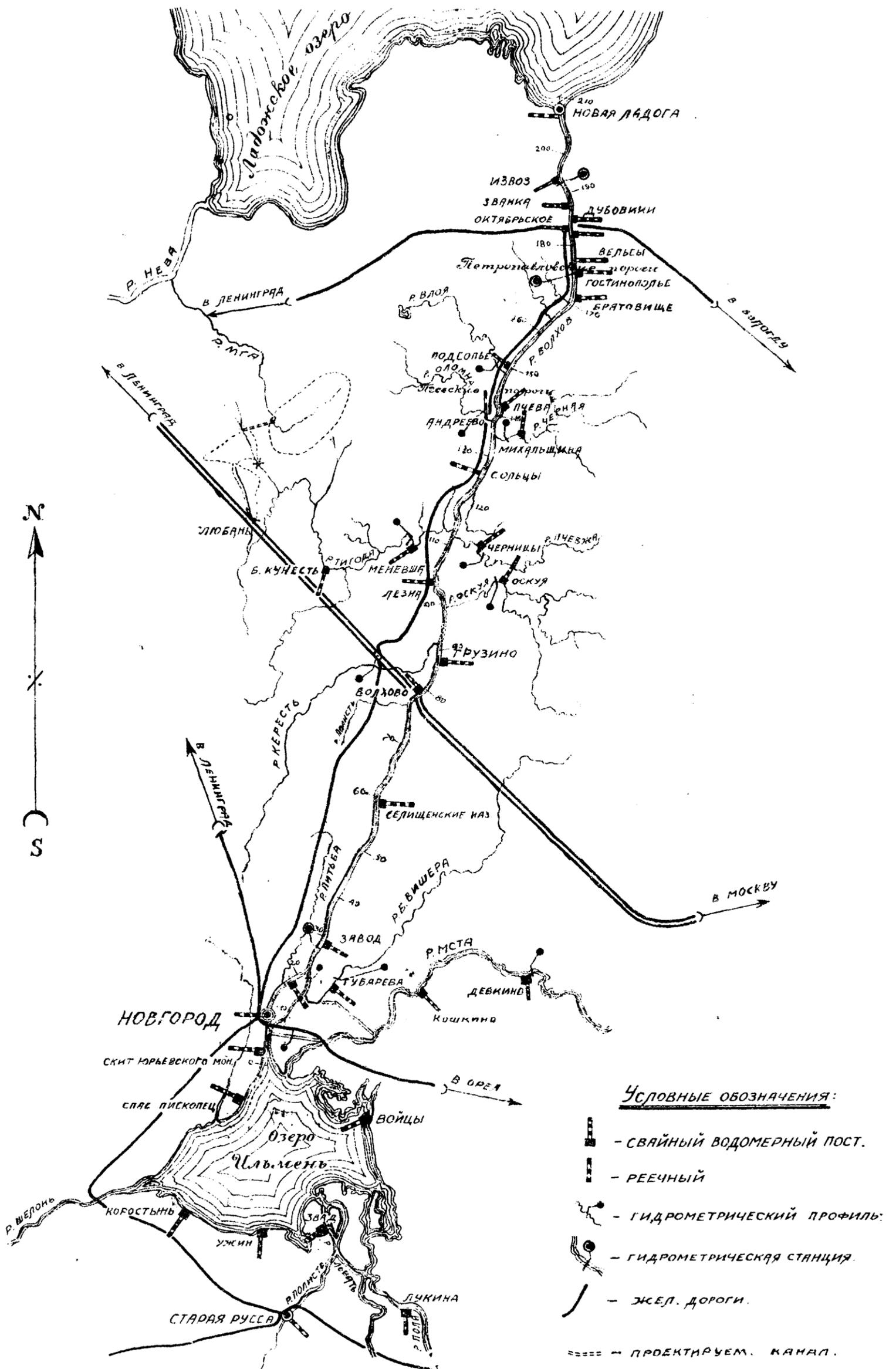
Примечание. Цифры, заключенные в скобки, относятся лишь к предшествующей пятидневке.

Таблица суммарного притока в оз. Ильмень и в р. Волхов по годовым периодам за время с 1881 по 1920 г. (В миллионах кубич. саж.).

ГОДЫ.		1900—01	1901—02	1902—03	1903—04	1904—05	1905—06	1906—07	1907—08	1908—09	1909—10	1910—11	1911—12	1912—13	1913—14	1914—15	1915—16	1916—17	1917—18	1918—19	1919—20	1920—21	1921—22	1922—23	1923—24	
ДАТЫ.	Месяц. Число.																									
		Февраль. 20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	[99,0]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Февраль. 28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	173,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Март. 10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	251,4	—	275,4	[184,0]	—	—	—	—	—	—	[86,5]	—	—	—	—
Март. 20	—	—	—	[166,2]	677,0	—	—	—	—	—	—	408,7	—	527,3	519,5	[533,9]	—	—	—	—	—	235,4	256,3	—	—	—
Март. 31	[137,7]	[198,5]	416,2	1.058,0	[230,6]	389,9	[244,3]	[213,9]	—	—	—	600,5	—	676,7	844,2	719,4	[98,2]	451,6	[218,5]	[408,4]	—	600,2	506,9	287,5	—	
Апрель. 10	703,0	780,2	607,0	1.306,1	469,8	706,3	785,2	538,0	225,0	378,5	834,0	363,3	857,5	1.103,2	1.026,7	654,2	830,5	819,0	832,5	629,6	800,5	636,6	1.006,2	283,8	—	
Апрель. 20	1.025,5	1.073,0	843,5	1.403,0	600,7	1.156,1	1.027,2	833,2	501,9	727,7	974,7	930,1	1.024,2	1.192,6	1.173,1	1.053,9	1.016,1	1.053,1	967,5	850,6	897,1	689,6	1.380,6	506,8	—	
Апрель. 30	1.218,0	1.213,2	1.089,6	1.468,1	657,2	1.324,1	1.029,7	968,9	678,8	958,9	1.040,7	1.186,4	1.116,4	1.219,5	1.261,7	1.225,3	1.103,7	1.191,0	1.034,3	812,8	964,0	710,7	1.630,3	710,1	—	
Май. 10	1.346,1	1.287,5	1.266,2	1.517,9	686,4	1.387,3	1.075,5	1.030,7	819,6	1.066,7	1.061,3	1.280,8	1.224,1	1.235,4	1.323,8	1.306,2	1.154,3	1.261,9	1.056,9	941,2	993,0	724,2	1.750,3	847,4	—	
Май. 20	1.417,4	1.318,0	1.371,0	1.566,5	772,6	1.484,6	1.046,7	1.045,1	883,0	1.129,8	1.083,0	1.335,1	1.275,7	1.266,7	1.350,7	1.356,4	1.199,9	1.300,4	1.082,3	960,3	1.000,9	731,9	1.816,1	965,0	—	
Май. 31	1.466,6	1.325,3	1.429,4	1.601,6	824,3	1.513,1	1.038,6	1.046,5	914,8	1.167,9	1.101,1	1.387,3	1.300,2	1.281,6	1.384,8	1.395,7	1.214,3	1.315,2	1.124,9	1.010,1	1.020,4	738,7	1.910,0	1.062,2	—	
Июнь. 10	1.511,4	1.355,2	1.471,9	1.618,8	861,7	1.538,4	1.037,3	1.053,3	912,1	1.184,7	1.108,2	1.424,3	1.322,5	1.281,8	1.398,7	1.446,9	1.239,7	1.323,6	1.154,3	988,8	1.038,5	752,6	1.950,4	1.134,5	—	
Июнь. 20	1.545,1	1.336,9	1.526,5	1.629,0	875,6	1.534,9	1.027,4	1.063,4	930,2	1.196,9	1.133,7	1.446,4	1.359,5	1.304,1	1.409,9	1.449,4	1.279,6	1.332,4	1.232,1	1.025,7	1.048,0	762,1	1.977,9	1.202,9	—	
Июнь. 30	1.559,6	1.401,0	1.616,4	1.643,7	885,9	1.535,8	1.020,6	1.052,5	1.018,9	1.208,6	1.132,3	1.461,9	1.411,8	1.316,9	1.408,1	1.460,0	1.310,9	1.386,6	1.272,3	1.055,6	1.046,8	778,5	1.995,4	1.230,0	—	
Июль. 10	1.558,8	1.403,6	1.696,1	1.677,8	904,2	1.554,6	1.014,7	1.046,2	1.037,9	1.219,0	1.141,8	1.489,5	1.365,0	1.336,4	1.414,5	1.467,4	1.335,4	1.479,3	1.293,3	1.072,0	1.049,6	784,3	2.016,0	1.245,1	—	
Июль. 20	1.560,3	1.395,6	1.763,0	1.705,8	926,4	1.573,8	1.003,8	1.045,1	1.057,1	1.254,3	1.148,3	1.503,8	1.376,3	1.341,2	1.417,1	1.464,6	1.336,2	1.609,5	1.304,9	1.081,4	1.060,0	793,2	2.055,0	1.282,7	—	
Июль. 31	1.563,0	1.392,2	1.961,0	1.745,0	955,9	1.584,3	1.008,5	1.061,8	1.063,4	1.300,4	1.180,7	1.507,0	1.383,3	1.347,6	1.423,7	1.477,3	1.352,8	1.669,8	1.311,6	1.082,0	1.046,3	818,7	2.091,8	1.322,2	—	
Август. 10	1.569,9	1.393,0	2.139,8	1.790,6	985,1	2.085,2(?)	1.017,2	1.096,4	1.090,2	1.338,5	1.217,4	1.516,4	1.320,0	1.371,1	1.426,8	1.481,3	1.366,4	1.700,1	1.334,7	1.110,5	1.044,9	812,2	2.114,9	1.403,3	—	
Август. 20	1.566,8	1.392,0	2.258,6	1.845,1	1.038,3	1.592,6	1.011,3	1.100,5	1.244,3	1.366,5	1.316,4	1.518,2	1.390,3	1.379,9	1.424,2	1.515,1	1.396,6	1.719,5	1.352,4	1.131,4	1.045,8	816,9	2.122,1	1.485,9	—	
Август. 31	1.581,6	1.401,3	2.337,8	1.915,9	1.112,7	1.679,0	1.064,4	1.101,6	1.386,6	1.378,0	1.364,4	1.535,9	1.398,0	1.386,5	1.443,3	1.501,3	1.485,5	1.766,2	1.377,1	1.139,5	1.047,5	825,9	2.129,2	1.535,5	—	
Сентябрь. 10	1.592,7	1.403,1	2.386,2	1.942,9	1.153,1	1.711,9	1.055,6	1.097,8	1.735,5	1.397,8	1.386,3	1.560,7	1.430,1	1.385,7	1.443,3	1.507,4	1.512,8	1.828,9	1.454,5	1.154,1	1.050,2	844,8	2.146,7	1.572,3	—	
Сентябрь. 20	1.602,5	1.407,0	2.419,4	1.980,8	1.188,9	1.778,8	1.086,9	1.119,0	1.835,3	1.418,5	1.398,5	1.598,8	1.477,6	1.398,7	1.453,6	1.523,4	1.541,8	1.894,6	1.524,4	1.181,7	1.051,0	853,9	2.163,1	1.596,5	—	
Сентябрь. 30	1.662,6	1.417,8	2.455,1	2.062,3	1.201,1	1.990,3	1.106,2	1.133,1	2.015,6	1.433,7	1.469,1	1.610,6	1.481,9	1.418,7	1.484,2	1.548,9	1.571,3	1.981,5	1.563,9	1.214,7	1.066,0	884,0	2.193,6	1.640,5	—	
Октябрь. 10	1.702,3	1.431,0	2.547,4	2.130,9	1.239,1	2.115,1	1.104,2	1.140,1	2.097,8	1.510,5	1.511,9	1.655,1	1.511,9	1.441,6	1.493,1	1.561,5	1.742,5	2.103,5	1.602,3	1.225,7	1.069,6	913,2	2.232,8	1.735,6	—	
Октябрь. 20	1.759,1	1.429,6	2.673,0	2.193,9	1.293,7	2.208,4	1.114,2	1.150,7	2.131,8	1.481,4	1.537,0	1.735,9	1.541,3	1.462,7	1.502,2	1.563,7	1.907,6	2.207,4	1.634,8	1.227,9	1.086,7	945,7	2.266,4	1.902,3	—	
Октябрь. 31	1.789,7	1.433,7	2.739,4	2.246,3	1.324,0	2.248,4	1.132,0	1.161,3	2.166,6	1.492,4	1.581,8	1.810,5	1.582,3	1.510,9	1.518,9	1.572,4	2.008,9	2.282,6	1.661,4	1.229,9	1.097,8	977,6	2.350,2	2.099,5	—	
Ноябрь. 10	1.772,2	1.439,9	2.816,9	2.287,1	1.394,1	2.303,0	1.227,0	1.152,7	2.109,5	1.481,1	1.650,5	1.950,8	1.599,1	1.627,9	1.540,0	1.628,8	2.091,4	2.346,8	1.651,5	1.242,0	1.096,7	1.002,7	2.392,6	2.270,7	—	
Ноябрь. 20	1.808,1	1.445,9	2.854,0	2.329,1	1.480,4	2.296,1	1.263,7	1.167,8	2.139,7	1.500,5	1.687,1	1.788,1	1.643,3	1.718,6	1.540,3	1.657,5	2.191,8	2.431,2	1.679,2	1.250,6	1.104,7	1.026,8	2.434,4	2.414,2	—	
Ноябрь. 30	1.836,2	1.452,6	2.863,7	2.473,4	1.549,3	2.320,4	1.316,6	1.174,8	2.171,3	1.546,3	1.735,2	1.996,2	1.670,2	1.796,7	1.574,5	1.669,5	2.282,0	2.502,3	1.687,2	1.261,4	1.120,2	1.039,8	2.461,0	2.510,0	—	
Декабрь. 10	1.916,4	1.459,5	2.871,3	2.524,4	1.655,9	2.396,0	1.327,6	1.188,7	2.202,8	1.576,8	1.863,4	2.032,4	1.702,8	1.855,5	1.602,7	1.679,9	2.323,0	2.546,6	1.709,5	1.270,8	1.123,9	1.051,2	2.470,0	2.600,6	—	
Декабрь. 20	1.945,7	1.466,4	2.884,2	2.559,5	1.488,4	2.448,5	1.414,4	1.186,4	2.228,7	1.603,4	1.945,5	2.030,8	1.780,7	1.897,3	1.613,3	1.692,8	2.334,3	2.585,5	1.734,7	1.276,9	1.147,8	1.070,1	2.493,8	2.652,9	—	
Декабрь. 31	1.962,4	1.474,7	2.887,6	2.603,3	1.728,4	2.474,4	1.430,1	1.189,7	2.247,4	1.627,2	1.991,1	2.041,2	1.826,9	1.926,7	1.611,8	1.705,3	2.345,3	2.623,4	1.764,4	1.272,1	1.157,1	1.083,9	2.521,7	2.696,7	—	
Январь. 10	1.979,9	1.482,3	2.926,0	2.621,0	1.748,0	2.502,1	1.441,7	1.195,5	2.258,4	1.646,7	2.015,2	2.038,4	1.836,3	1.944,3	1.615,0	1.730,7	2.331,0	2.649,8	1.777,6	1.281,9	1.163,3	1.092,4	2.531,0	2.732,4	—	
Январь. 20	1.973,8	1.490,6	2.933,0	2.638,7	1.760,2	2.524,2	1.458,1	1.203,1	2.264,3	1.668,1	2.028,8	2.041,8	1.849,6	1.978,0	1.630,2	1.768,0	2.348,3	2.681,4	1.789,1	1.285,6	1.169,1	1.102,2	2.551,2	2.757,6	—	
Январь. 31	1.989,8	1.499,5	2.948,8	2.665,1	1.780,3	2.549,0	1.476,7	1.199,6	2.284,5	1.688,4	2.027,6	2.047,5	1.871,7	2.146,5	1.646,2	1.788,9	2.371,7	2.733,2	1.799,0	1.292,4	1.172,8	1.120,9	2.563,6	2.777,8	—	
Февраль. 10	2.011,2	1.508,4	2.971,7	2.680,4	1.790,2	2.536,7	1.498,6	1.213,1	2.301,5	1.711,7	2.056,1	2.048,8	1.871,7	2.385,2	1.663,1	1.805,6	2.378,2	2.775,2	1.802,4	1.296,7	1.177,0	1.137,9	2.574,6	2.797,8	—	
Февраль. 20	2.026,9	1.517,3	3.039,4	2.688,5	1.803,5	2.591,5	1.506,6	1.219,1	2.316,4	1.743,5	2.078,6	[2.052,0]	1.878,3	2.484,8	1.680,7	1.825,7	2.386,8	2.809,3	1.813,9	1.304,7	1.183,8	1.154,4	2.584,1			

КАРТА РАСПОЛОЖЕНИЯ СЕТИ ВОДОМЕРНЫХ ПОСТОВ И ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ Р. ВОЛХОВА И ЕГО ПРИТОКОВ

МАСШТАБ: 25 20 15 10 5 0 25 50 ВЕРСТ



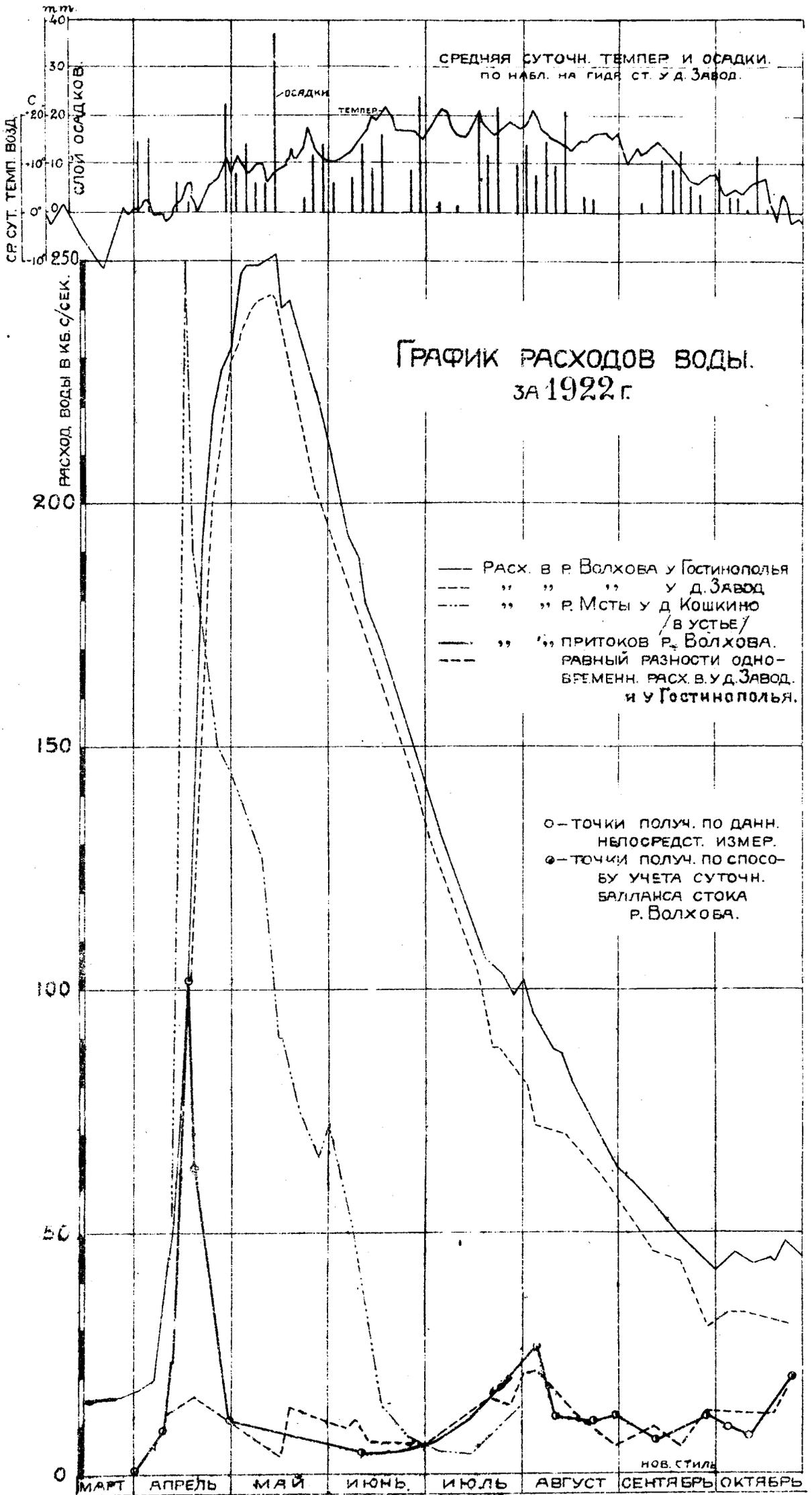
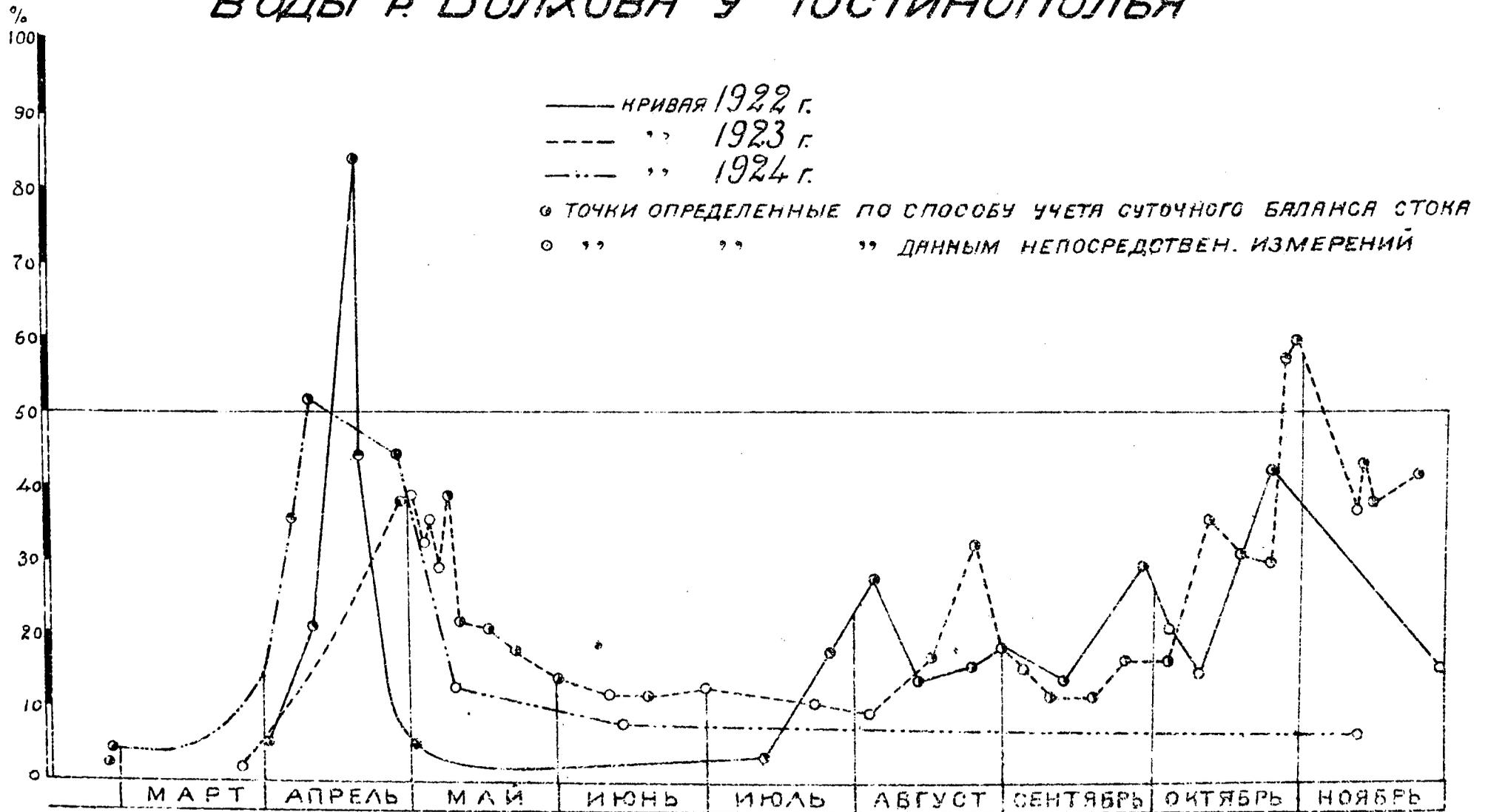


