

Евг. БЛИЗНЯКЪ

ИНЖЕНЕРЪ ПУТЕЙ СООБЩЕНІЯ.

---

# ИЗСЛѢДОВАНІЯ В. Г. ГОЙТА

ОТНОСИТЕЛЬНО ВЛІЯНІЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

НА РАСХОДЫ ВОДЫ ВЪ РѢКАХЪ

СОЕДИНЕННЫХЪ ШТАТОВЪ СѢВЕРНОЙ АМЕРИКИ.

Съ 12 полиטיפажами, помѣщенными въ текстъ,  
и графиками на особомъ листѣ.



ПЕТРОГРАДЪ.

Типографія Министерства Путей Сообщенія  
(Товарищества И. Н. Кушнеревъ и К<sup>о</sup>), Фонтанка, 117.

1915.

Печатано по распоряженію Канцелярії Міністра Путей Сообщенія.

*(Извлечено изъ „Журнала Министерства Путей Сообщенія“, кн. I и II,  
за 1915 г.).*

# ИЗСЛѢДОВАНІЯ В. Г. ГОЙТА ОТНОСИТЕЛЬНО ВЛІЯНІЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА РАСХОДЫ ВОДЫ ВЪ РѢКАХЪ СОЕДИНЕННЫХЪ ШТАТОВЪ СѢВЕРНОЙ АМЕРИКИ.

(Съ 12 иллюстраціями, помѣщенными въ текстѣ, и графиками на особомъ листѣ).

## Введение.

Какъ извѣстно, точное изученіе зимней жизни водныхъ потоковъ изобилуетъ большими трудностями. Многіе вопросы въ этой области до сихъ поръ не получили опредѣленнаго научнаго разрѣшенія. Даже учетъ количества воды, несомой даннымъ потокомъ во время зимы, не всегда представляется выполнимымъ; между тѣмъ, тотъ же вопросъ для рѣкъ, не покрытыхъ льдомъ, при настоящемъ состояніи гидрометріи, разрѣшается вполне удовлетворительно, по крайней мѣрѣ—для практическихъ цѣлей. А такъ какъ указанная задача опредѣленія количествъ или расхода воды является основной, съ которой прежде всего приходится сталкиваться какъ гидрологу, такъ и гидротехнику, то отсюда слѣдуетъ, что вообще изученіе зимняго режима заслуживаетъ самаго серьезнаго вниманія, ибо иначе въ работѣ станціи получится большой пробѣлъ.

Для нашей страны съ ея суровыми зимами, сковывающими ледянымъ покровомъ рѣки въ теченіе долгаго времени, зимнія наблюденія жизни рѣкъ имѣютъ чрезвычайно большое значеніе. Между тѣмъ лишь въ послѣдніе годы зимній бытъ нашихъ рѣкъ сталъ предметомъ систематическаго изученія. Не такъ давно даже наблюденія колебанія уровня воды на нѣкоторыхъ водомѣрныхъ постахъ прекращались на зимнее время, не говоря уже объ опредѣленіяхъ расходовъ воды.

Съ учрежденіемъ въ 1912 году постоянныхъ гидрометрическихъ станцій управленіемъ внутреннихъ водныхъ путей и шоссейныхъ

дорогъ, вопросъ о зимнихъ наблюденіяхъ расходовъ сталъ постепенно выдвигаться на должное мѣсто, но все-таки зимнимъ наблюденіямъ удѣлялось и удѣляется несравненно меньше вниманія, чѣмъ наблюденіямъ въ руслѣ, непокрытомъ льдомъ; лишь въ случаяхъ когда подымался вопросъ объ использованіи гидравлической энергіи даннаго потока, зимнія наблюденія получали должный вѣсъ. Сказанное вполне понятно и естественно для начала дѣятельности гидрометрическихъ станцій, когда станціи являются лишь *гидрометрическими* въ прямомъ смыслѣ слова: въ зимнее время горизонты воды колеблются мало, поэтому и число зимнихъ наблюденій расходовъ сокращается до минимума. Но если имѣть въ виду дальнѣйшее развитіе дѣятельности гидрометрическихъ станцій, когда онѣ естественно станутъ затрагивать области гидрологіи и когда точный *учетъ годового количества* станетъ для станціи вопросомъ первостепенной важности, то несомнѣнно тогда зимнія наблюденія будутъ поставлены на должную высоту.

Въ этомъ отношеніи Соединенные штаты Сѣверной Америки могутъ служить для насъ хорошимъ примѣромъ. Рядъ произведенныхъ геологическимъ комитетомъ работъ по изученію зимняго режима рѣкъ заслуживаетъ самаго серьезнаго вниманія, тѣмъ болѣе, что во многомъ условія Сѣверной Америки сходны съ условіями сѣвера Россіи, а особенно Сибири. Было бы очень печально, если бы мы не использовали опыта, накопленнаго долгими наблюденіями американскихъ изслѣдователей, особенно если принять во вниманіе, что изученію зимняго режима рѣкъ посвятили свои силы не только инженеры и гидротехники, но и ученые (Н. Т. Barnes, Н. К. Barrows).