ГРАФИК ПРОЦЕНТНОГО ОТНОШЕНИЯ СУММАРНОГО РАСХОДА ВОДЫ ПРИТОКОВ Р. ВОЛХОВА К РАСХОДУ ВОДЫ Р. ВОЛХОВА У ГОСТИНОПОЛЬЯ



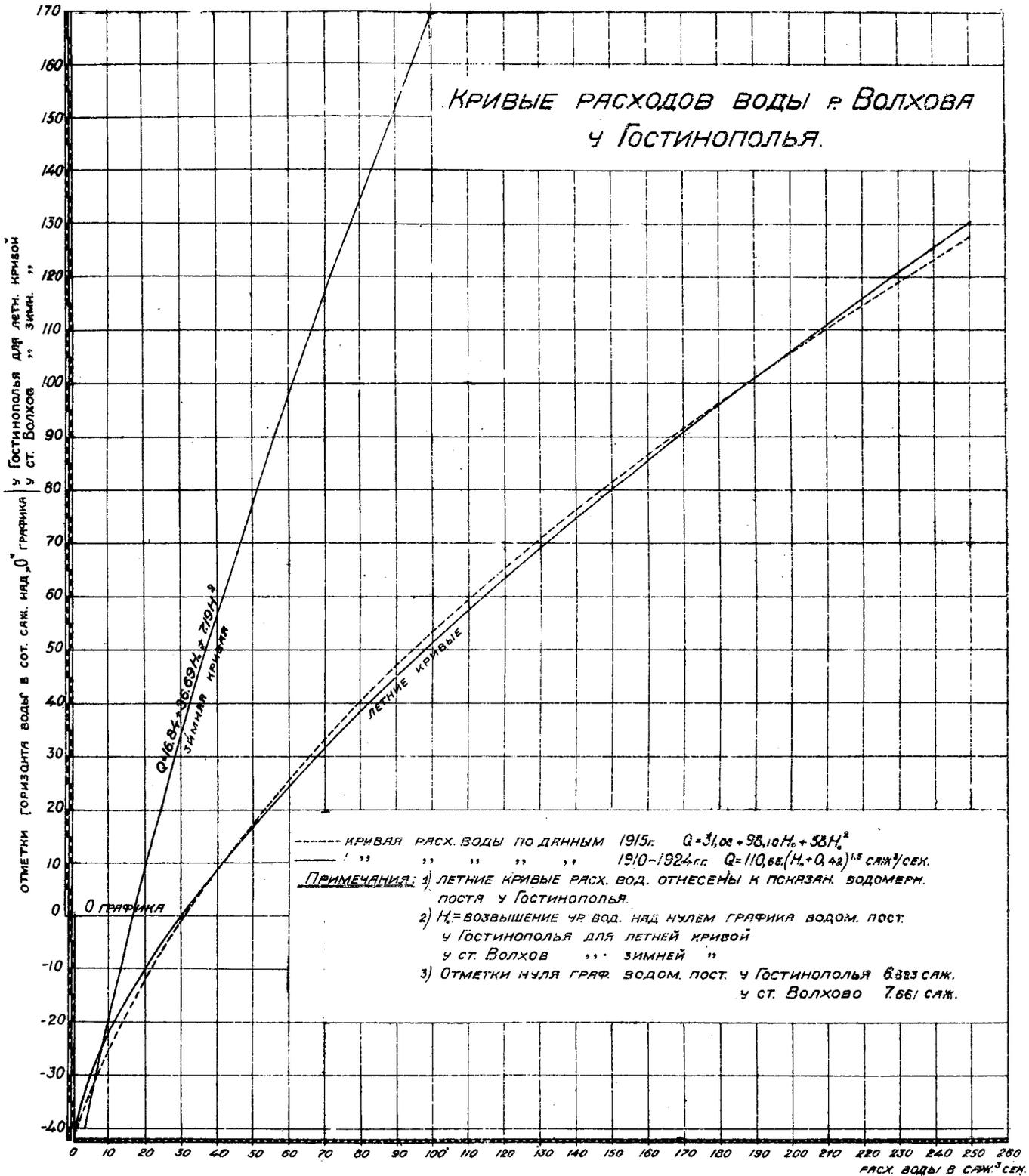
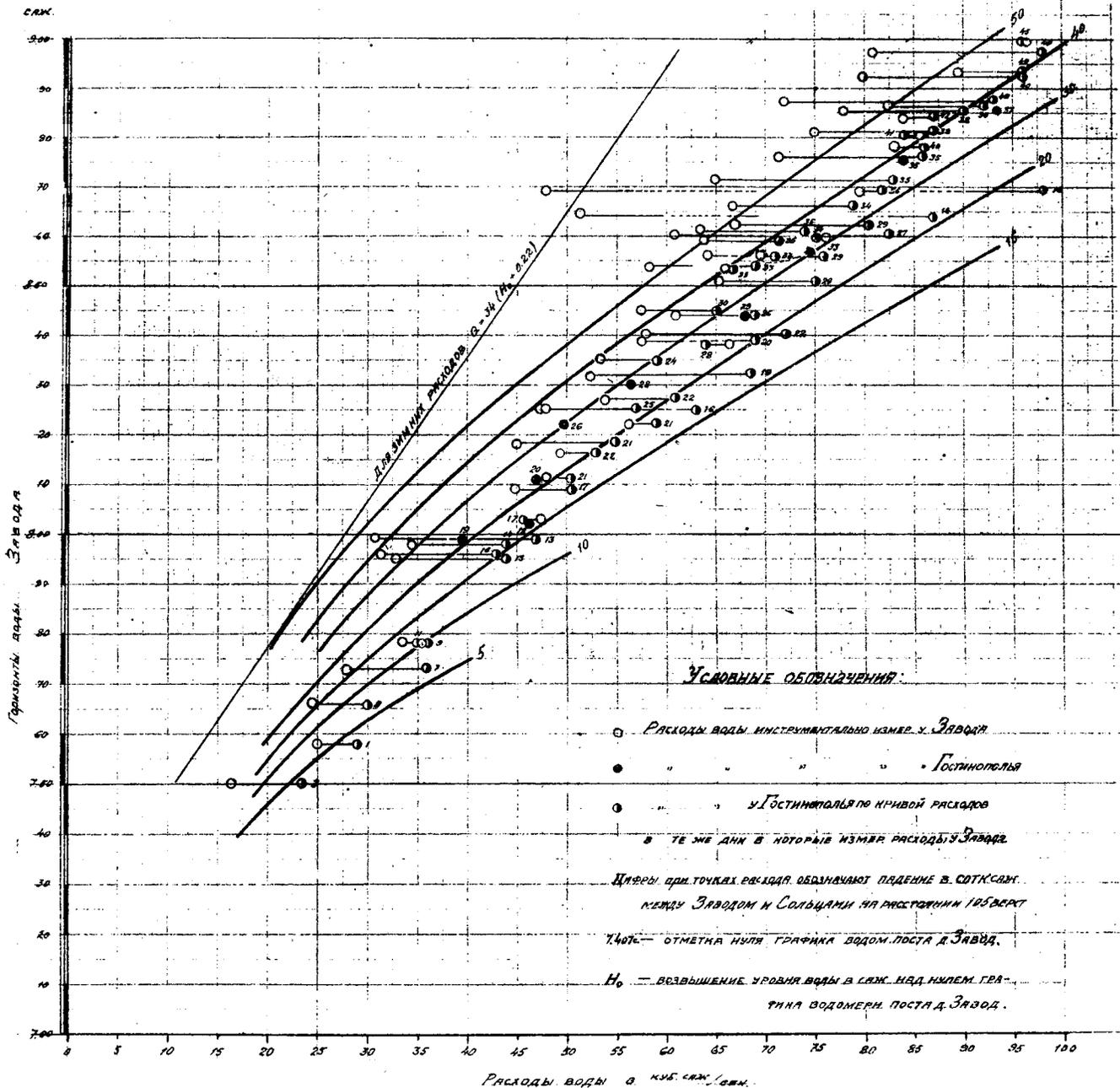
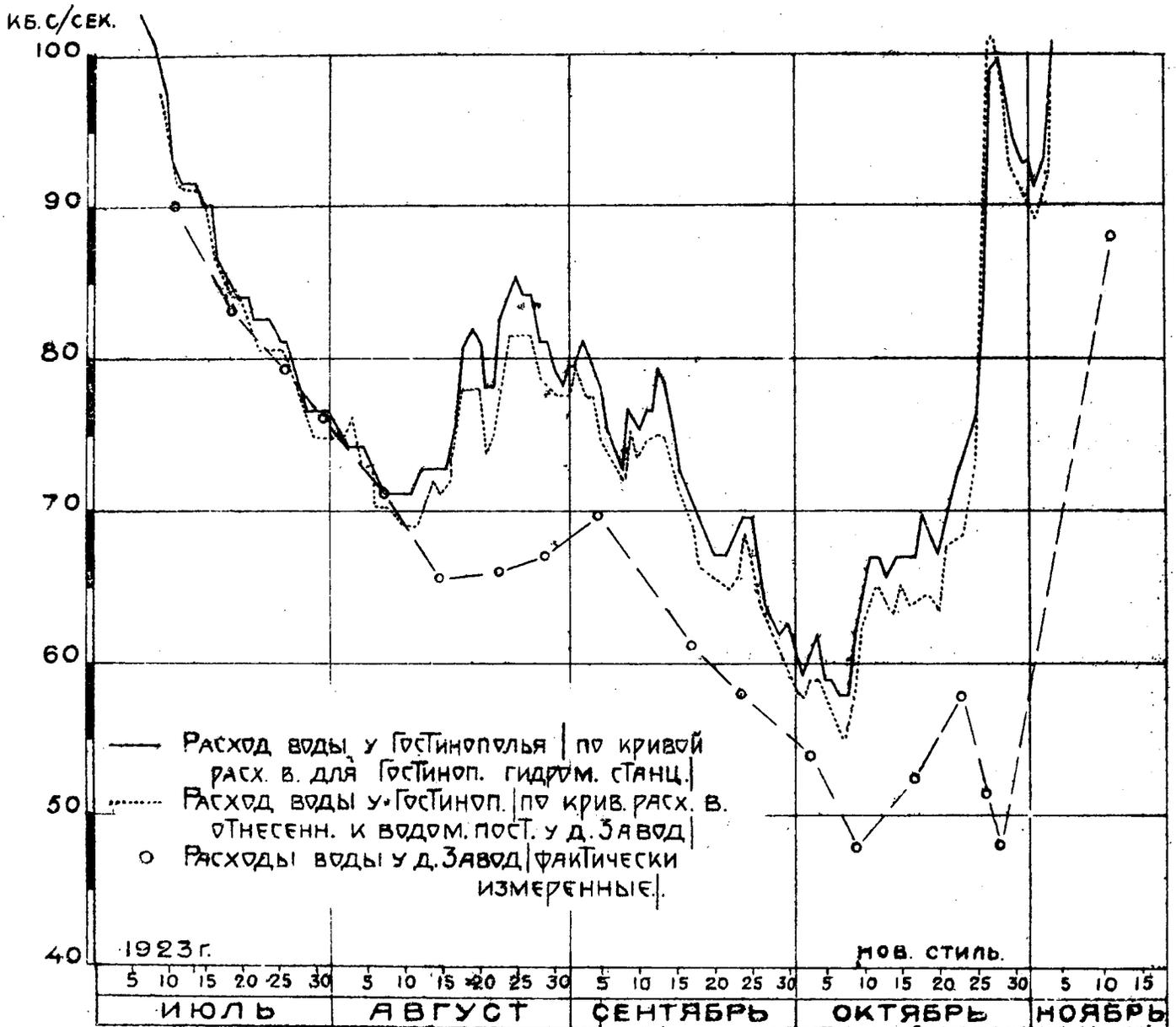


ГРАФИК РАСХОДОВ ВОДЫ Р. ВОЛХОВА

У Д. ЗАВОД И У ГОСТИНОПОЛЯ, ОТНЕСЕННЫХ К ГОРИЗОНТУ ВОДЫ У Д. ЗАВОД.



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ГРАФИК РАСХОДОВ ВОДЫ Р. ВОЛХОВА У ГОСТИНОПОЛЬЯ 1923г.



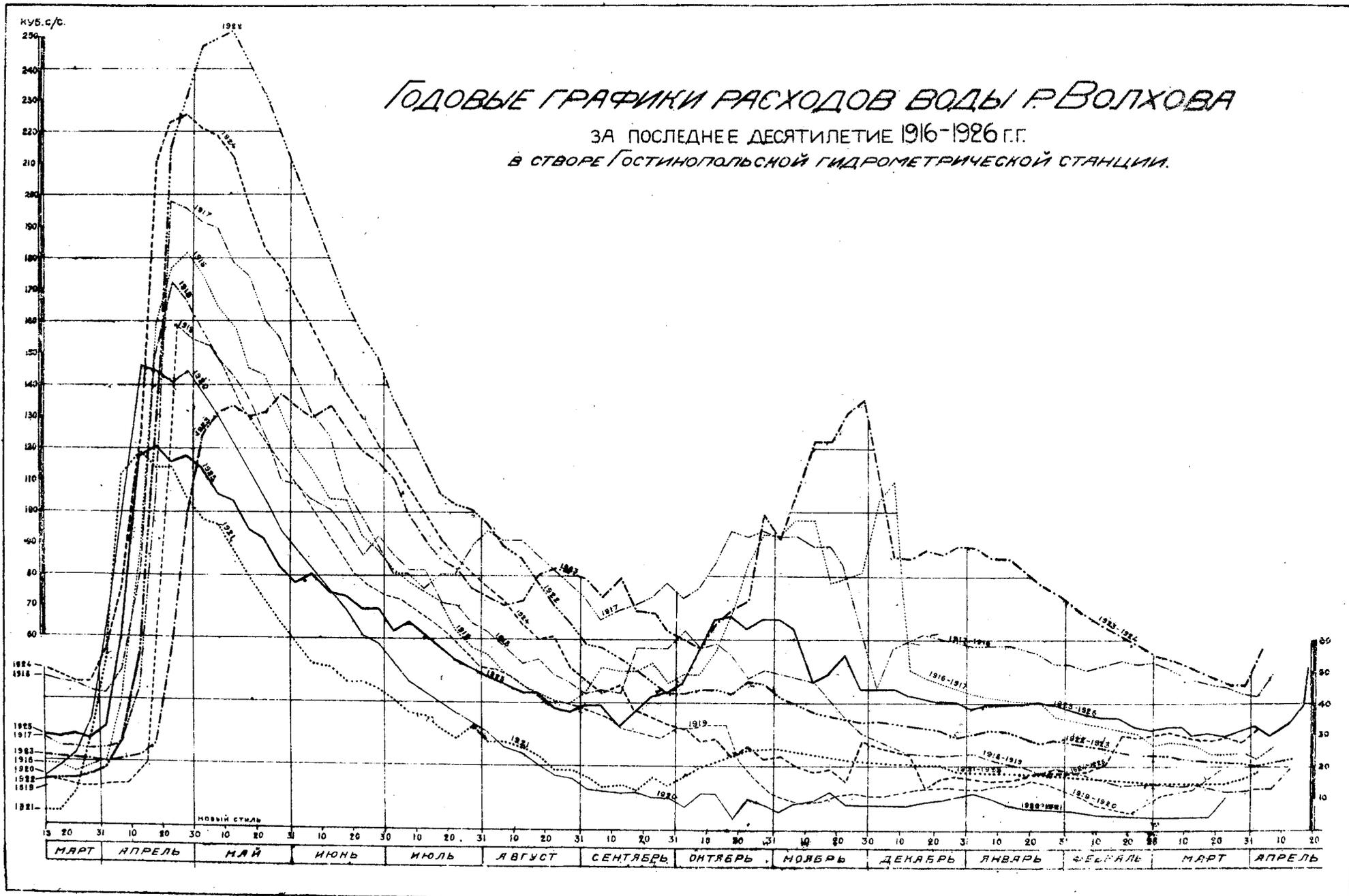


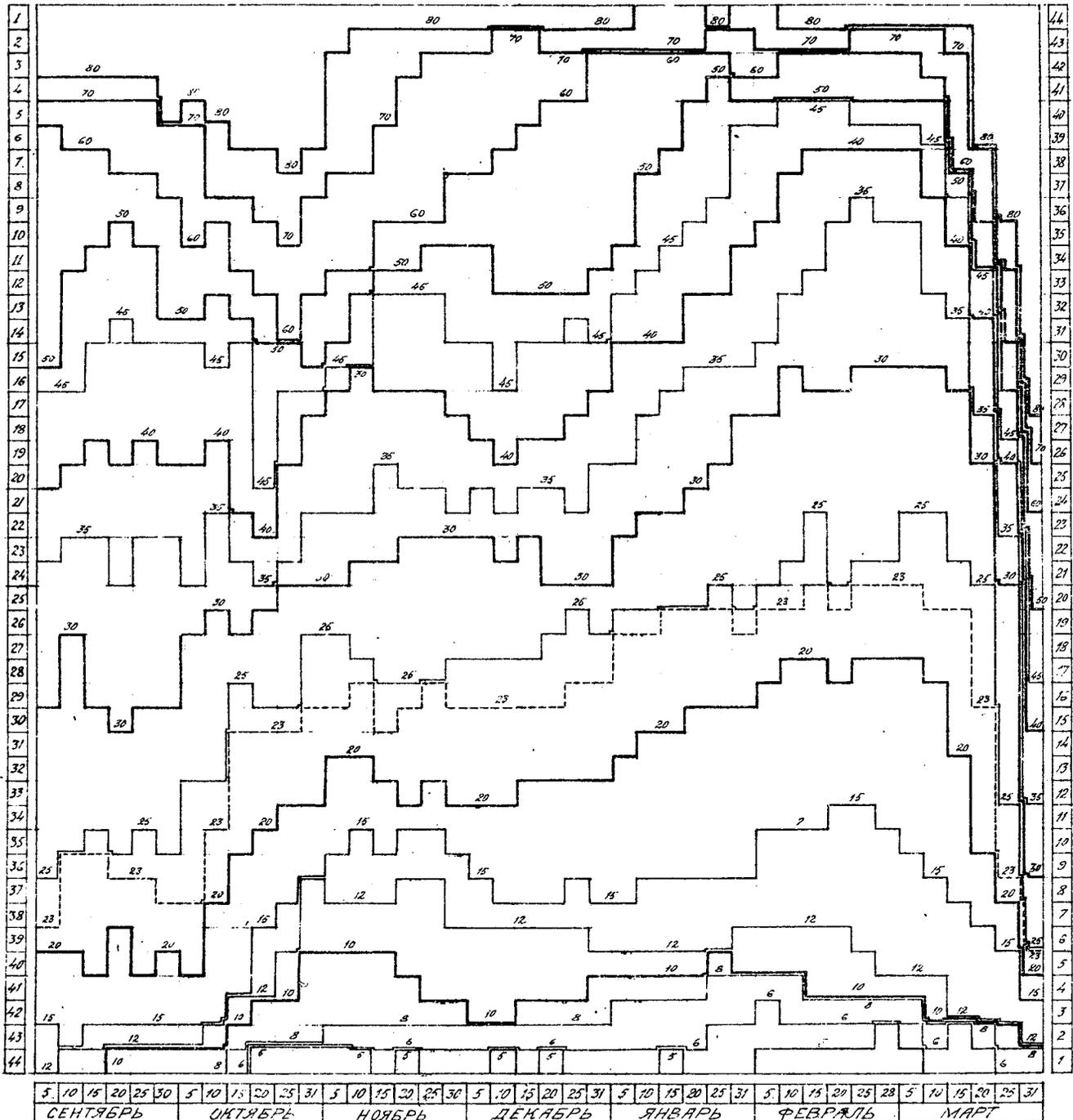
ГРАФИК ДЛИТЕЛЬНОСТИ

РАСХОДОВ ВОДЫ ГОСТИНОПОЛЬСКОЙ ГИДРОМЕТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

на каждые пятые сутки в течении зимних месяцев за 44-летний период с 1881 по 1925 год

Число лет

Число лет



Старый стиль.

(Цифры при линиях обозначают расходы воды в куб. саж. в сутки).

Начальник ОТДЕЛА ИЗЫСКАНИЙ *Вороженин*
 ИНЖЕНЕР:
 Начальник ТЕХНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ *Титов*
 ИНЖЕНЕР:
 Начальник IV ПАРТИИ *Давидов*
 ИНЖЕНЕР:

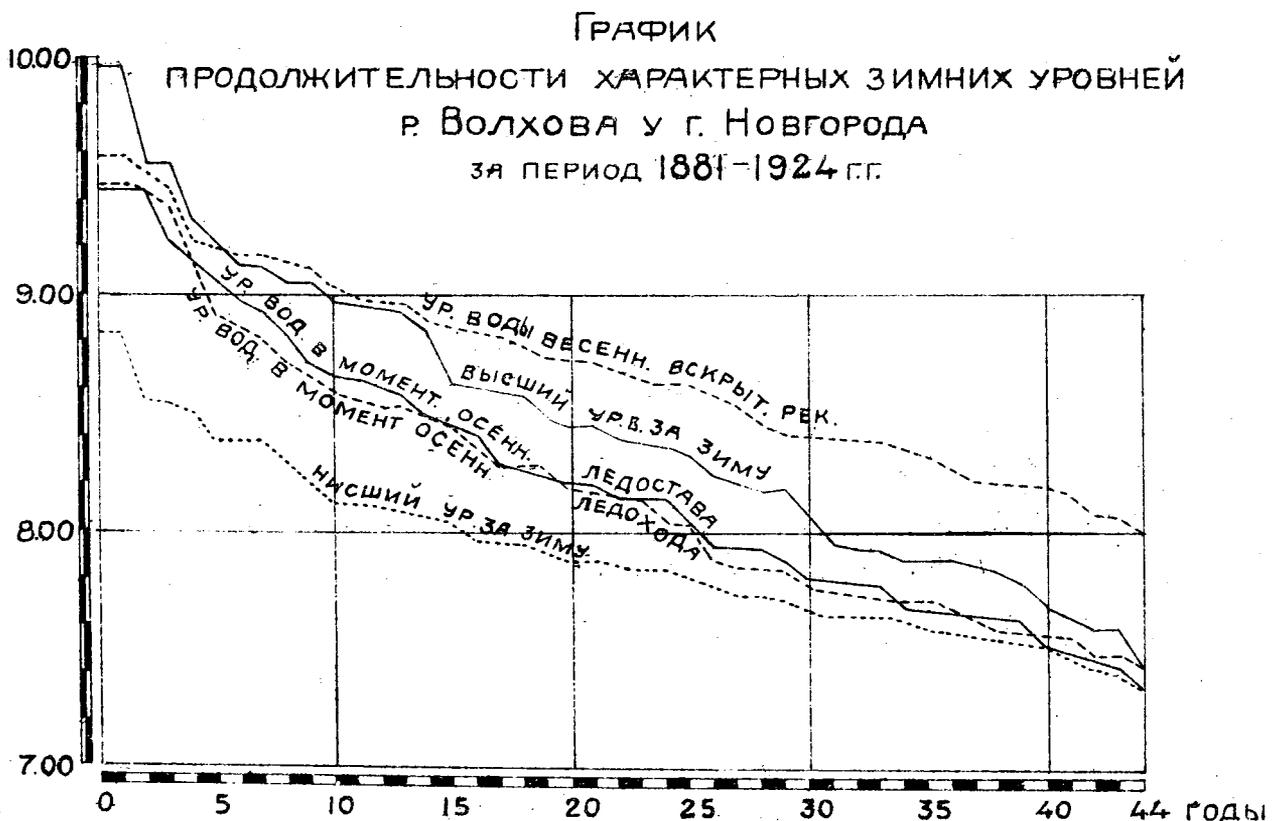
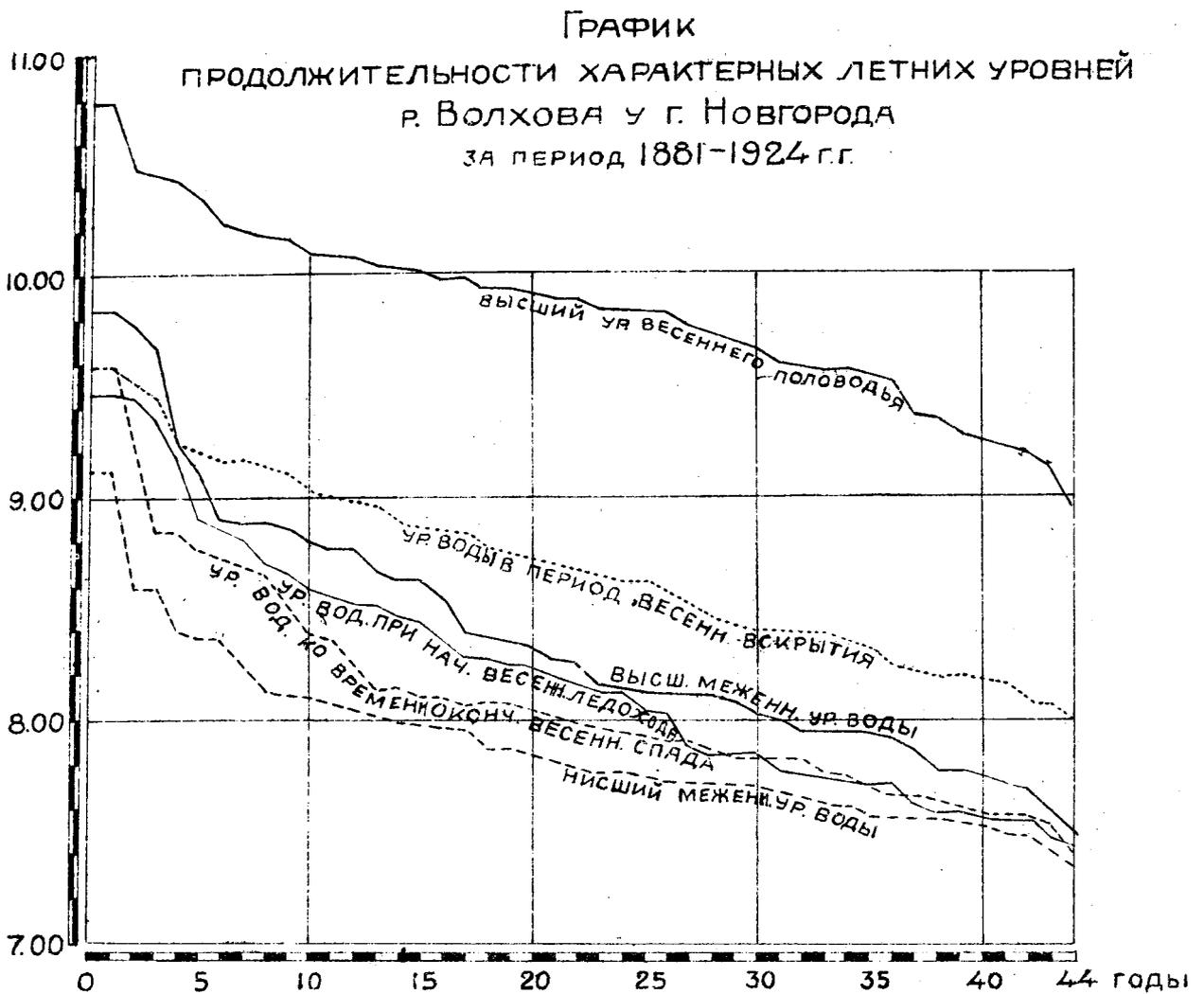
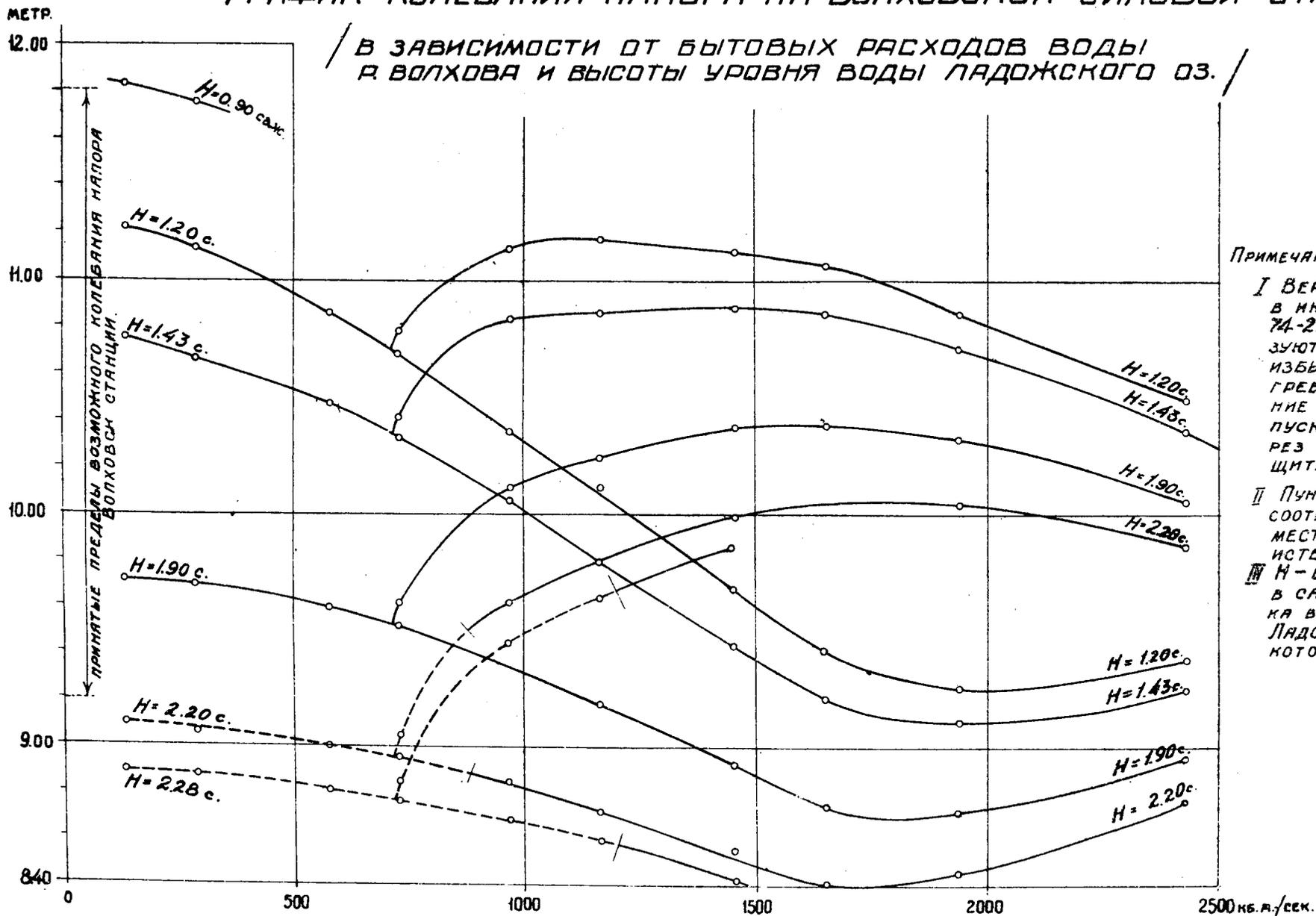


ГРАФИК КОЛЕБАНИЯ НАПОРА НА ВОЛХОВСКОЙ СИЛОВОЙ СТАНЦИИ

В ЗАВИСИМОСТИ ОТ БЫТОВЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ
Р. ВОЛХОВА И ВЫСОТЫ УРОВНЯ ВОДЫ ЛАДОЖСКОГО ОЗ.



Примечания:

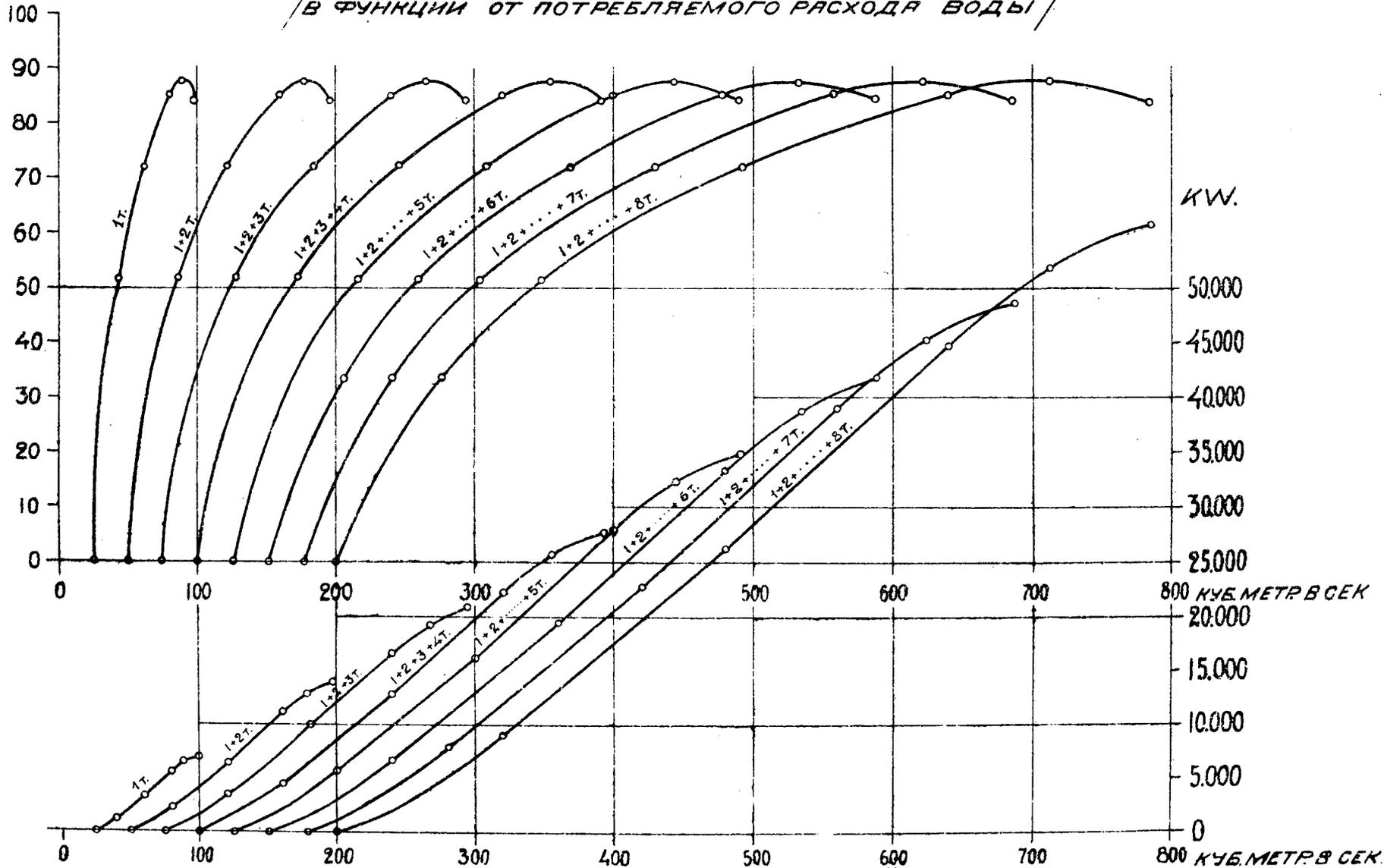
I Верхние ветви кривых в интервале графика 74-250 м³/сек. характеризуют напор при пропуске избытка расх. воды через гребень плотины и нижние ветви — тоже при пропуске избытка воды через отверстия, регулир. щитами Столея.

II Пунктиром обозначены соотношения не имевшие места на практике за истекшие 44 года

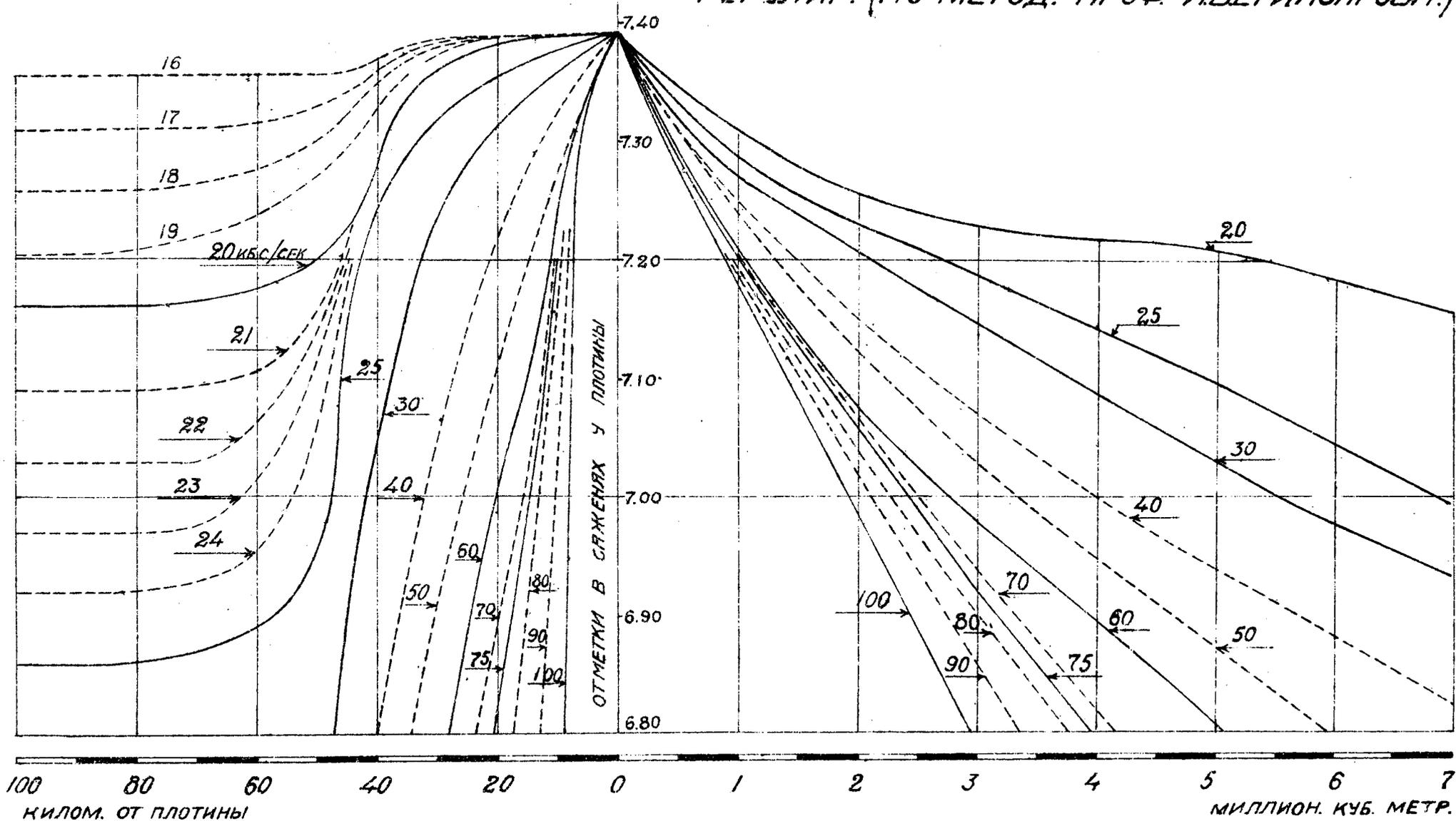
III Н — возвышение гор. воды в саж. над нулем графика водсм. поста в Новой Ладоге, абсол. отметка которого равна 0,98 с.

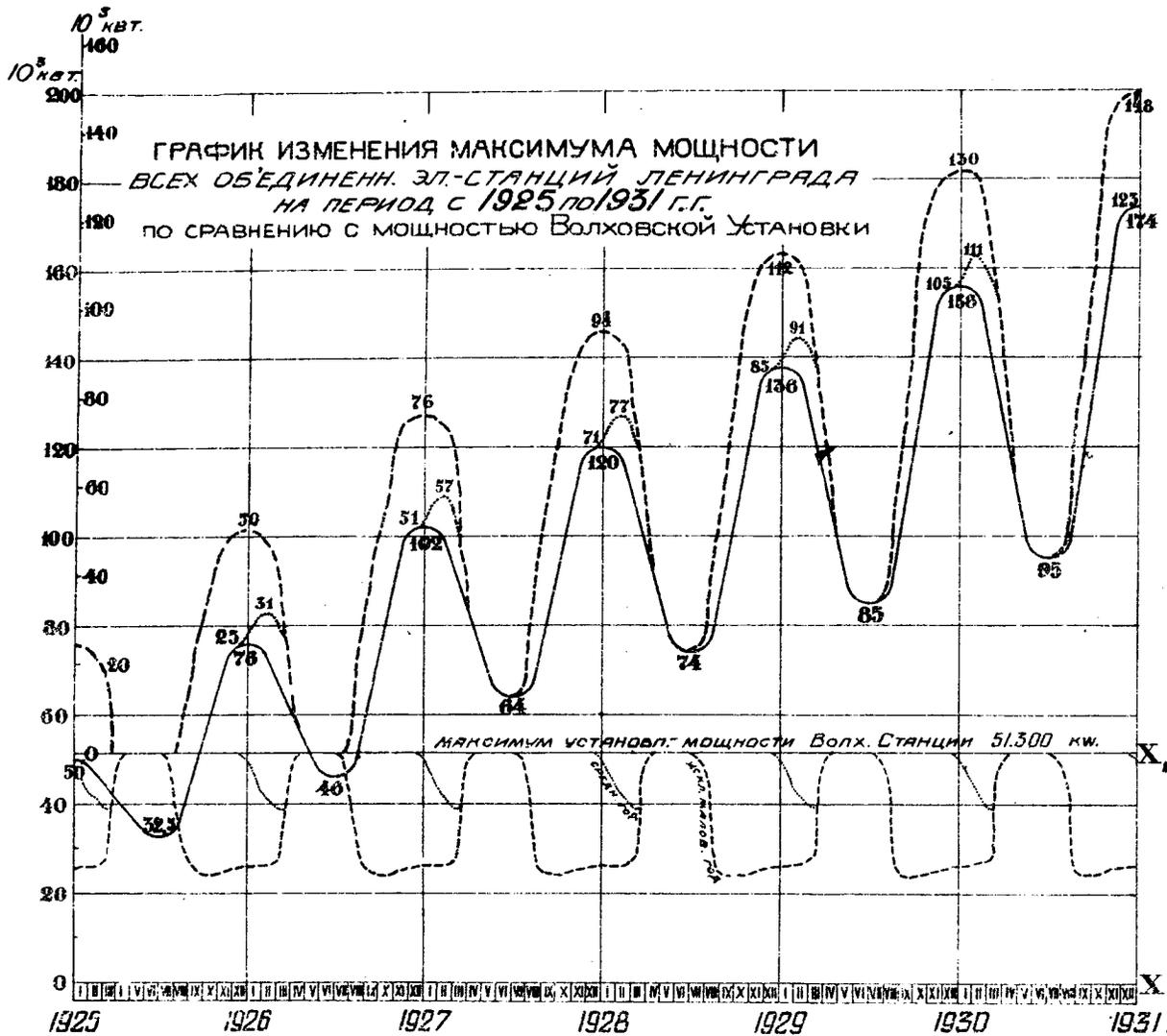
ГРАФИКИ
1 КОЭФФ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ
2 МОЩНОСТИ НА ШИНАХ ГЛ. Понижающей
ПОДСТАНЦИИ В ЛЕНИНГРАДЕ ПРИ СОВМЕСТНОЙ
РАВНОМЕРНОЙ РАБОТЕ ГРУППЫ ТУРБИН ОТ 1 Д 8.
В ФУНКЦИИ ОТ ПОТРЕБЛЯЕМОГО РАСХОДА ВОДЫ

КОЭФФ.
 полезн. действ.



НОМОГРАММА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ
КОЛЕБАНИЯ УР. ВОД. У ПЛОТИНЫ ВОЛХОВСКОЙ
ГИДРО-ЭЛЕКТРИЧ. СТАНЦИИ ПРИ СУТОЧН.
РЕГУЛИР. (ПО МЕТОД. ПРОФ. ИВЕГИАЗАРОВА.)

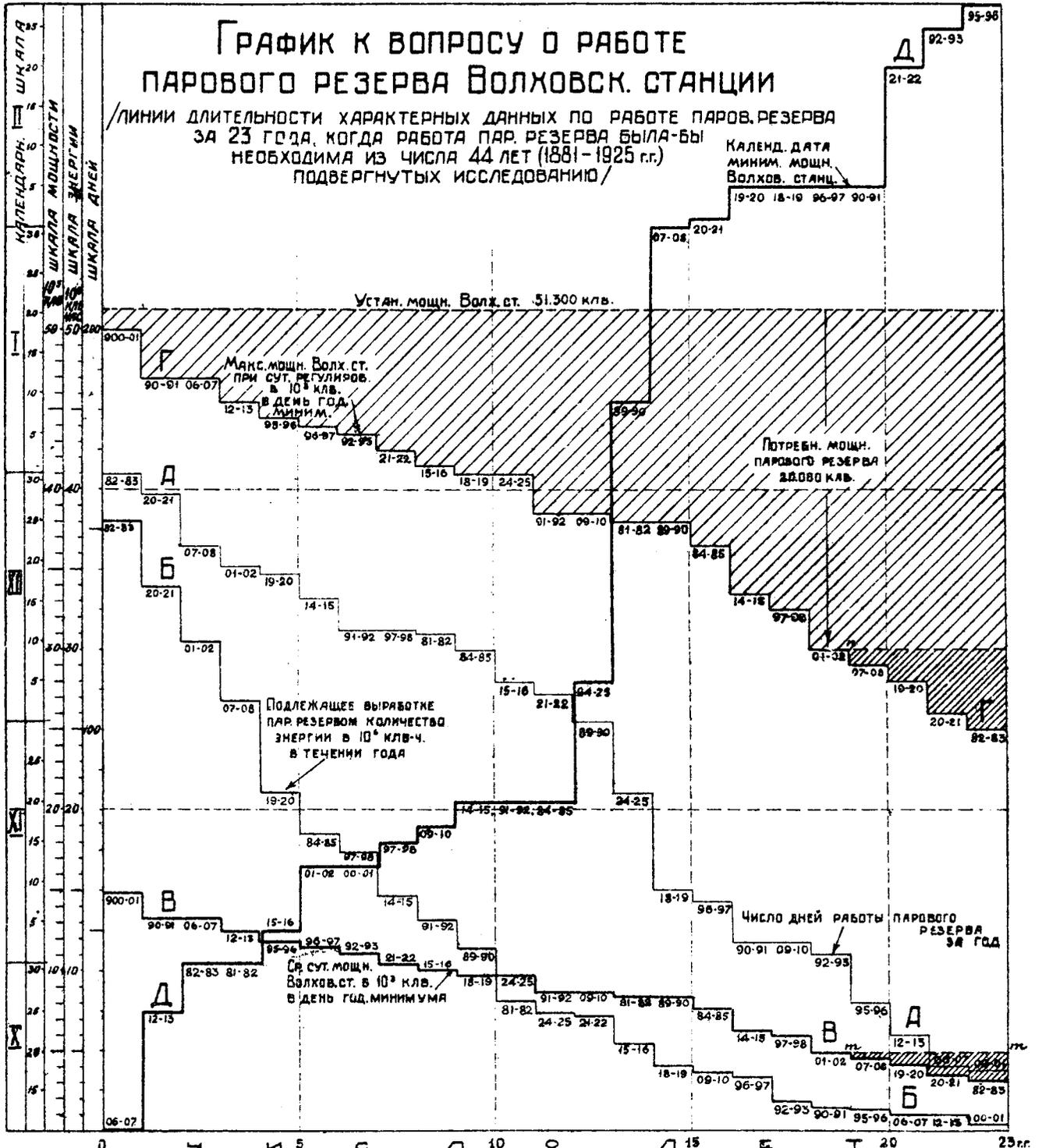




————— КРИВАЯ ИЗМЕНЕНИЯ МОЩНОСТИ ВСЕХ ОБЪЕДИНЕНН. ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ЛЕНИНГРАДА (над ОХ — со включен Волховской станцией, под ОХ — исключая Волховскую станцию в среднем многоводном году)
 - - - - - КРИВАЯ ПО ОТНОШ. К ОХ, ВЫРАЖАЕТ МОЩНОСТЬ ВСЕХ ОБЪЕДИНЕНН. ЭЛЕКТРОСТ. ЛЕНИНГРАДА ИСКЛЮЧАЯ ВОЛХОВСКУЮ В ИСКЛЮЧ. МАЛОВОДНЫЙ ГОД
 ————— КРИВАЯ ПО ОТНОШ. К ОХ, ВЫРАЖАЕТ УВЕЛИЧЕНИЕ МОЩНОСТИ ВСЕХ ОБЪЕДИН. ЭЛЕКТРОСТ. ЛЕНИНГРАДА ИСКЛЮЧАЯ ВОЛХОВСКУЮ В СРЕДНИЙ ГОД
 ————— ПРЯМАЯ ОХ ПО ОТНОШ. К ОХ, ВЫРАЖАЕТ МОЩНОСТЬ ВОЛХОВСКОЙ СТАНЦИИ В МНОГОВОДНЫЙ ГОД (18 л. из 44 лет)
 ————— КРИВАЯ ————— В ИСКЛ. МАЛОВОДНЫЙ ГОД (2 г. из 44 лет)
 ————— КРИВАЯ ————— В СРЕДНИЙ ГОД (22 г. из 44 лет)

График к вопросу о работе парового резерва Волховск. станции

Линии длительности характерных данных по работе паров. резерва за 23 года, когда работа пар. резерва была бы необходима из числа 44 лет (1881-1925 гг.) подвергнутых исследованию /



- ПРИМЕЧАНИЕ I** предел ниже которого нельзя ожидать падения мощности Волховской станции при новом режиме Волхова после сооружения станции. Таким образом густо заштрихованная площадь обозначает увеличение по этой причине минимума мощности Волх. Станции в условиях исключительно маловодных лет, по сравн. с их года данными.
- II** Редко заштрихованная площадь обозначает потребную мощность годового резерва в день годового минимума мощности.
- III** Цифры при ступенях графика обозначают годовой период, с отброшенными начальными цифрами, охватывающий время от начала весеннего половодья одного года до такого-же момента следующего года.

ГРАФИК РЕЖИМА СТОКА РЕКИ ВОЛХОВА

В УСЛОВИЯХ ГОДОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПО МАЛОМУ ВАРИАНТУ.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.

I. К ГРАФИКУ СТОКА.

- Интегральная кривая притока оз. Ильмень
- Средняя зарегулированная стока
- Естественного стока
- Минимального стока невозможного условия
- Максимального зарегулированного стока
- Для данного года в условии графика нагрузки 1929 года.