Въ виду сказаннаго, недавно вышедшій изъ печати отчетъ американскаго автора В. Г. Гойта (The effects of ice on stream flow by William Glenn Hoyt.—Издание 1913 г. United States Geological Survey. Water Supply Paper 337), который произвелъ рядъ зимнихъ наблюденій расходовъ воды въ теченіе зимъ 1911/1912 и 1912/1913 годовъ и обработалъ собранныя данныя; этотъ отчетъ заслуживаетъ вниманія тѣмъ болѣе, что названный изслѣдователь включилъ въ свою работу матеріалы наблюденій своихъ многочисленныхъ сотрудниковъ, а также и литературныя данныя.

Предполагая, что описанные въ книгѣ В. Г. Гойта *методы наблюденій, обработка матеріаловъ*, а также нѣкоторые *выводы* изъ наблюденій могутъ быть полезны для русскихъ изслѣдователей, мы и использовали отчетъ В. Г. Гойта въ помѣщенной ниже

статей; что же касается таблицъ и цифрового матеріала, а также деталей производства работъ, то они, не представляя общаго интереса, нами въ большинствѣ выпущены.

## ГЛАВА I.

### Факторы, вліяющіе на величину зимняго расхода.

#### § 1. *Общія данныя.*

На величину зимняго расхода воды въ рѣкѣ вліяютъ многіе факторы, изъ которыхъ наиболее существенными являются *климатическій, геологическій, топографическій и растительный факторы*. Изъ климатическихъ факторовъ должны быть отмѣчены: атмосферные осадки, температура, барометрическое давленіе и вѣтры; геологическимъ факторомъ является характеръ напластованія и строенія породъ въ данномъ бассейнѣ; къ топографическимъ факторамъ принадлежатъ степень покатости и конфигурація поверхности бассейна; не можетъ быть оставлено безъ вниманія также и вліяніе лѣса и вообще растительнаго покрова на величину стока. Наконецъ, на зимній режимъ рѣки, несомнѣнно, вліяютъ и искусственныя сооруженія, воздвигаемыя въ руслѣ.

#### § 2. *Факторы климатическіе.*

Климатическія условія, надо полагать, оказываютъ болѣе значительное вліяніе на расходы воды, чѣмъ всѣ другіе факторы, но они такъ тѣсно связаны между собою, что трудно отдѣлить дѣйствіе одного фактора отъ другого.

Въ зимнее время расходъ воды въ рѣкѣ пополняется атмосферными подпочвенными водами, а также вслѣдствіе таявія снѣговъ. Атмосферные осадки, въ видѣ снѣга, незначительно увеличиваютъ расходъ воды, пока температура не подыметъ выше точки замерзанія. Дождь, падающій на промерзшую почву, не покрытую снѣгомъ, быстро стекаетъ, причемъ скорость стока зависитъ отъ уклона мѣстности, такъ какъ промерзшая земля, подобно скалистому грунту, не впитываетъ въ себя влаги. Дождь, падающій послѣ снѣга, насыщаетъ водой снѣгъ и усиливаетъ таяніе послѣдняго, слѣдствіе чего расходъ воды въ рѣкѣ увеличивается.

Толстый слой снѣга на поверхности не промерзшей земли таетъ постепенно снизу, проникаетъ въ почву и увеличиваетъ количество подпочвенной воды.

Въ сѣверной части Соединенныхъ штатовъ Америки подпочвенная вода почти вся бываетъ израсходована примѣрно къ 1 октября частью на питаніе растеній, частью на испареніе и проч. Съ этого времени до 15 ноября-1 декабря количество подпочвенныхъ водъ начинаетъ увеличиваться, такъ какъ въ указанный періодъ влага не требуется для роста растеній, а потери отъ испаренія быстро уменьшаются, по мѣрѣ паденія температуры воздуха. Послѣ того, какъ почва промерзнетъ на значительную глубину, количество грунтовыхъ водъ почти не мѣняется вплоть до весны. (фиг. 1). Поэтому зимній расходъ воды въ рѣкѣ зависитъ, главнымъ образомъ, отъ запаса грунтовыхъ водъ, накопленныхъ къ началу зимы, каковой запасъ обусловленъ количествомъ атмосферныхъ осадковъ, выпавшихъ въ періодъ, когда накаплиются грунтовые воды.

Наблюдается тѣсная связь между температурой воздуха и величиной зимнихъ расходовъ воды. Когда температура воздуха падаетъ ниже нуля, то нѣкоторое количество поверхностной воды замерзаетъ и превращается въ ледъ, толщина котораго постепенно увеличивается, если температура воздуха продолжаетъ быть ниже нуля. Количество воды, содержащейся въ ледяномъ покровѣ рѣкъ и глубокихъ озеръ, можетъ быть очень значительно. Напримѣръ, на р. Ремъ (въ Сѣверо-американскихъ Соединенныхъ штатахъ), при толщинѣ льда отъ  $1\frac{1}{2}$  до 2 фута, приблизительно 80.000.000 кубическихъ футовъ воды въ теченіе 2-хъ мѣсяцевъ будутъ имѣться въ видѣ льда, что соотвѣтствуетъ расходу воды около 15 куб. фут. въ секунду, или около 21 процента расхода воды въ указанные 2 мѣсяца. Низкая температура воздуха вліяетъ также и на скорость движенія грунтовыхъ водъ. Такъ, скорость, съ которой вода просачивается черезъ песокъ при температурѣ  $0^{\circ}$  С., составляетъ около  $64\%$  скорости движенія воды при тѣхъ же условіяхъ, но при температурѣ  $12,5^{\circ}$  С.