II. К ГРАФИКУ РАСХОДОВ.

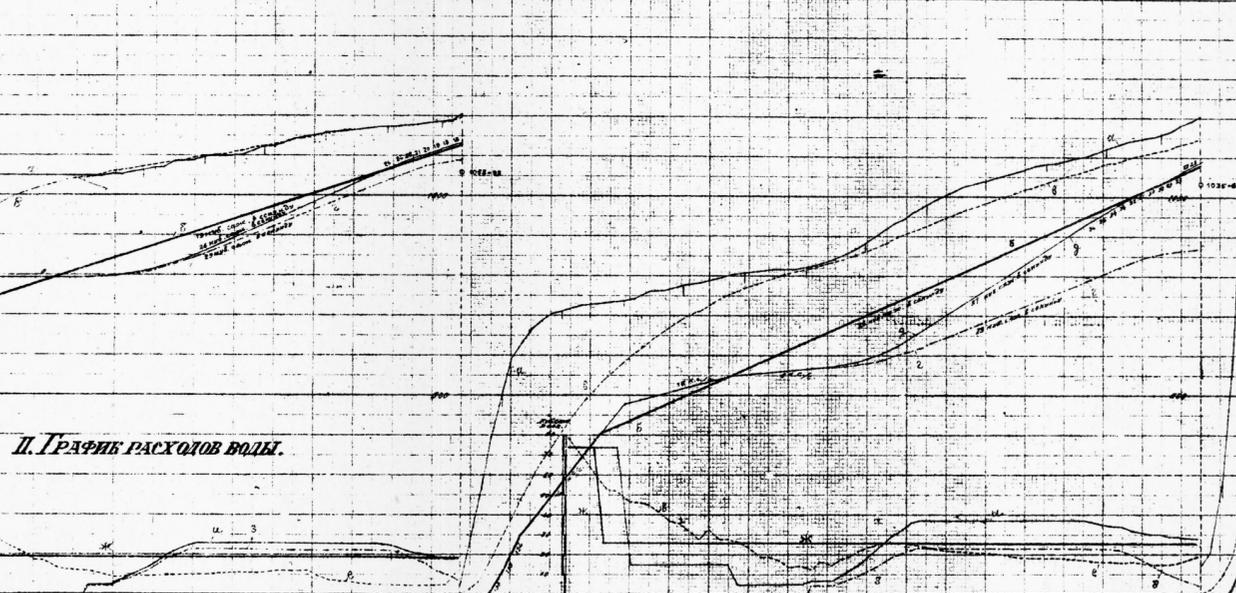
- Расходы воды при естественном режиме стока
- По кривой среднего зарегулированного стока
- Минимальным
- Максимальным

III. К ГРАФИКУ УРОВНЕЙ.

- Уровень воды оз. Ильмень при естественном режиме стока
- В условиях подпора Волжской плотины
- При регулировании кривой среднего стока
- Минимальным
- Максимальным
- При естественном режиме стока
- При регулировании по кривой минимального стока

Время исчислено по старому стилю.

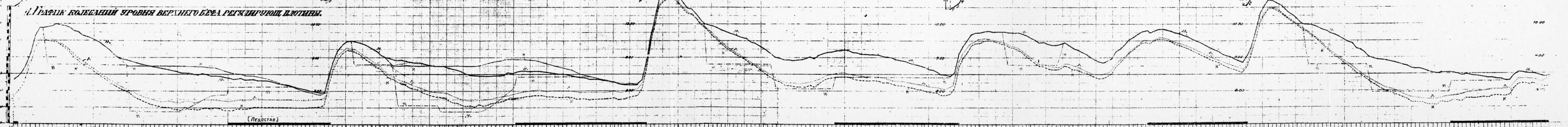
I. Кривые стока.



II. График расходов воды.

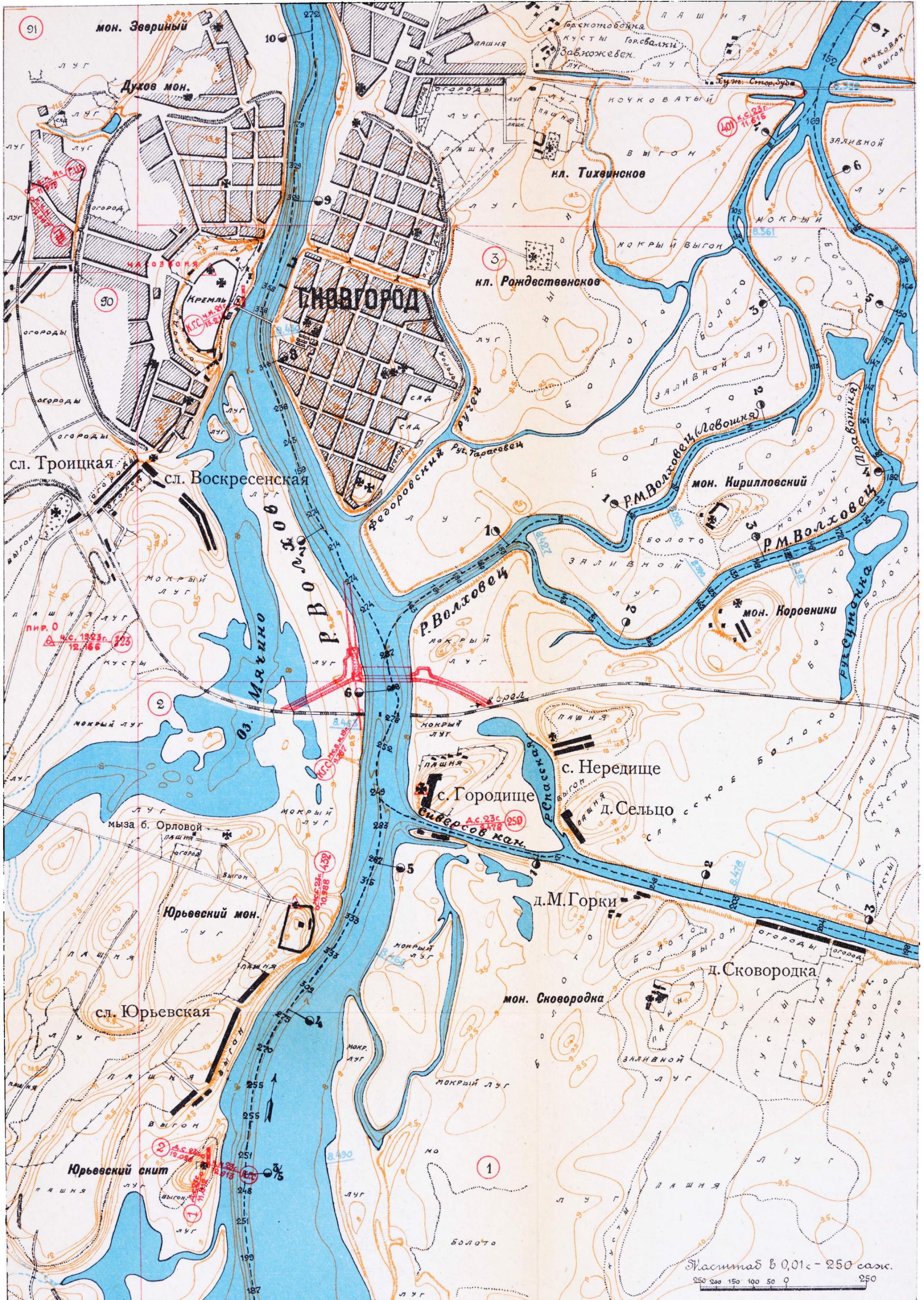


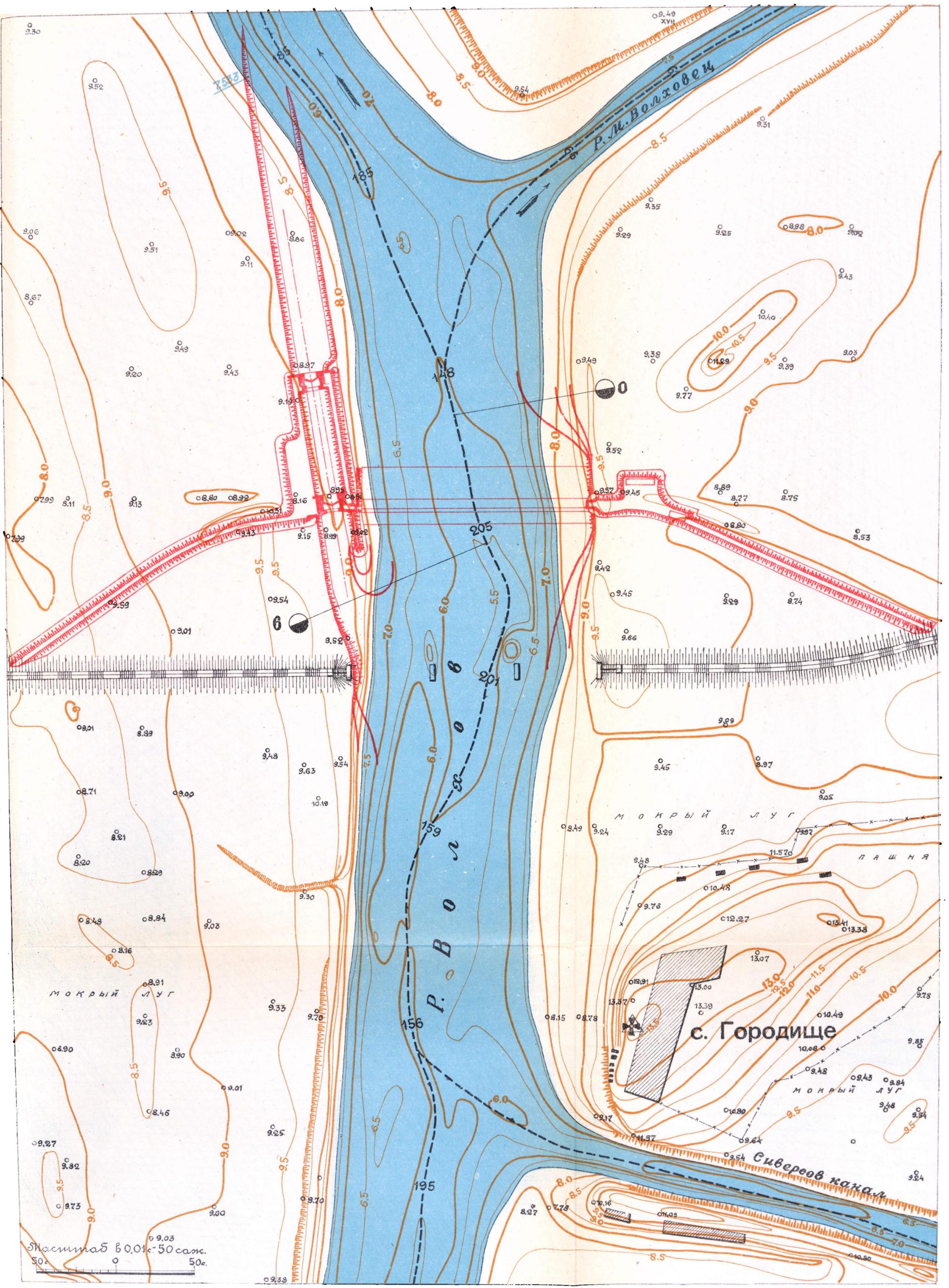
III. График колебаний уровня верхнего бьефа регулирующих плотин.



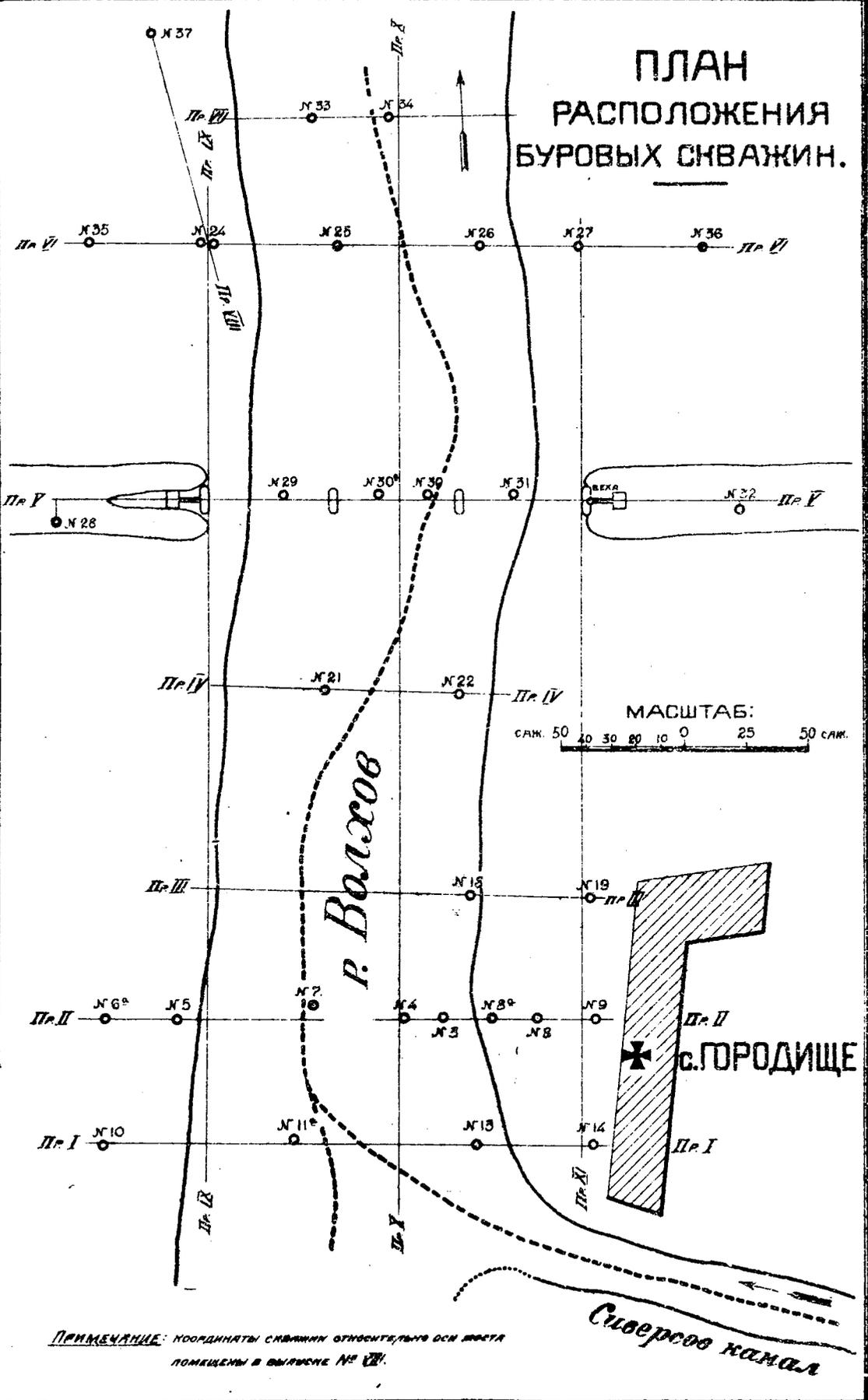
МАРТ АПРЕЛЬ МАЙ ИЮНЬ ИЮЛЬ АВГУСТ СЕНТЯБРЬ ОКТЯБРЬ НОЯБРЬ ДЕКАБРЬ ЯНВАРЬ ФЕВРАЛЬ МАРТ АПРЕЛЬ МАЙ ИЮНЬ ИЮЛЬ АВГУСТ СЕНТЯБРЬ ОКТЯБРЬ НОЯБРЬ ДЕКАБРЬ ЯНВАРЬ ФЕВРАЛЬ МАРТ АПРЕЛЬ МАЙ ИЮНЬ ИЮЛЬ АВГУСТ СЕНТЯБРЬ ОКТЯБРЬ НОЯБРЬ ДЕКАБРЬ ЯНВАРЬ ФЕВРАЛЬ МАРТ АПРЕЛЬ МАЙ ИЮНЬ ИЮЛЬ АВГУСТ СЕНТЯБРЬ ОКТЯБРЬ НОЯБРЬ ДЕКАБРЬ ЯНВАРЬ ФЕВРАЛЬ МАРТ

1920 г. (исключительно маловодный) 1921 г. (маловодный) 1922 г. (исключительно высокое осеннее половодье) 1923 г. (исключительно высокий осенний лавозок) 1924 г. (очень высокое осеннее половодье) 1925 г.





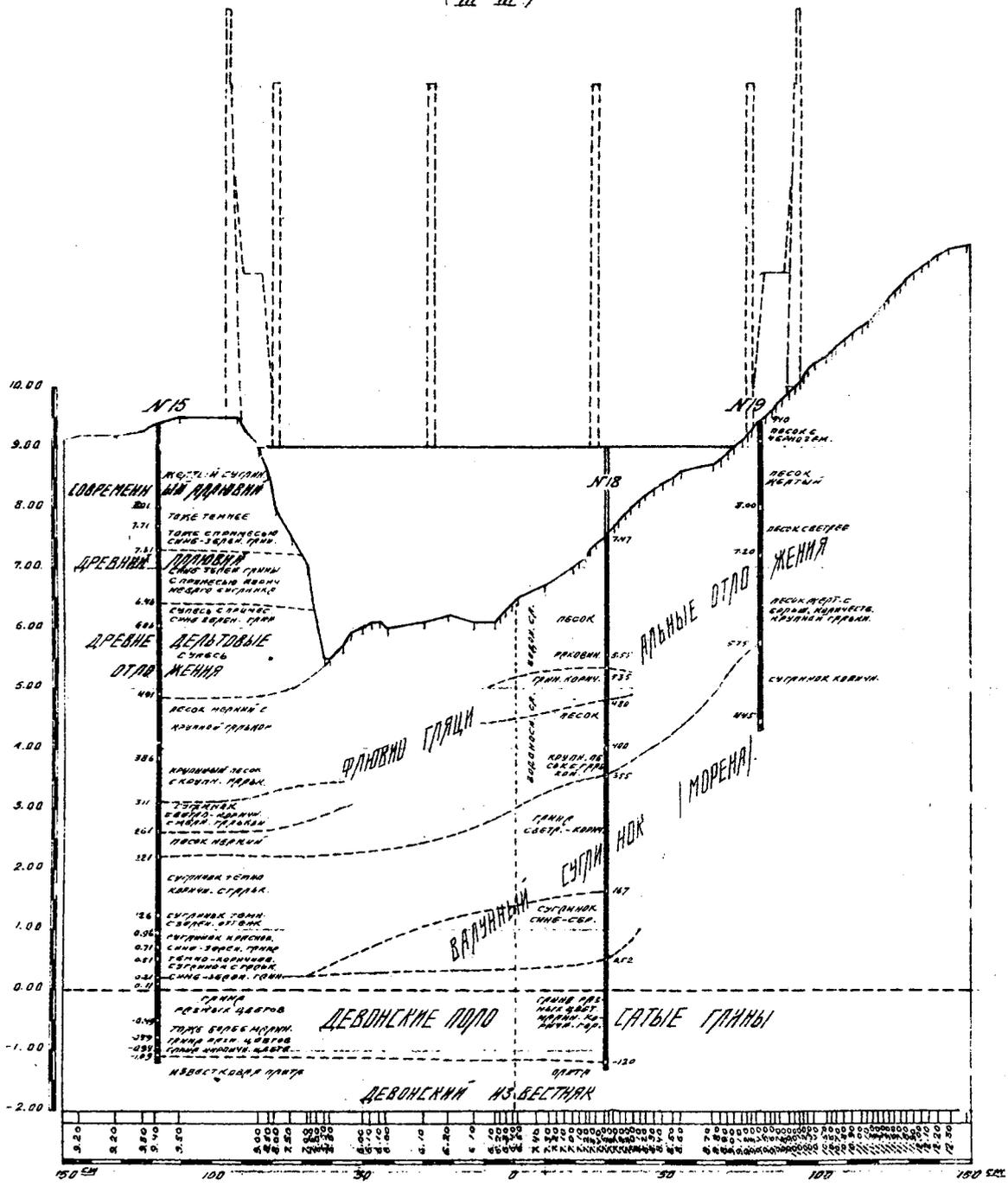
ПЛАН РАСПОЛОЖЕНИЯ БУРОВЫХ СКВАЖИН.



ПРИМЕЧАНИЕ: КООРДИНАТЫ СКВАЖИН ОТНОСИТЕЛЬНО ОСИ КАНАЛА ПОМЕЩЕНЫ В ВЫЗВОДЕ № VII.

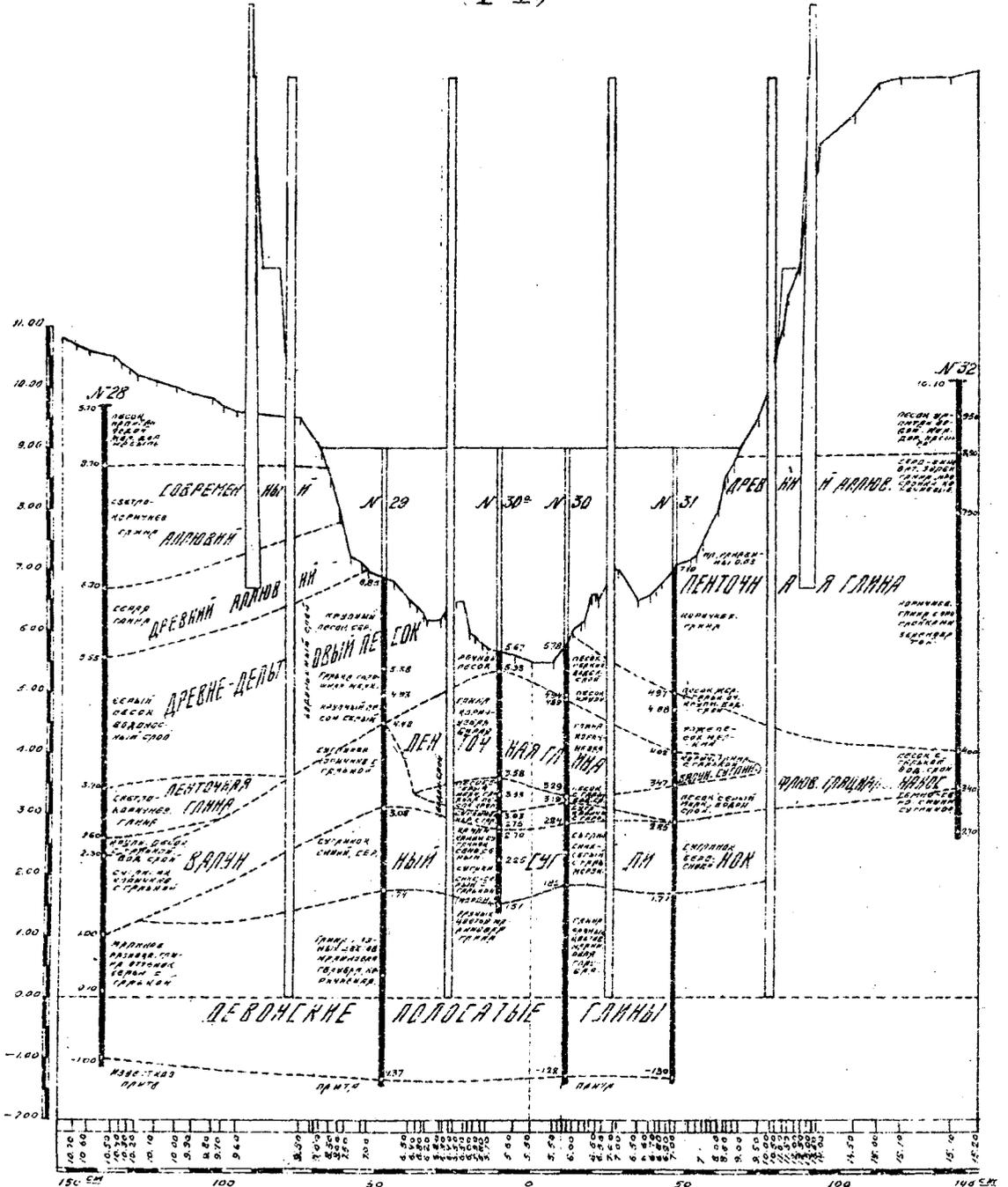
В ОЛХОВ.
МЕСТО СООРУЖЕНИЯ
РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ПЛОТИНЫ.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ
ПО ЛИНИИ ПАРALLELНОЙ ДЕМ ПОСТАНОВ.
ДОРОЖИ ЛЕНИНГРАД-БРЕД В РАСТОЯНИИ
163 м. ВЫШЕ ПО ТЕЧЕНИЮ.
(III-III)



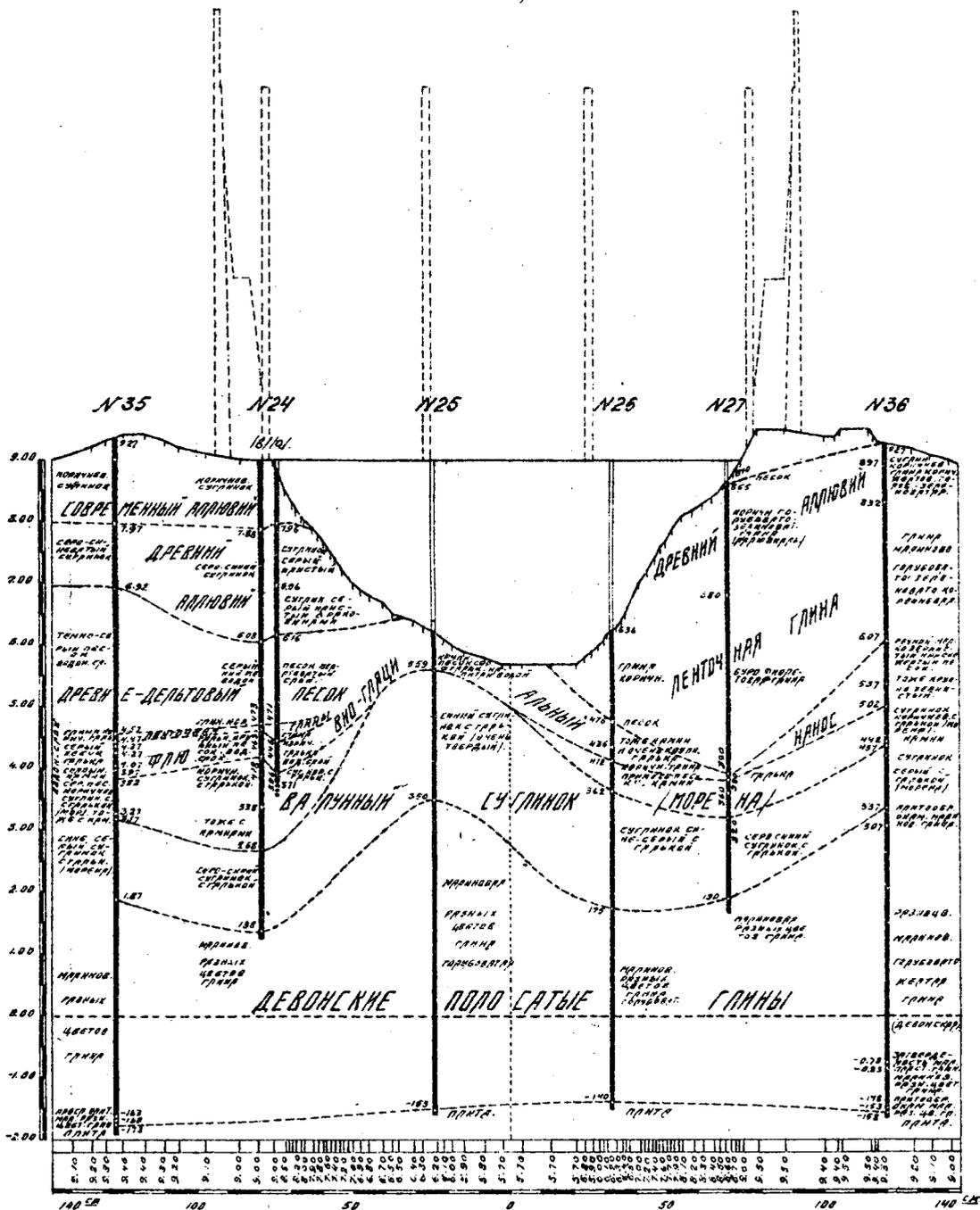
р. Волхов.
МЕСТО СООРУЖЕНИЯ
РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ПЛОТИНЫ

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ
ПО ДЕН ПЛОТИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ
ЛЕНИНГРАД-ДРЕЛ.
(У-У)



р. ВДЛХОВ.
МЕСТО СООРУЖЕНИЯ
РЕЗЕРВУАРА ПЛОТИНЫ.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ
ПО ЛИНИИ ПАРALLELНОЙ ДЕН МОСТА ЖЕЛ.
ДОРОЖИ ЛЕНИНГРАД-ДРЕЛ В РАССТОЯНИИ
100 м. НИЖЕ ПО ТЕЧЕНИЮ.
(VI-VI)



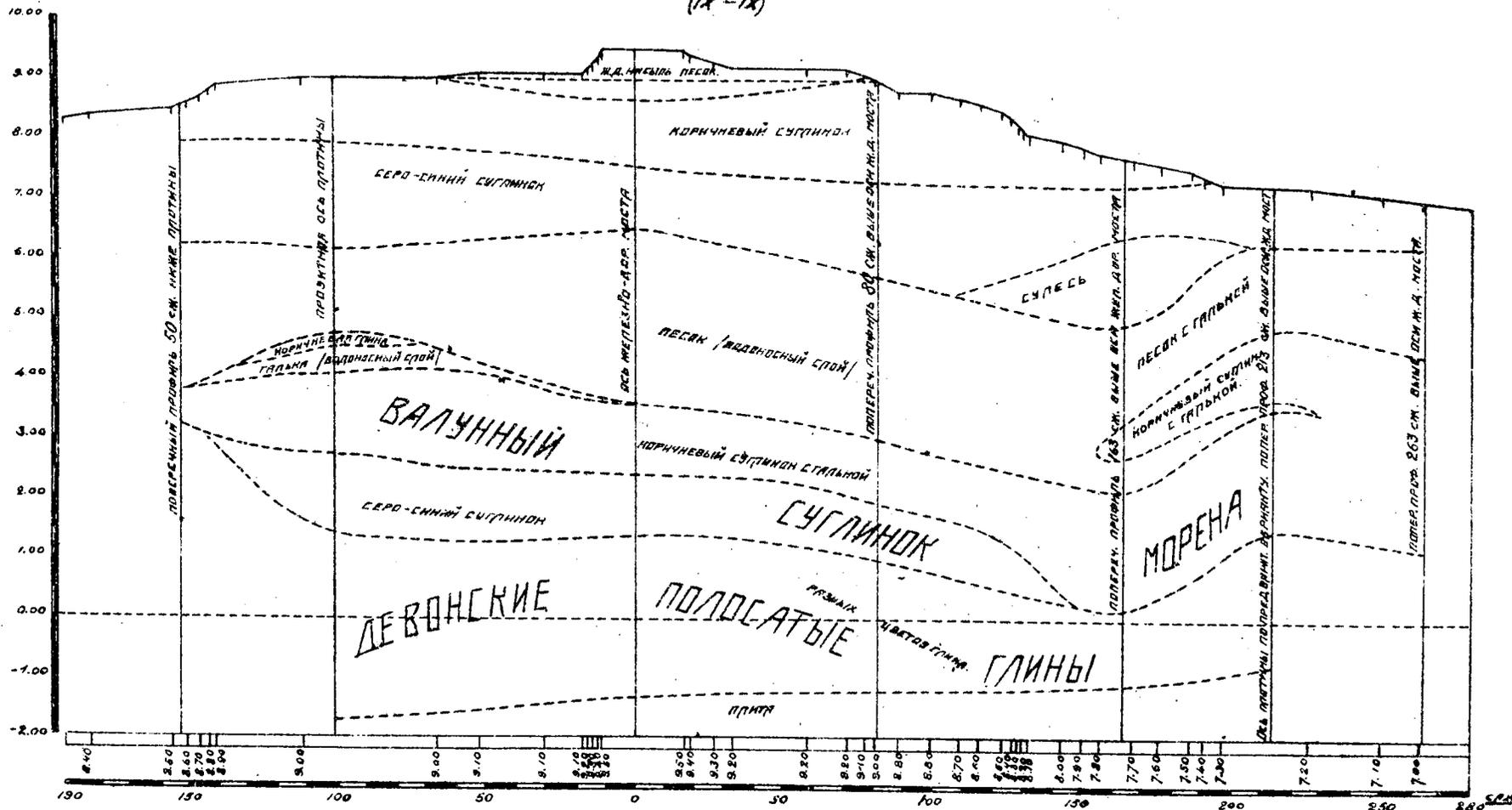
Р. ВОЛХОВА.

МЕСТО СООРУЖЕНИЯ
РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ПЛОТИНЫ

ПРОДОЛЬНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ

ПО НАПРАВЛЕНИЮ РЕЧНОЙ ГРАНИ ЛЕВОГО БЕРЕГОВОГО
БЫКА ЖЕЛЕЗНО-ДОР. МОСТА ЛИНИИ ЛЕНИНГРАД-ОРЕЛ.
(IX - IX)

НАПРАВЛЕНИЕ ТЭЧЕНИЯ
р. Волхова.

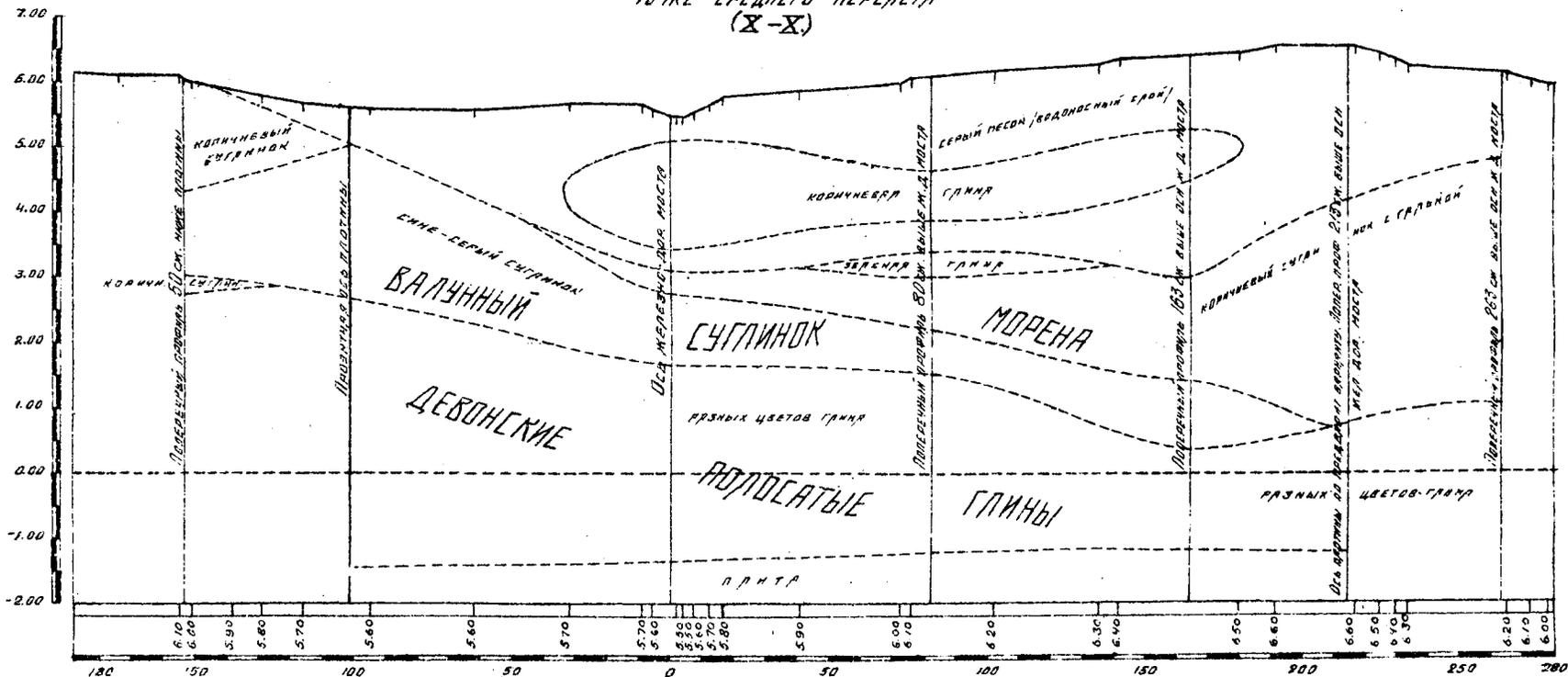


Р. ВОЛХОВ

МЕСТО СООРУЖЕНИЯ
РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ПЛОТИНЫ

НАПРАВЛЕНИЕ ТЕЧЕНИЯ
Р. ВОЛХОВА

ПРОДОЛЬНЫЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ
ПО НАПРАВЛЕНИЮ НОРМАЛЬНОМУ К ОСИ МОСТА ЧЕРЕЗ
Р. ВОЛХОВ МЕД. ДОРОГИ ЛЕНИНГРАД-ОРЕЛ В СРЕДНЕЙ
ТОЧКЕ СРЕДНЕГО ПЕРЕДЕТА
(X-X)



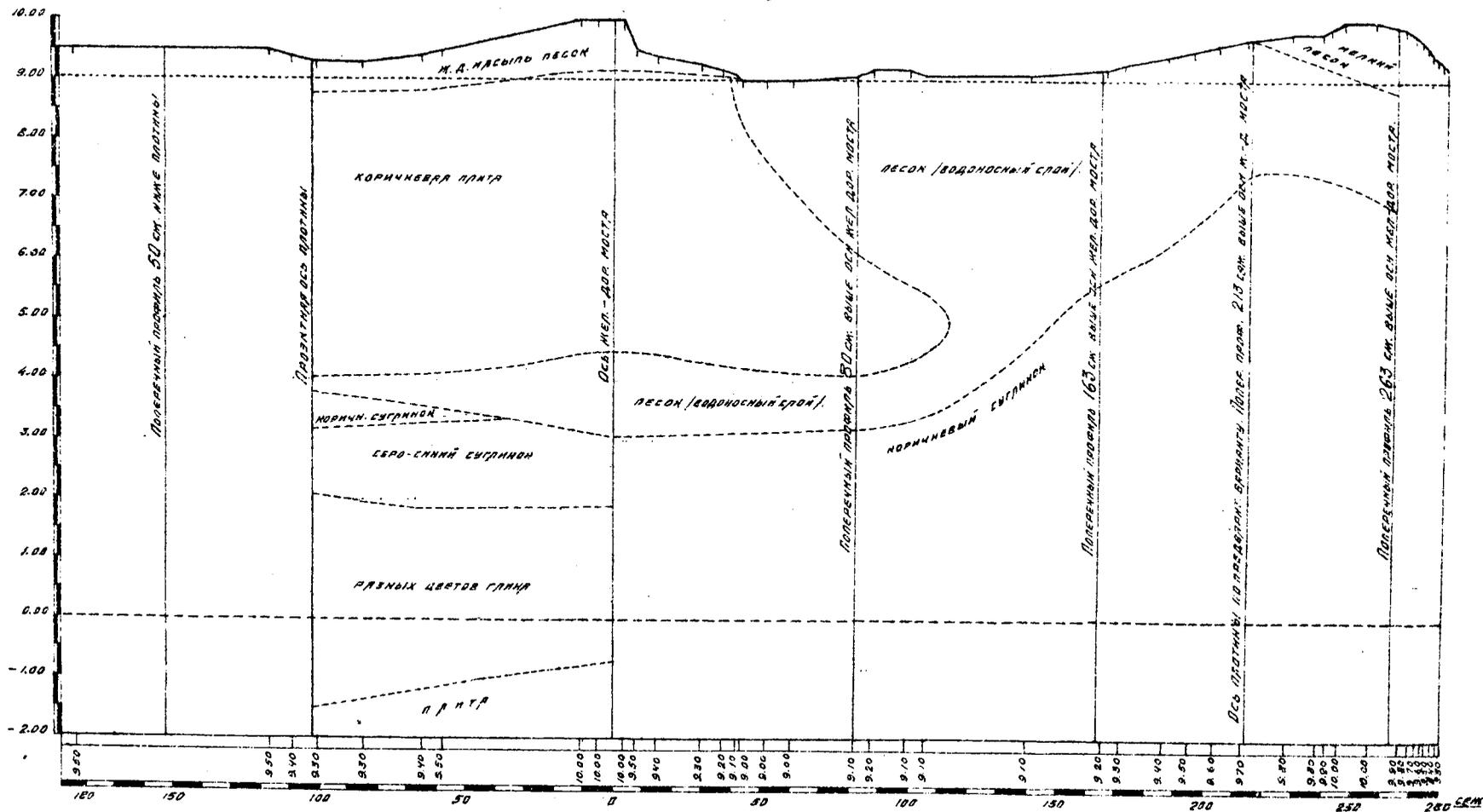
Р. ВОЛХОВ.

МЕСТО СОДРУЖЕНИЯ
РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ПЛОТИНЫ

ПРОДОЛЬНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ

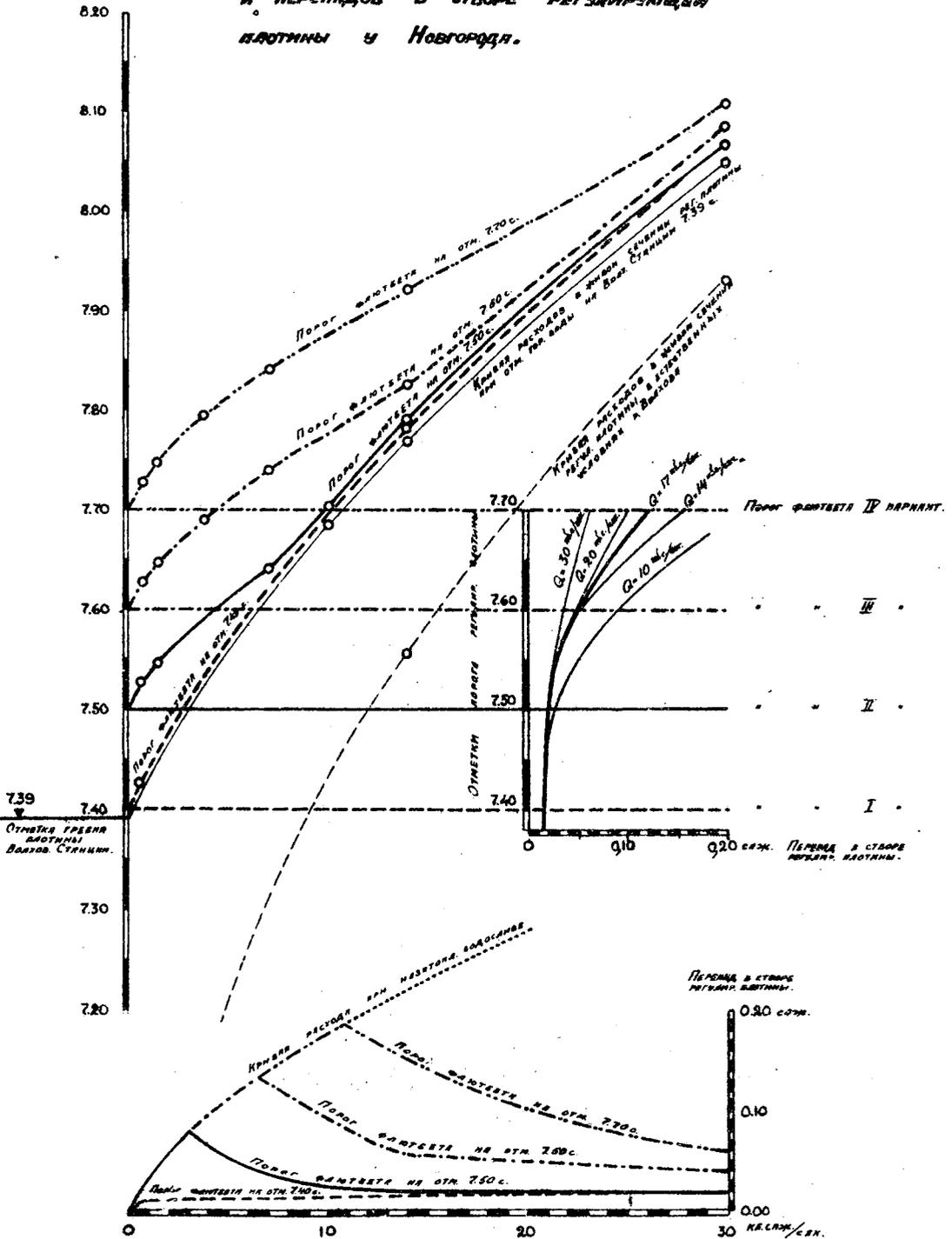
ПО НАПРАВЛЕНИЮ РЕЧНОЙ ГРАНИ ПРАВОГО БЕРЕГОВОГО
БЫКА ЖЕЛЕЗНО-ДОР. МОСТА ЛИНИИ ЛЕНИНГРАД-ОРЕД
(XI - XI)

НАПРАВЛЕНИЕ ТЕЧЕНИЯ
Р. ВОЛХОВА



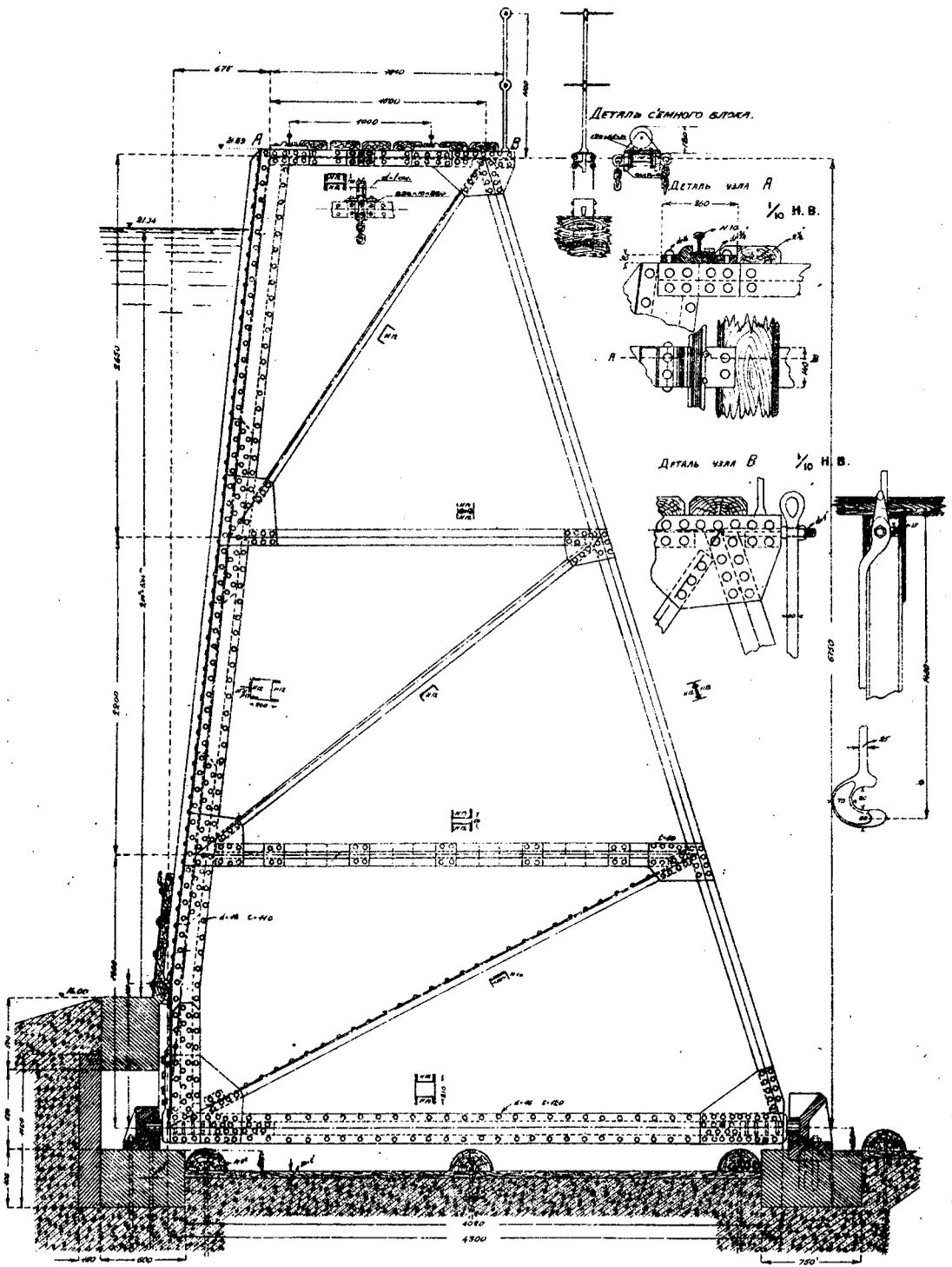
Абсолют. отметки
в саж.

**График кривых расхода
и перепадов в створе регулирующей
плотины у Новгорода.**



УПРАВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА
 ВОЛХОВСКОГО ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
 ЗАВОДА УСТАНОВКИ
 СТАЛИ УЗЕЛНИКИ
 ПРОЕКТ ГОДОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
 СТОНА Р. ВОЛХОВА
 [ПЕРВЫЙ ЭТАП]

Ферма Поара для напора в 5,34 мт = 2,30 сжм.



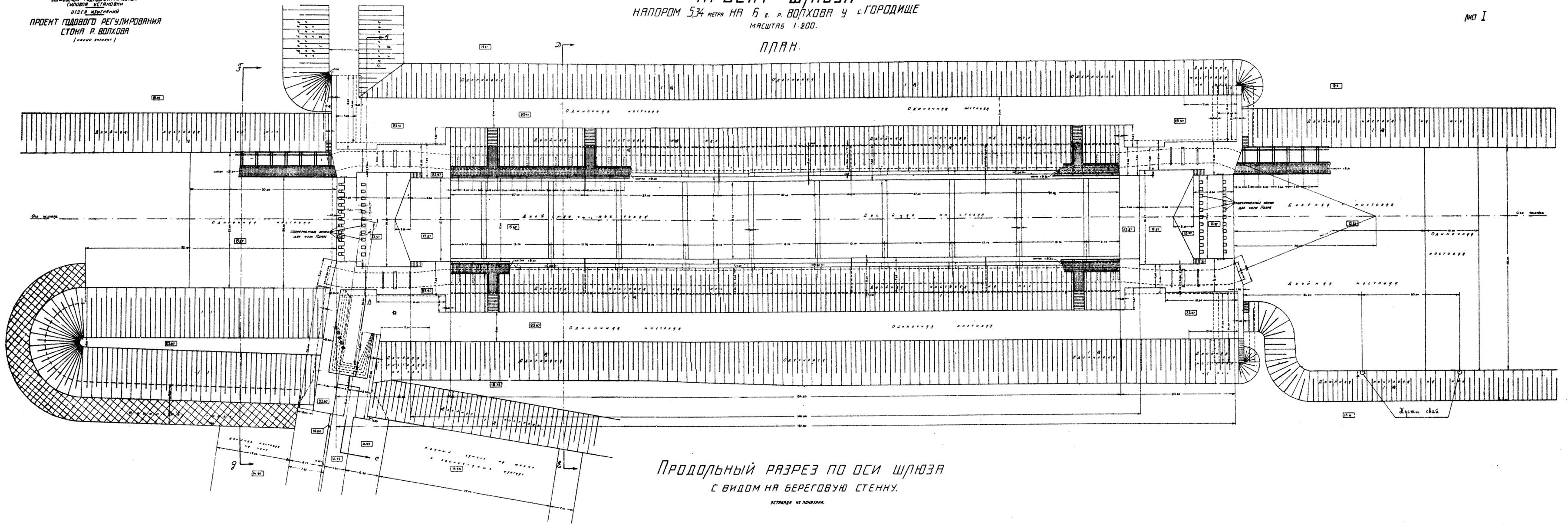
Начальник Отд. Устройства инженер *Воронов*
 Начальник Тех. Частей инженер *Степанов*

Начальник IV партии инженер *Губанов*
 Проектировщик инженер *Волков*
 Консультант инженер *С. А. А.*

УПРАВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА
ВЫСШЕГО ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО
УСТАВНОГО
ОТДЕЛА
ПРОЕКТ ГОДОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
СТОКА Р. ВОЛХОВА
(первый вариант)

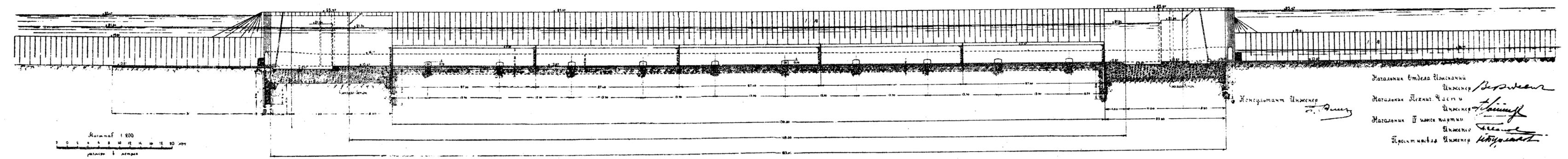
ПРОЕКТ ШЛЮЗА
НА ПОРОМ 5,34 МЕТРА НА Б. В. Р. ВОЛХОВА У С. ГОРОДИЩЕ
МАСШТАБ 1:200.

ПЛАН.



Продольный разрез по оси шлюза
с видом на береговую стенку.

УСТАВОВА НЕ ПОКАЗАН.



Масштаб 1:200
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100
МЕТРЫ

Маслохин Отдела Уставной
Инженер *Васильев*
Маслохин Технич. Част. и
Инженер *Савицкий*
Маслохин II Инжа. парт. и
Инженер *Королев*
Проектировщик Инженер *Королев*

УПРАВЛЕНИЕ СТОИТЕЛЬНОСТИ
ВНЕШНИЙ ТИПОПРОЕКТИРОВАНИЕ
С ИЗОБРЕТЕНИЯМИ
ОТДЕЛ ИЗМЕНЕНИЙ
ПРОЕКТ ГОДОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
СТОЯ Р. ВОЛХОВА
(новый вариант)

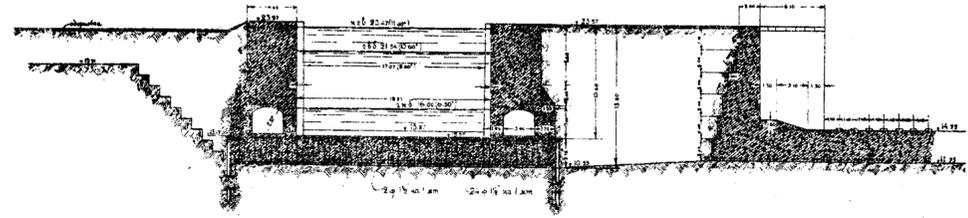
ПРОЕКТ ШЛЮЗА

НАПОРОВ 5,34 МЕТРА НА 6 В. Р. ВОЛХОВА У с. ГОРОДИЩЕ.

ПОПЕРЕЧНЫЕ РАЗРЕЗЫ

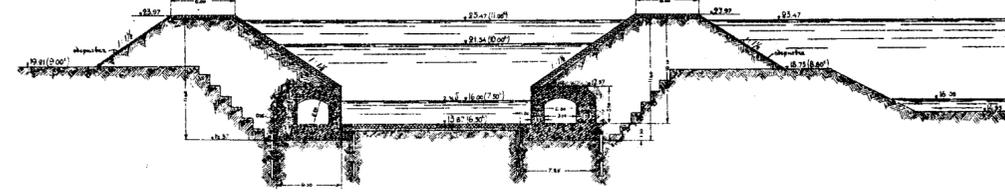
МАСШТАБ 1:200

В ВЕРХНЕЙ ГОЛОВЕ ПО А-В-Е



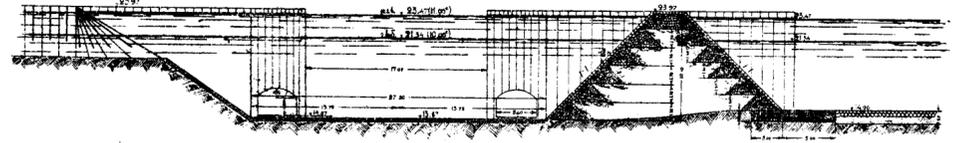
В НАМЕРЕ ПО Д-Е

ЗСТАНДА НЕ ПОКАЗАНА



В ВЕРХНЕМ ПОДХОДНОМ НАНАЛЕ ПО F-G

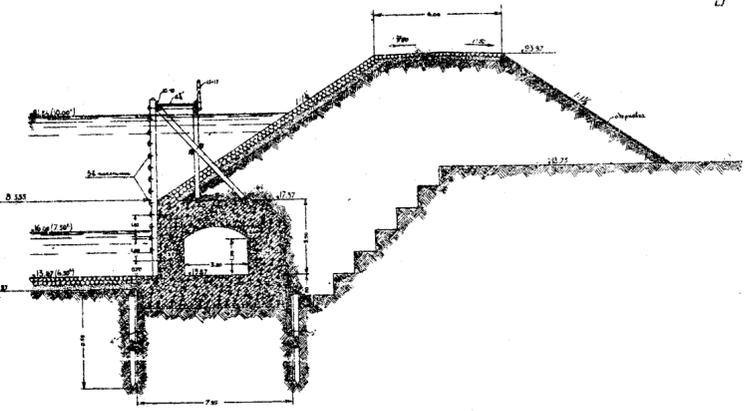
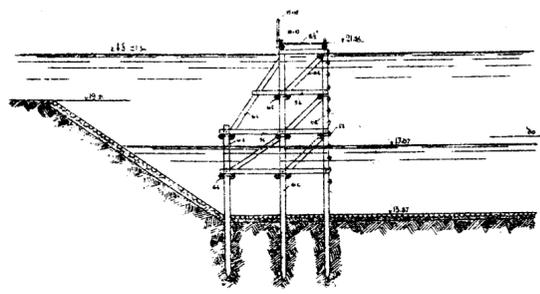
ЗСТАНДА НЕ ПОКАЗАНА



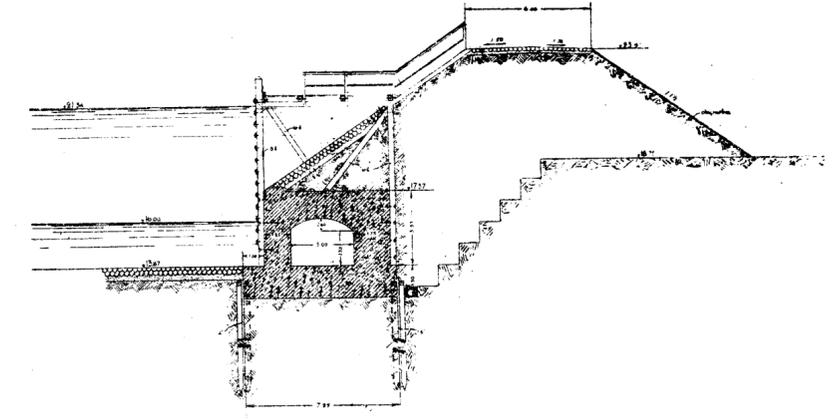
ПОПЕРЕЧНЫЕ РАЗРЕЗЫ ЗСТАНД.

МАСШТАБ 1:100

В ПОДХОДНЫХ НАНАЛАХ.



В НАМЕРЕ.

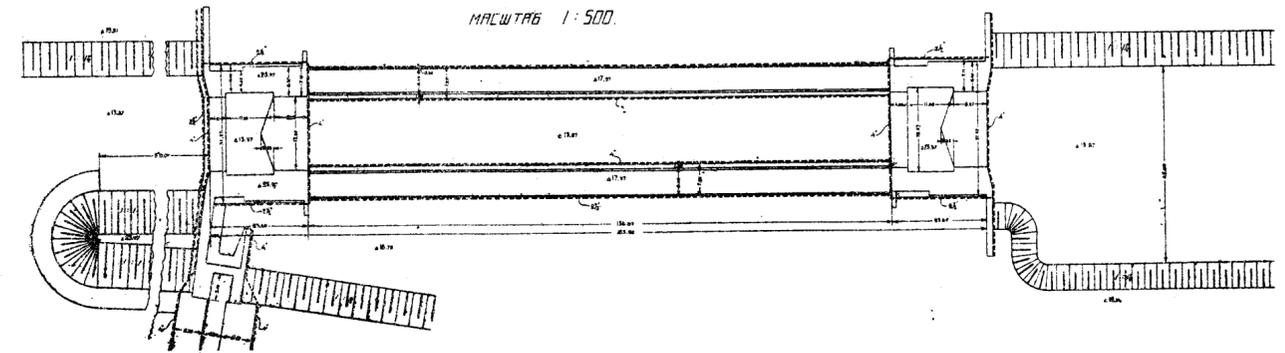


ПЛАН ШЛЮЗА

С ПОКАЗАНИЕМ РАСПОЛОЖЕНИЯ ШПУНТОВЫХ РЯДОВ.

ЗЕМЛЯНАЯ ЗЕМЛЯ НЕ ПОКАЗАНА

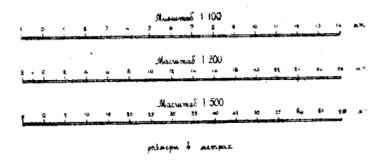
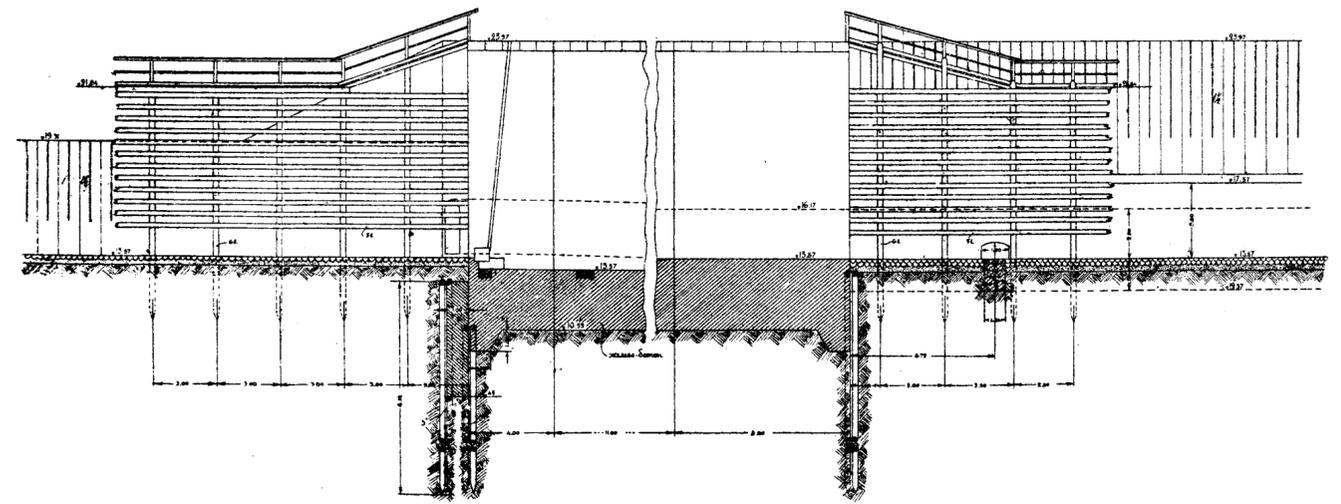
МАСШТАБ 1:500



ПРОДОЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ ПО ОСИ ШЛЮЗА

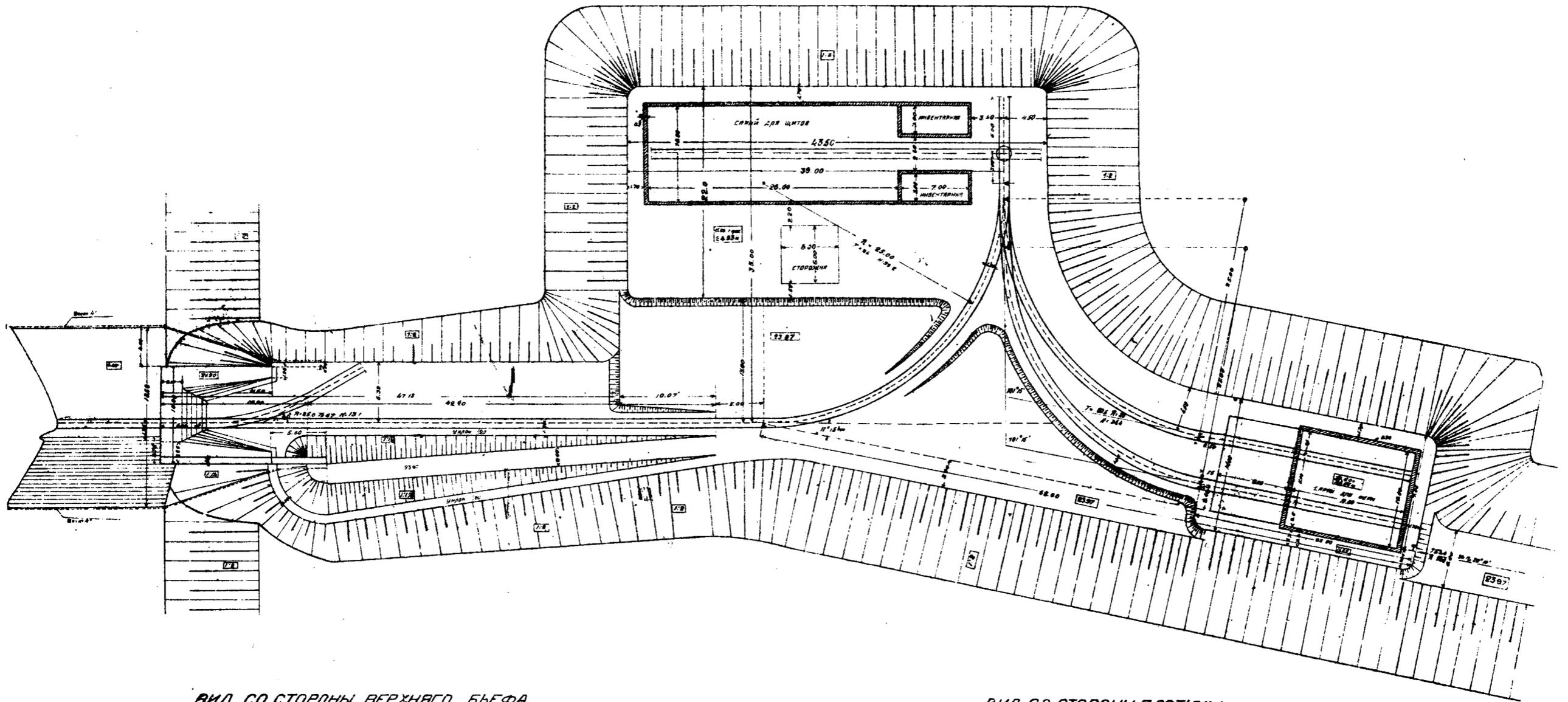
С ВИДОМ НА БЕРЕГОВУЮ СТЕНКУ.

МАСШТАБ 1:100



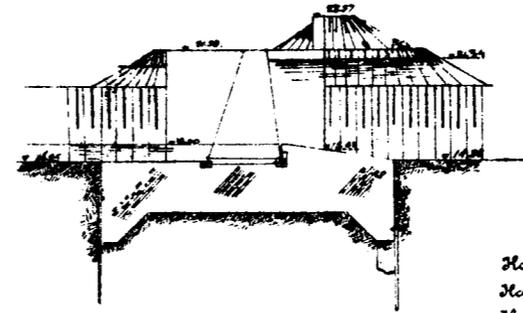
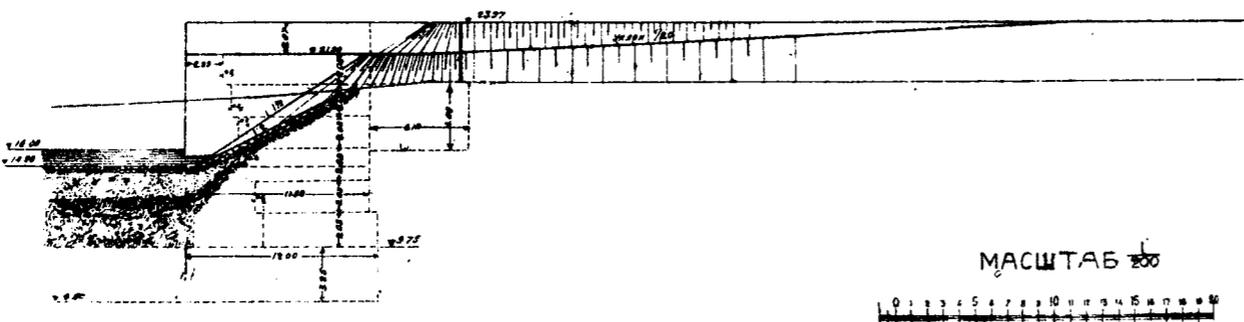
Начальник Отдела Умисковий Инженер *В. Сидоренко*
Начальник Механической Части Инженер *Г. Сидоренко*
Инженер *В. Сидоренко*
Начальник Инженерной Части Инженер *В. Сидоренко*
Проектировал Инженер *К. Сидоренко*

ПРОЕКТ УСТОЯ БЕЗ НИШИ
И ПЛОЩАДКИ ДЛЯ СЛУЖЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ
ПЛОТИНЫ ПОЯРЕ НА 6^{ой} ВР ВОЛХОВА
ПЛАН.

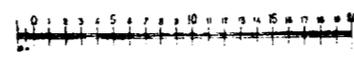


ВИД СО СТОРОНЫ ВЕРХНЕГО БЪЕФА

ВИД СО СТОРОНЫ ПЛОТИНЫ

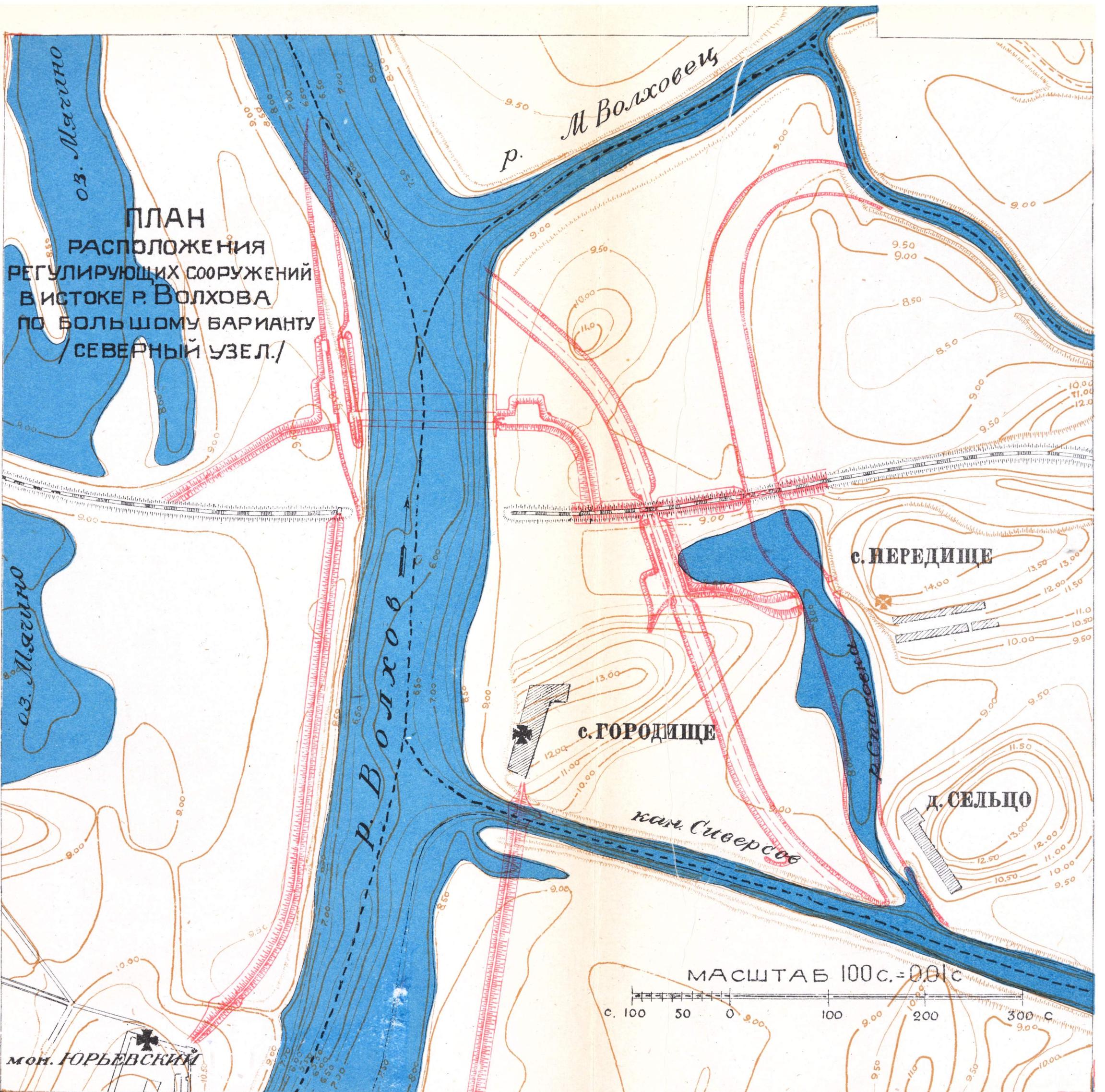


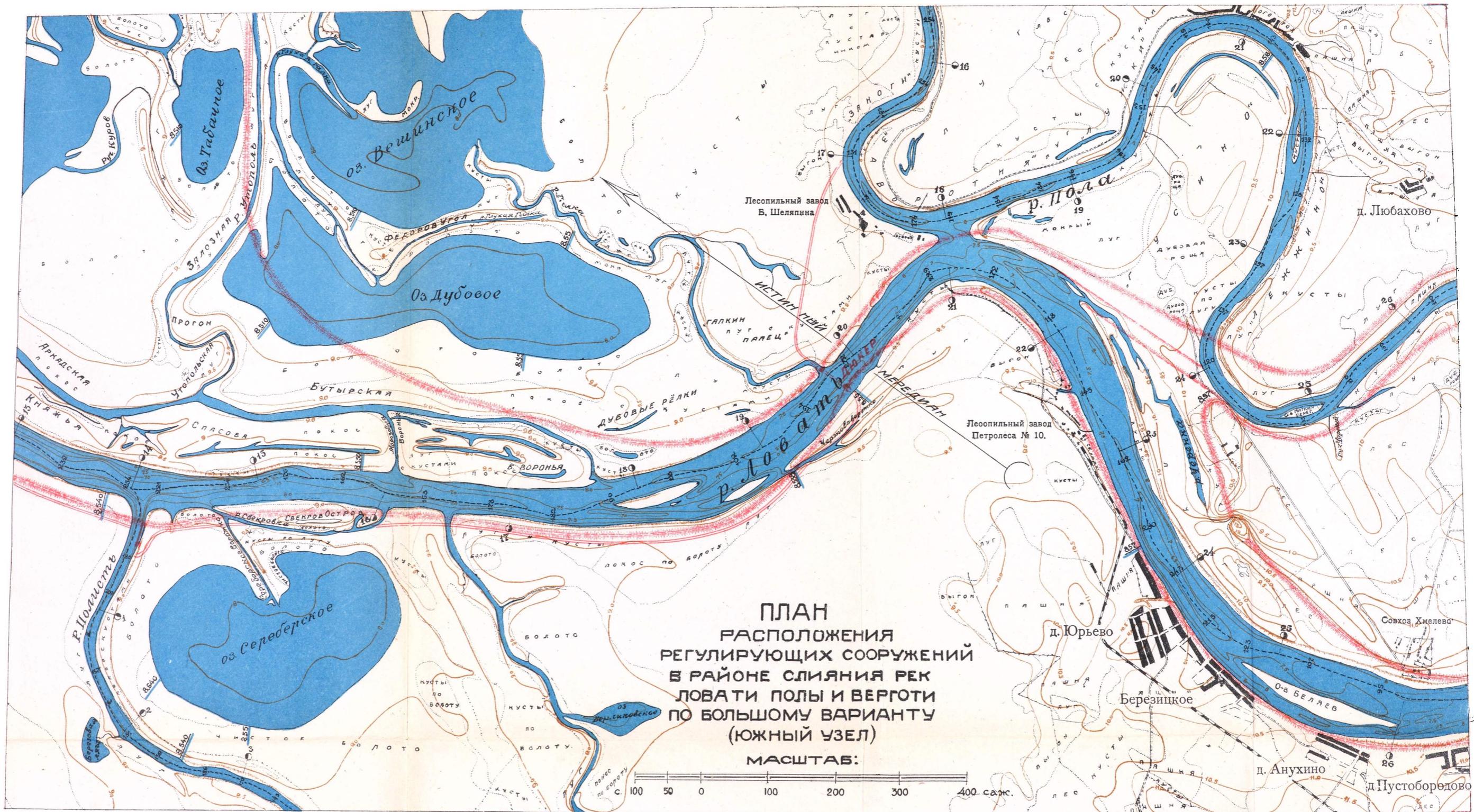
МАСШТАБ 1:500



Начальник Отдела Череповецкой ГЭС: *В. В. Виноградов*
 Начальник Пески Части: *Г. С. Сидоров*
 Начальник IV-ой партии: *А. А. Александров*
 Проектировал Инженер: *С. П. Попов*

Консультант Инженер: *С. П. Попов*





**ПЛАН
РАСПОЛОЖЕНИЯ
РЕГУЛИРУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ
В РАЙОНЕ СЛИЯНИЯ РЕК
ЛОВАТИ ПОЛЫ И ВЕРГОТИ
ПО БОЛЬШОМУ ВАРИАНТУ
(ЮЖНЫЙ УЗЕЛ)**

МАСШТАБ:
0 100 200 300 400 саж.

ГРАФИК РЕЖИМА СТОКА РЕКИ ВОЛХОВА

В УСЛОВИЯХ ГОДОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПО БОЛЬШОМУ ВАРИАНТУ

Условные обозначения

I. К. ГРАФИКИ СТОКА

- Интегральная кривая притока в оз. Мамыно.
- Загрузка притока в оз. Мамыно.
- Уровень воды при естественном режиме.

II. К. ГРАФИКИ УРОВНЕЙ

- Уровень воды при регулировании излучения в оз. Мамыно.
- Уровень воды при естественном режиме.
- Уровень воды при регулировании излучения в оз. Мамыно.
- Уровень воды при регулировании излучения в оз. Мамыно.

III. К. ГРАФИКИ РАСХОДА ВОДЫ

- Расход при естественном режиме.
- Регулирование.

IV. СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ УПАТЯМИ И ДРОМЕРИМИ

- Поднятые шлюзы (скачки воды).
- Шлюзы.
- Частично открытые шлюзы.
- Шлюзы.
- Шлюзы.



Ивановская плотина
в створе Волхова
Дроммер в створе Волхова

1920 (исключительно высокие половодья)

1921 (магалоизлияние)

1922 (исключительно высокие половодья)

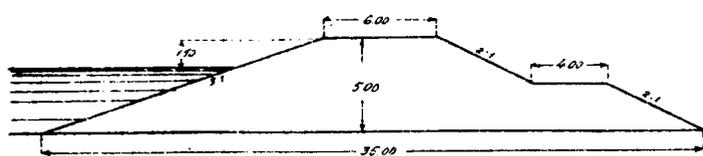
1923 (исключительно высокие половодья)

1924 (высокие половодья)

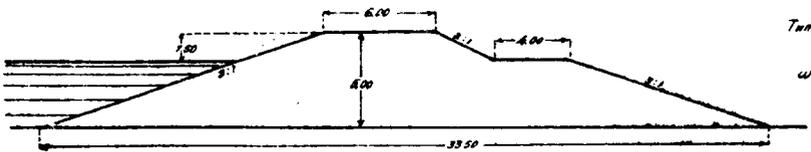
1925

ТИПОВЫЕ ПРОФИЛИ ОГРАЖДАЮЩИХ ВАЛОВ

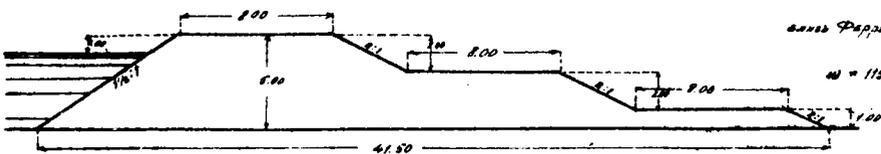
1/250 НАТУР. ВЕЛИЧ.



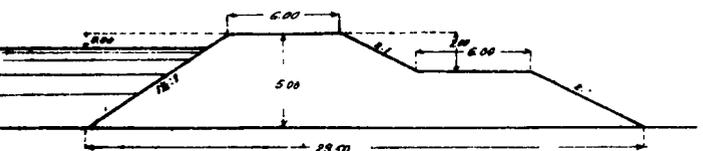
I.
р. ТИССА.
Тип 1838 года.
 $W = 103.7$ кв. метр.



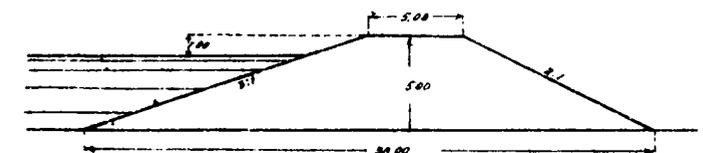
II.
р. ТИССА.
Тип 1895 года.
 $W = 113.9$ кв. метр.



III.
р. ПО.
близь Феррары
 $W = 115.7$ кв. метр.



IV.
р. ПО
близь Павии
 $W = 97.7$ кв. метр.



V.
р. РЕЙН (НИЖНИЙ)
Голландия
 $W = 87.5$ кв. метр.

ТИПОВЫЕ ПРОФИЛИ ДАМБ.

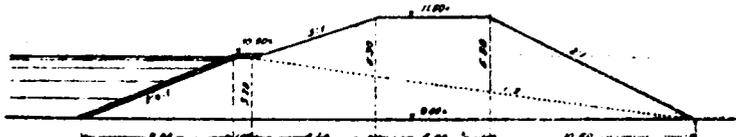
в пойме оз. Ильмень.

(Размеры в метрах)

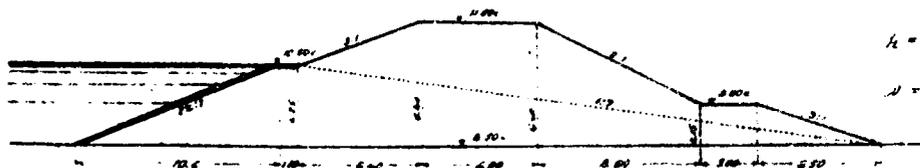
1/250 НАТ. ВЕЛ.



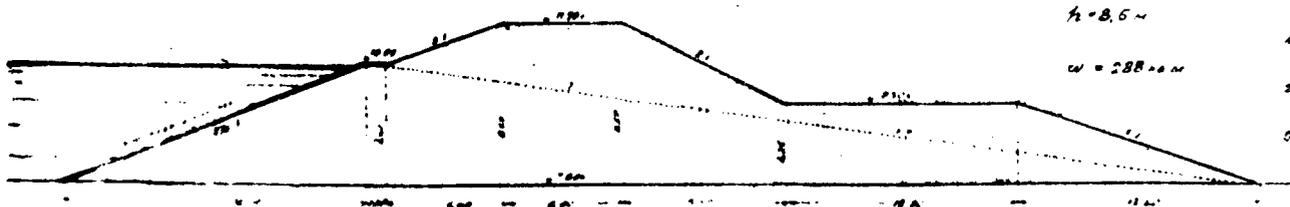
$h = 3.20$ метр
 $W = 45.5$ кв. метр.



$h = 5.3$ м
 $W = 103$ кв. м.



$h = 6.4$ м
 $W = 149$ кв. м.

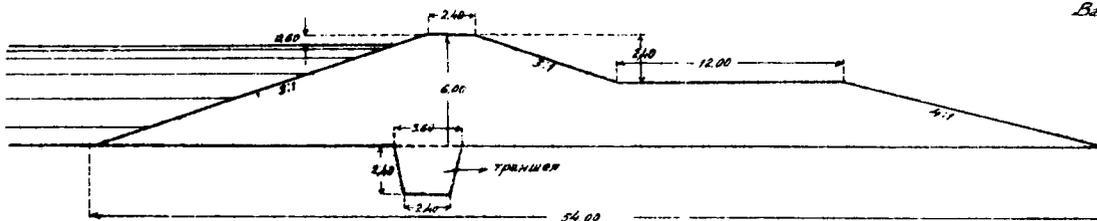


$h = 8.5$ м
 $W = 288$ кв. м.

VI.

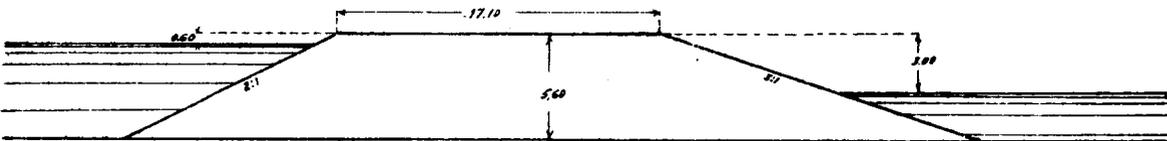
Вал на р. МИССИССИПИ

$W = 172$ кв. м.

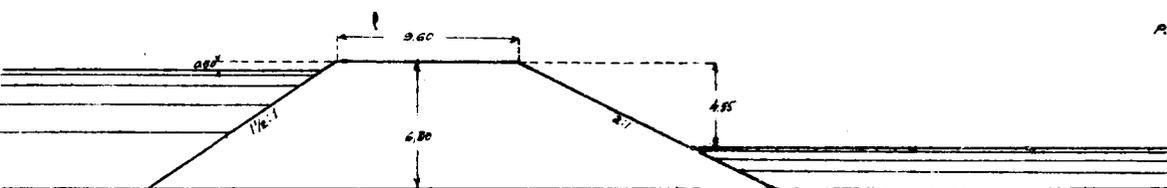


ТИПОВЫЕ ПРОФИЛИ СОПРЯГАЮЩИХ ДАМБ ПЛОТИН ПОДРЕ.

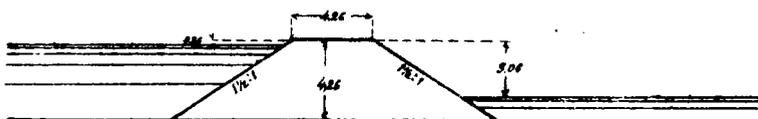
1/250 НАТУР. ВЕЛИЧ.



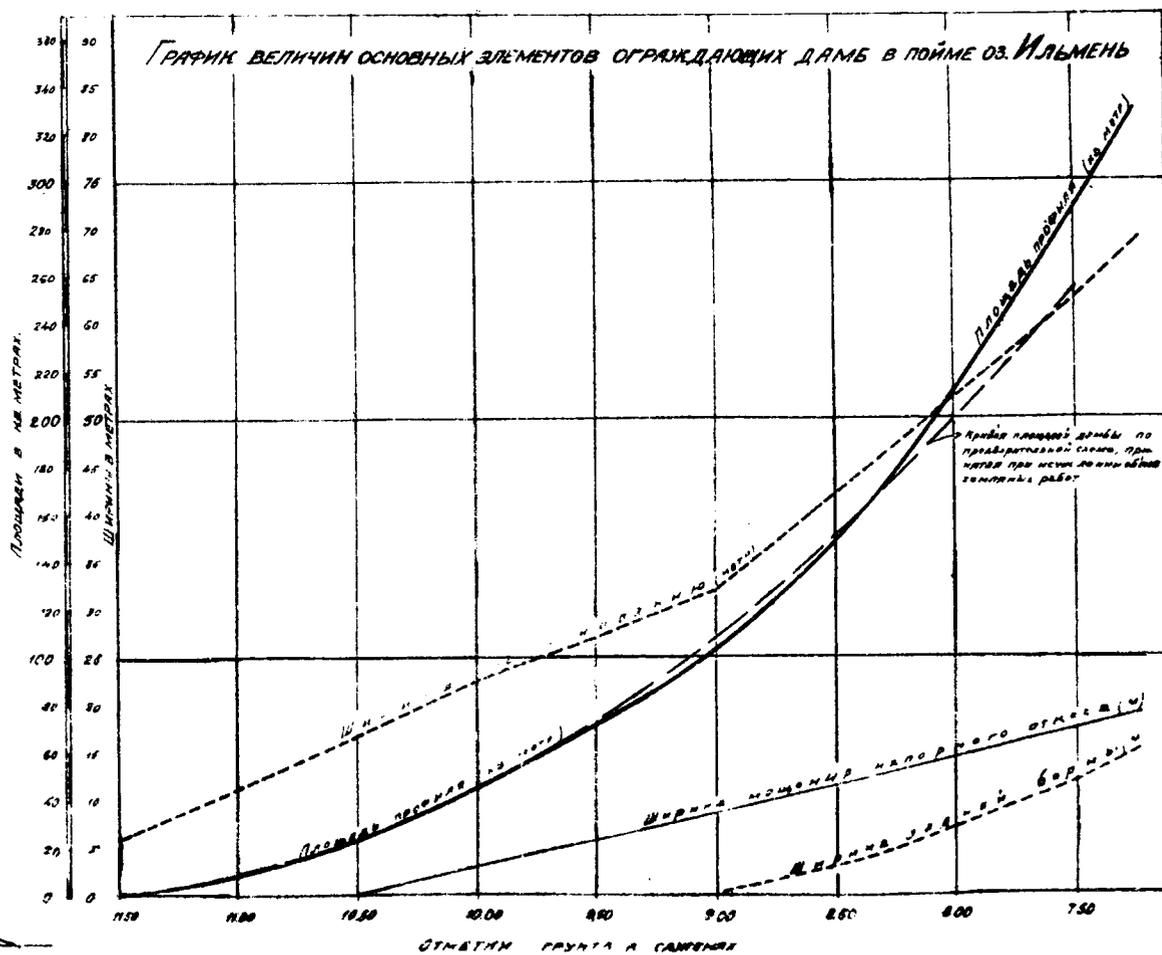
I
р. ШЕКМА.
1896 г.



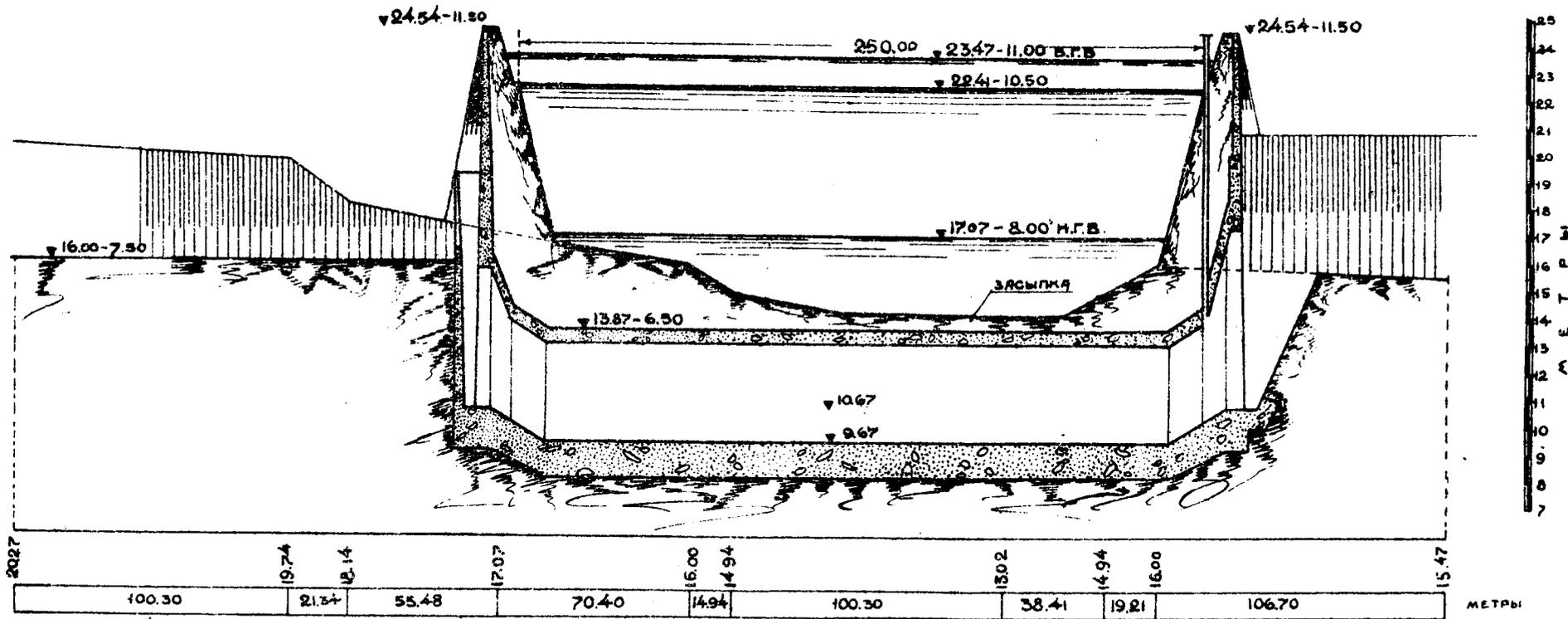
II
р. СЕВЕРНЫЙ ДОНЕЦ.
1914 г.



III.
р. МОСКВА
1877 г.



ПРОДОЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ ДЮККЕРА ПО ОДНОЙ ИЗ ТРУБ.



МАСШТАБЫ: ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ $\frac{1}{2000}$
 ВЕРТИКАЛЬНЫЙ $\frac{1}{200}$

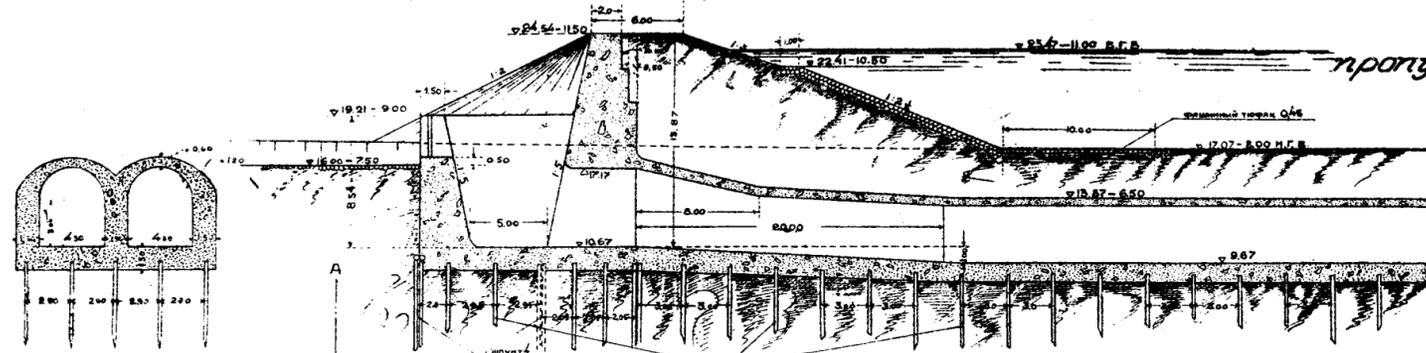
ЭСКИЗНЫЙ ПРОЕКТ ДЮККЕРА

ДЛЯ Р.ПОЛИСТИ (ПОД Р.ЛОВАТЮ)

пропускной способностью в 100 м³/сек.

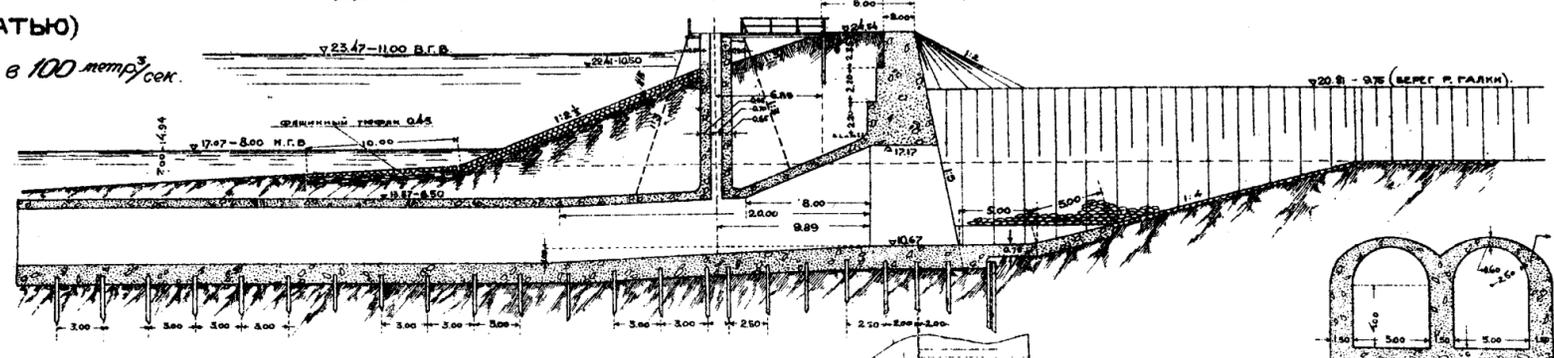
МАСШТАБ 200

ПРОДОЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ ВХОДНОЙ ГОЛОВЫ ПО ОСИ ОДНОЙ ИЗ ТРУБ.



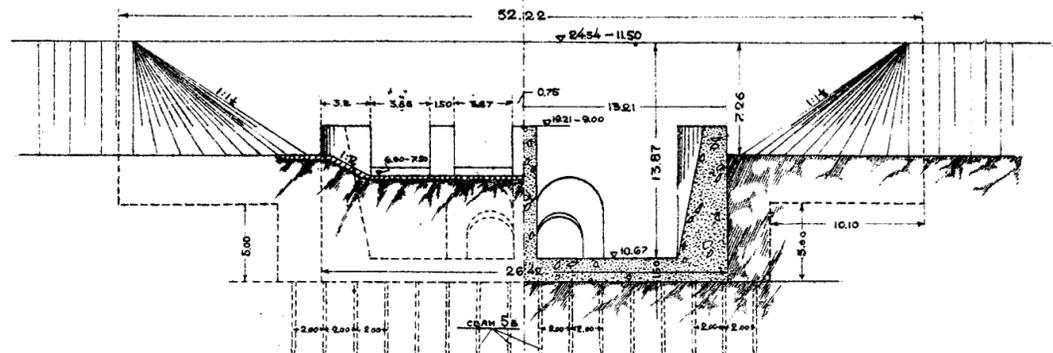
ПЛАН ВХОДНОЙ ГОЛОВЫ

ПРОДОЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ ВЫХОДНОЙ ГОЛОВЫ ПО ОСИ ОДНОЙ ИЗ ТРУБ.

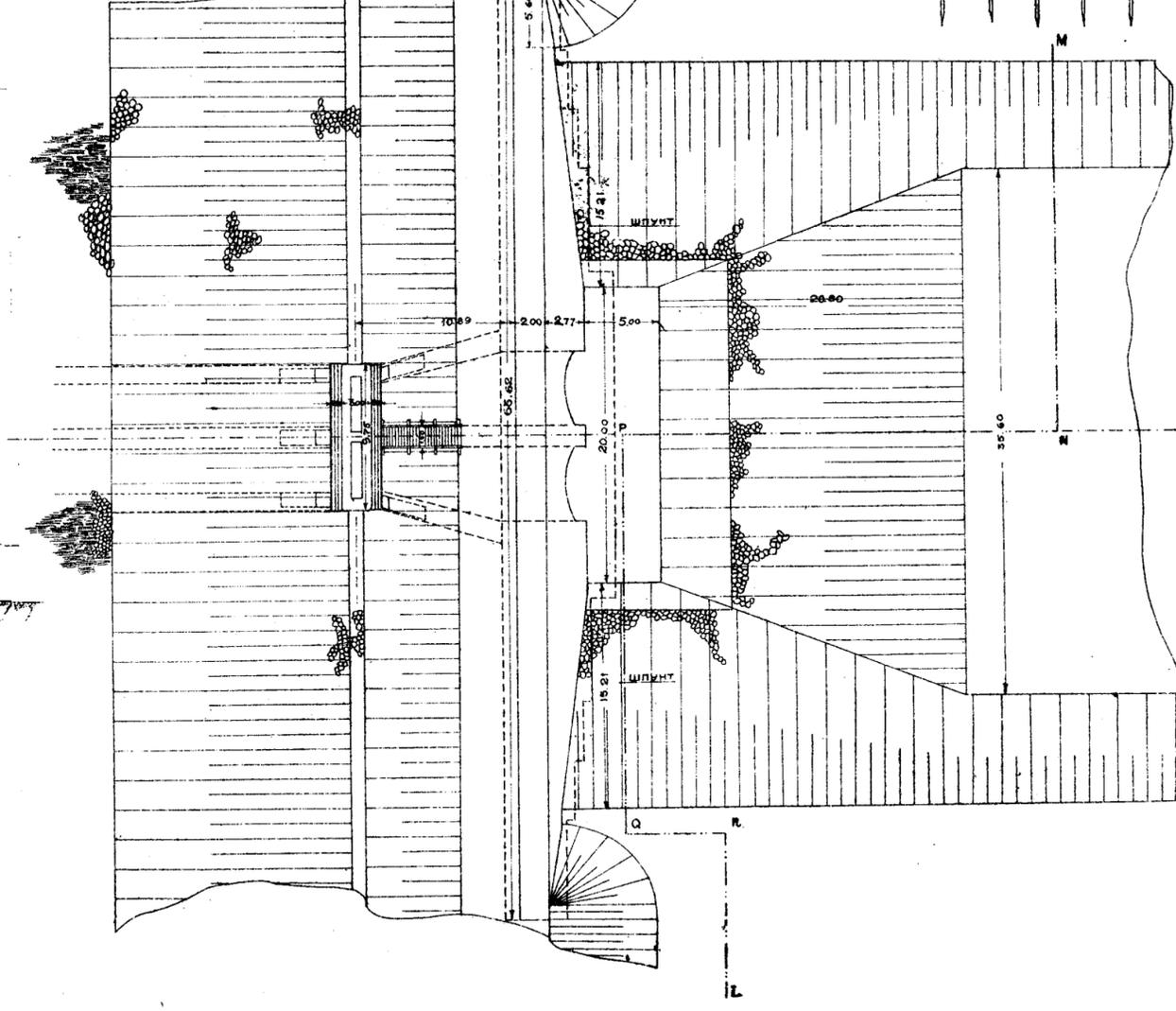
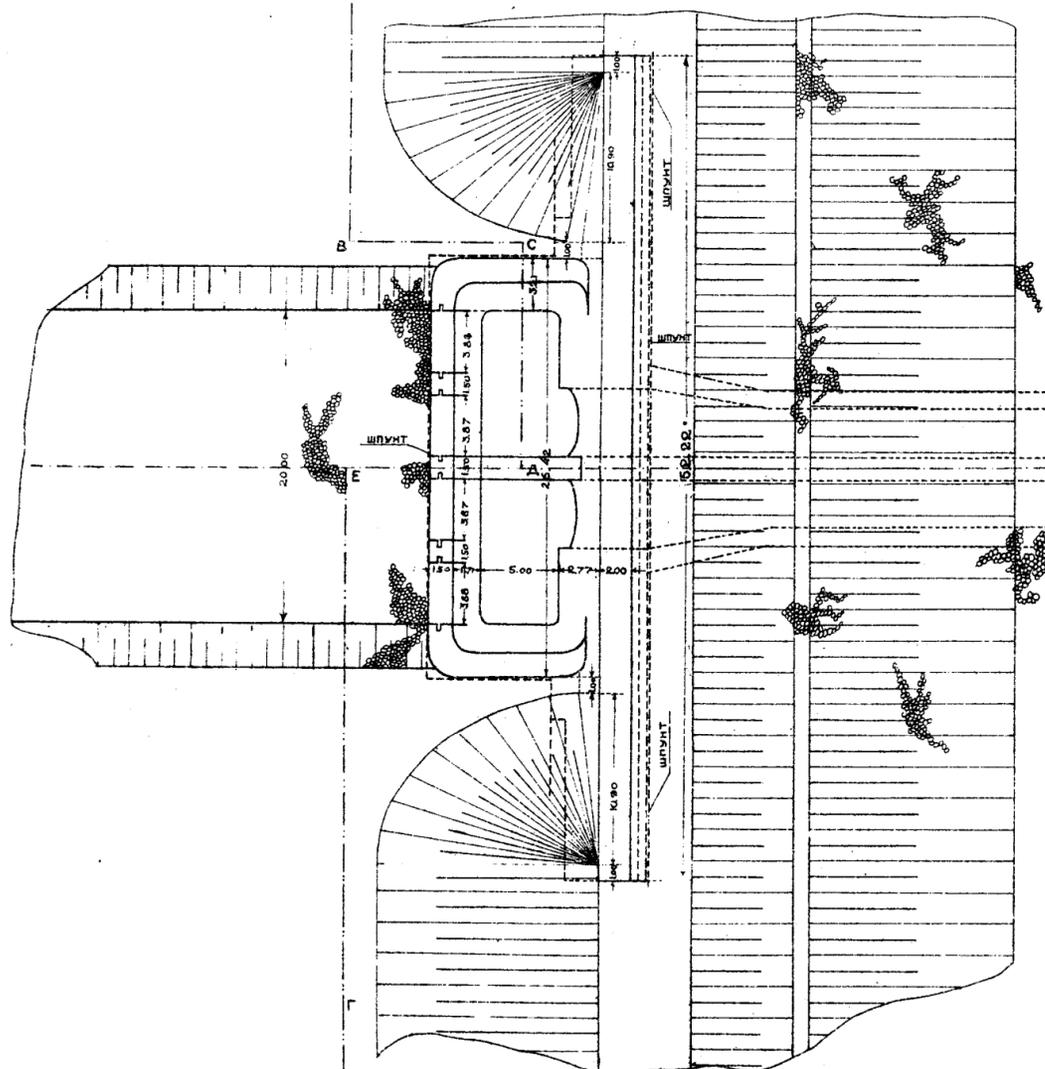
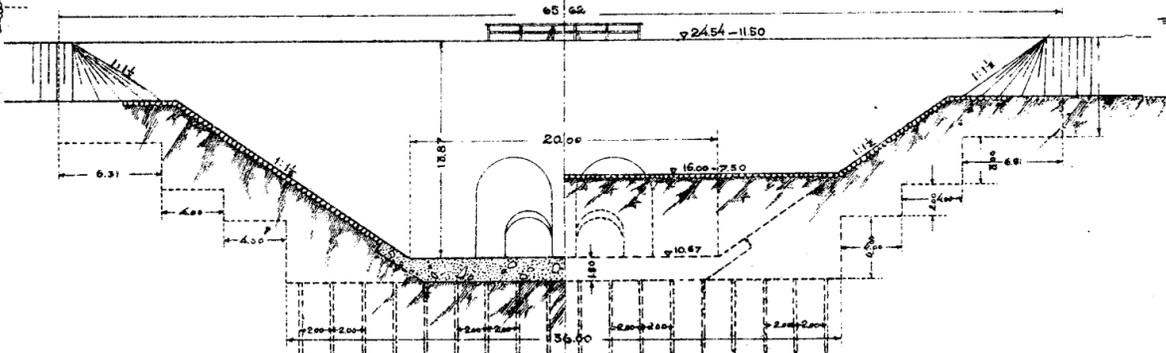


ПЛАН ВЫХОДНОЙ ГОЛОВЫ

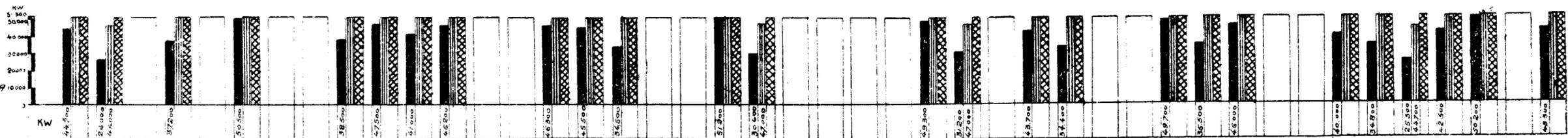
ПОПЕРЕЧНЫЙ РАЗРЕЗ ПО ГЕДСВА.



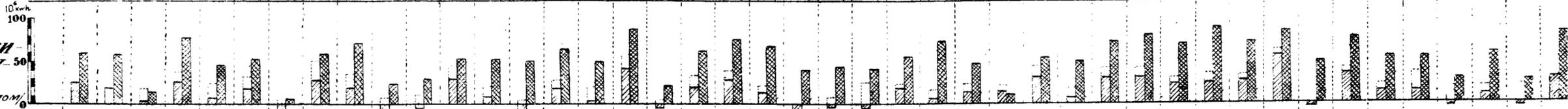
ПОПЕРЕЧНЫЙ РАЗРЕЗ ПО L R Q P N M.



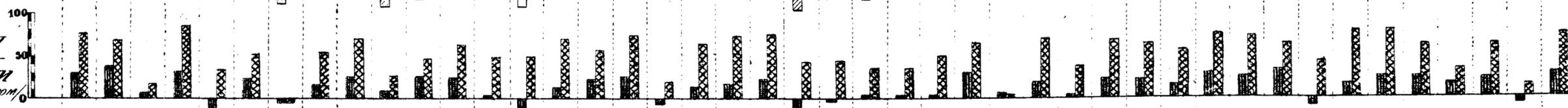
МОЩНОСТЬ
 В ЧАСЫ МАКСИМУМА НАГРУЗКИ
 (по графику 1929г.) в самый мало-
 водный зимний месяц при исполь-
 зовании суточного регулирования



**ПРИРАЩЕНИЕ ГОДОВОГО КОЛИ-
 ЧЕСТВА ЭНЕРГИИ ПРИ РЕГУ-
 ЛИРОВАНИИ**
 /по сравнению с естественн. режимом/



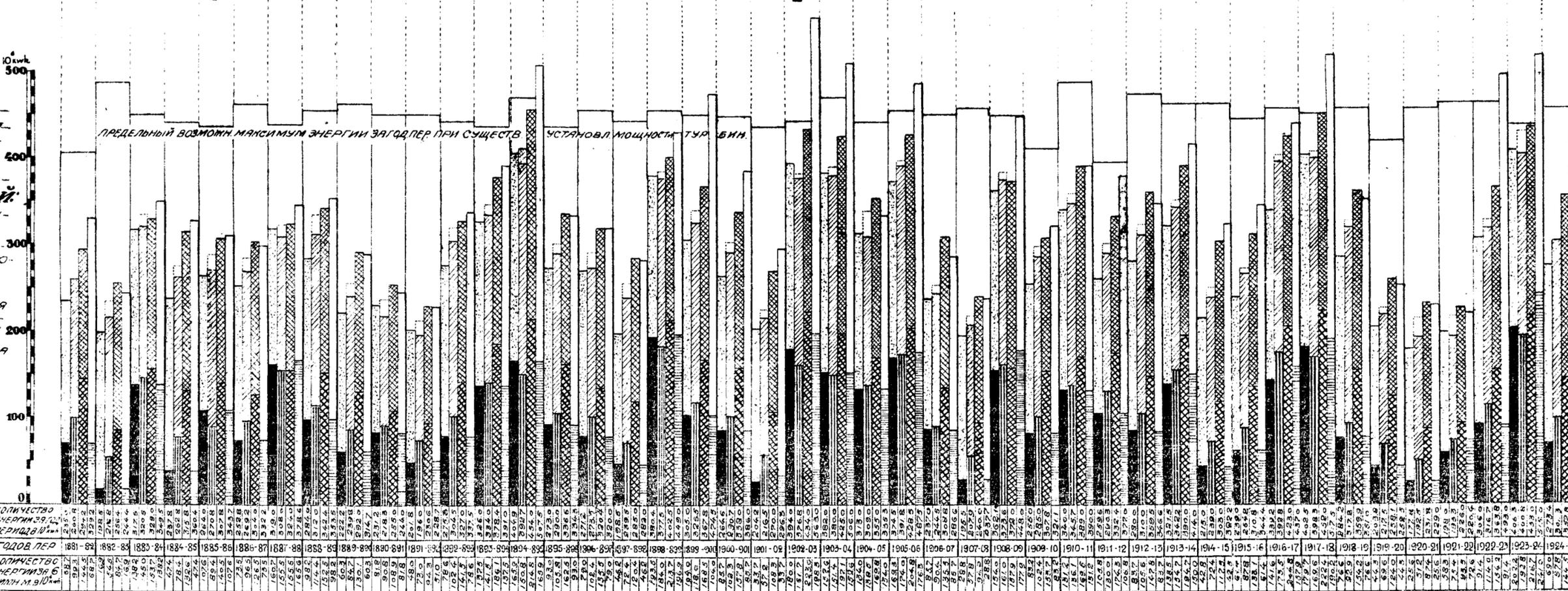
**ПРИРАЩЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА
 ЭНЕРГИИ ЗА 6 ЗИМНИХ МЕ-
 СЯЦЕВ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ**
 /по сравнению с естественным зимн. режимом/



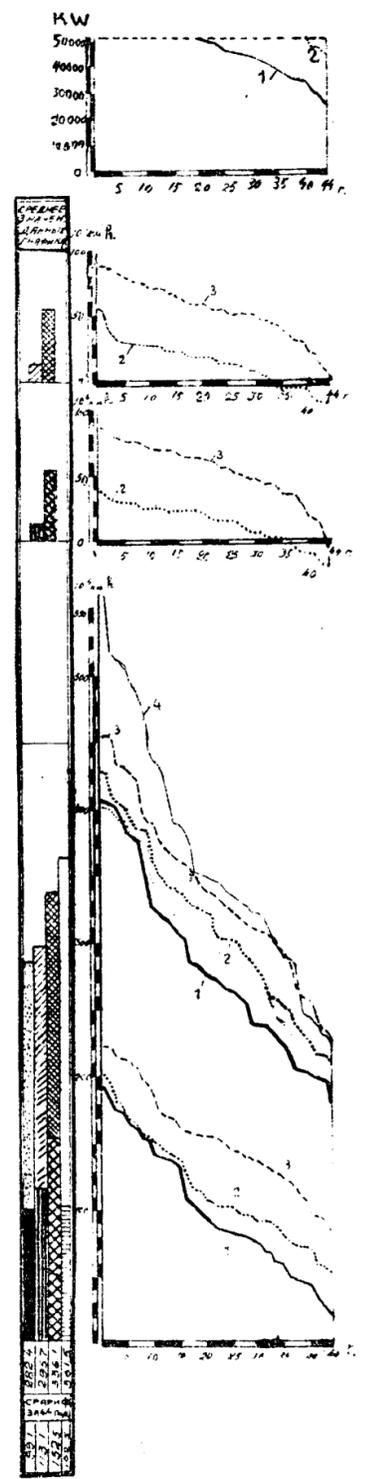
**СВОДНЫЙ ГРАФИК КОЛИ-
 ЧЕСТВА ЭНЕРГИИ ВОЛХОВ-
 ской Гидро-электри-
 ческой установки за
 годовой период и за
 6 зимних месяцев, мо-
 гущая быть полученной:**

- 1 при существующих естествен-
ных условиях
- 2 при регулировании одной ре-
гулирующей плотиной в исто-
ке р. Волхова с подпорной на
отм 1000 саж, малая схема/
- 3 при применении обвалования
озера Ильмень незаплавляе-
мой дамбой /большая схема/
- 4 при использовании всего стока
р. Волхова полностью

Примечание! темным тоном в каж-
 дом случае показано количество
 энергии за 6 зимних месяцев
Примечание Б: в столбце регулиро-
 вания по малой схеме пунктиром
 показано дополнительное количество
 энергии в случае, если регулиро-
 вание началось уже с предшеству-
 ющего года. Количество энергии по
 большой схеме исчислено в пред-
 положении осуществления регу-
 лирования в предшествующем го-
 ду

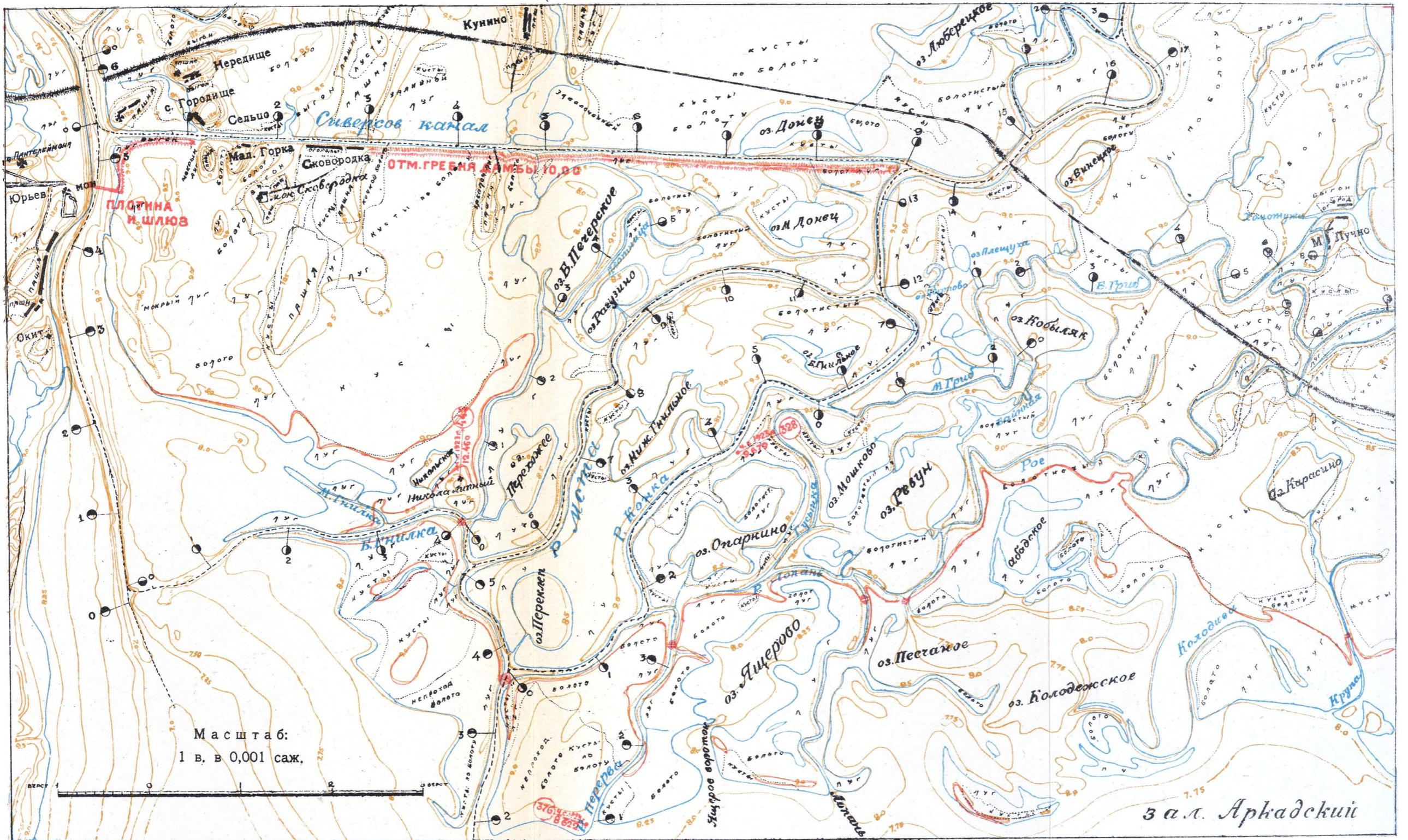


ГОДОВ. ПЕР.	КОЛИЧЕСТВО ЭНЕРГИИ В МЛН. М.В.Ч.
1881-82	44,700
1882-83	46,100
1883-84	47,500
1884-85	48,900
1885-86	49,200
1886-87	48,500
1887-88	47,800
1888-89	47,100
1889-90	46,400
1890-91	45,700
1891-92	45,000
1892-93	44,300
1893-94	43,600
1894-95	42,900
1895-96	42,200
1896-97	41,500
1897-98	40,800
1898-99	40,100
1899-00	39,400
1900-01	38,700
1901-02	38,000
1902-03	37,300
1903-04	36,600
1904-05	35,900
1905-06	35,200
1906-07	34,500
1907-08	33,800
1908-09	33,100
1909-10	32,400
1910-11	31,700
1911-12	31,000
1912-13	30,300
1913-14	29,600
1914-15	28,900
1915-16	28,200
1916-17	27,500
1917-18	26,800
1918-19	26,100
1919-20	25,400
1920-21	24,700
1921-22	24,000
1922-23	23,300
1923-24	22,600
1924-25	21,900



Энергия исчислена в миллионах кВт·ч и отнесена к шинам низ-
 кого напряжения главной понижающей подстанции в Ленинграде.
 Годовой период принят с начала весеннего подъема воды одного
 года до соответствующего момента следующего года и колеблется
 от 321 до 396 дней.

Начальник Отдела Изысканий
 Инженер *Вороделов*
 Начальник Технической Части
 Инженер *Спиридов*
 Начальник IV Партии
 Инженер *А. К. Павлов*



— Линия зарегулированного гор. озера. Запруды в рукавах р. Мсты.

- Выпуск VI. Инженер *Вальман, В. Н.*—Гидролого-Гидрометрические исследования р. Волхова. 290 стр. с 45 графич. приложениями в виде атласа. 1926 г. Цена (без пересылки) 10 р. — к.
- Выпуск VII. *Соколов, Н. Н.* под редакцией проф. *Прасолова, Л. И.*—Геоморфологический очерк района р. Волхова и оз. Ильмень. 360 стр. с карта и 29 рис. и чертежами. Цена (без пересылки) 9 р. — к.
- Выпуск VIII. Инженер *Лоттер, Г. К.*—Исследования поймы оз. Ильмень (работы 1923 г.). *Никифоров, Н. М.* и инженер *Глаголев.*—Триангуляция на пойме оз. Ильмень. Инженер *Иванов, П. В.*—Исследования истока р. Волхова. 210 стр. с 18 таблицами и графическими приложениями. Цена (без пересылки). 6 р. — к.
- Выпуск IX. *Алабышев, В. В., Овчинников, П. Н.* и *Степанов, Е. С.*—Геоботаническое описание поймы р. Волхова под редакцией проф. *Ганешина, С. С.* Около 552 стр. с картою и 10 графич. приложений. 15 р. — к.
- Выпуск X. *Домрачев, П. Ф., Правдин, И. Ф., Рылов, В. М.*—Исследование рыбных промыслов оз. Ильмень и р. Волхова. Два полутома, 459 + 208 стр., со многими рисунками 9 + 7 р.
- Выпуск XI. *Эльстер, А. Ю.*—Речной сток в Волховском бассейне. 209 стр. с 23 рис. в тексте и 2 графич. приложений. Цена (без пересылки) 4 р. 50 к.
- Выпуск XII. Инженер *Лоттер, Г. К.*—Нивеллировки Отдела Изысканий и ведомость реперов. 160 стр. с картою. Цена (без пересылки) 4 р. 10 к.
- Выпуск XIII. Инженер *Калинович, В. Ю.*—Гидрометрические работы на реках Ильменского бассейна за 1923—1925 г.г. 253 стр. с 11 рис. в тексте и 40 графич. приложениями в виде атласа. Цена (без пересылки) . 9 р. — к.
- Выпуск XIV. Инженер *Иогансон, Е. И.*—Зимний режим р. Волхова и оз. Ильмень. 272 стр. с 1 рис. в тексте, 10 фотографиями и 15 графическими приложениями. Цена (без пересылки). 7 р. 50 к.
- Выпуск XV. Инженер *Вальман, В. Н.* Водомерные наблюдения за 1921—1926 г.г. в Ильмень-Волховском бассейне XX + 249 стр., с картою 7 р. — к.
- Выпуск XVI. *Л. И. Прасолов* и *Н. И. Соколов.*—Почвы пойм в районе р. Волхова и оз. Ильменя. 352 стр. текста, 56 стр. таблиц, 4 граф. прилож. и 2 картами. 10 р. — к.

Цена 6 р.

- Выпуск XVII. Инженер *Бернадский, Н. М.*—Теория и расчет речного паводка с применением их к суточному регулированию реки Волхова. 50 стр. с 6 черт. в тексте и 7 графич. прилож. 2 р. — к.
- Выпуск XVIII. **Общий технический отчет Отдела Изысканий Волховского Строительства.** 400 стр. с 19 графич. приложениями 10 р. — к.
- Выпуск XIX. *Степанов, Е. С.* Хозяйственная характеристика лугов Волхово-Ильменского бассейна и общие соображения о затопляемости пойменных угодий р. Волхова. 150 стр. с 21 графич. приложениями 6 р. — к.
- Выпуск XX. Инженер *Порывкин, Н. Н.* **Режим грунтовых вод поймы р. Волхова.** 120 стр. и 8 графич. приложениями 4 р. 50 к.
- Выпуск XXI. Инженер *Родевич, В. М., Иогансон, Е. И.* и *Лоттер, Г. К.* **Кривые подпора по р. Волхову.** 96 стр. с 14 графич. приложениями 4 р. — к.
- Выпуск XXII. *Ануфриев, Г. И.* **Стационарные ботанические наблюдения в пойме р. Волхова.** Инж. *В. М. Родевич.* **Конечные данные о затоплении от Волховской плотины.** 212 + VIII стр., с 18 графич. прилож. и 25 рис. 6 р. — к.
- Выпуск XXIII. *Лебедев, В. Н.* **Методы и результаты гидрологических предсказаний на Волховстрое.** *Эльстер, А. Ю.* **Опыты прогноза расходов реки Волхова по способу корреляции.** 182 стр. с 12 графич. приложениями 6 р. — к.
- Выпуск XXIV. Инженеры *Г. К. Лоттер* и *П. В. Иванов.* **Регулирование стока оз. Ильмень и р. Волхова.** 12 лист. текста и 51 чертежей. 6 р. — к.
- Атлас** карты р. Волхова и его поймы, 56 листов. 30 р. — к.
- Атлас** карты озера Ильменя и его поймы, 29 листов 25 р. — к.
- Атлас** почвенной и ботанической карты поймы р. Волхова и оз. Ильменя, 31 лист. 25 р. — к.
-