Количество выпадающихъ зимою атмосферныхъ осадковъ не остается безъ вліянія на расходъ. Такъ, ранній снѣгъ образуетъ покровъ, который защищаетъ почву отъ промерзанія, даже если вслѣдъ за тѣмъ наступаетъ морозъ; имѣющіеся запасы грунтовыхъ водъ точно такъ же защищаютъ въ этомъ случаѣ отъ замерзанія.

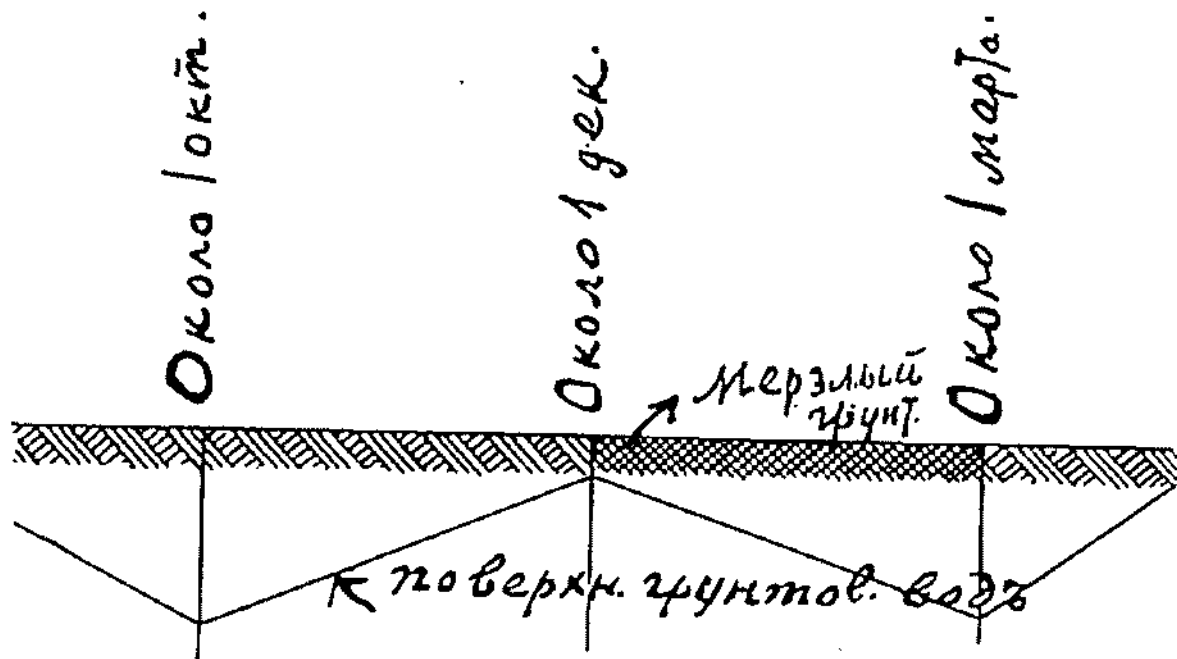
Большое вліяніе на величину расхода оказываетъ топографія даннаго бассейна.

При крутыхъ скалистыхъ склонахъ, покрытыхъ тонкимъ слоемъ земли, почва промерзаетъ зимой почти на всю глубину, что вызываетъ большое пониженіе горизонта грунтовыхъ водъ. Но такъ какъ



при такихъ условіяхъ рѣки имѣютъ обыкновенно значительный уклонъ и большія скорости теченія, то толщина льда не бываетъ значительной.

Въ холмистой мѣстности, гдѣ поверхностный слой состоитъ изъ мягкихъ грунтовъ и гдѣ имѣются большіе запасы воды на глубинѣ



Фиг. 1. Распределение грунтовыхъ водъ въ зимніе мѣсяцы.

большей, чѣмъ глубина промерзанія, уровень грунтовыхъ водъ не испытываетъ сильнаго вліянія отъ низкихъ температуръ. За то довольно большое количество воды обращается въ ледъ, такъ какъ въ данномъ случаѣ скорости теченія рѣки обыкновенно бываютъ невелики.

При вяломъ рельефѣ рѣчной долины промерзаніе почвы можетъ распространиться ниже русла рѣки и прекратить доступъ грунтовыхъ водъ въ рѣку; кромѣ того, большее количество воды, вслѣдствіе незначительныхъ скоростей теченія, какъ было указано выше, превращается въ ледъ.

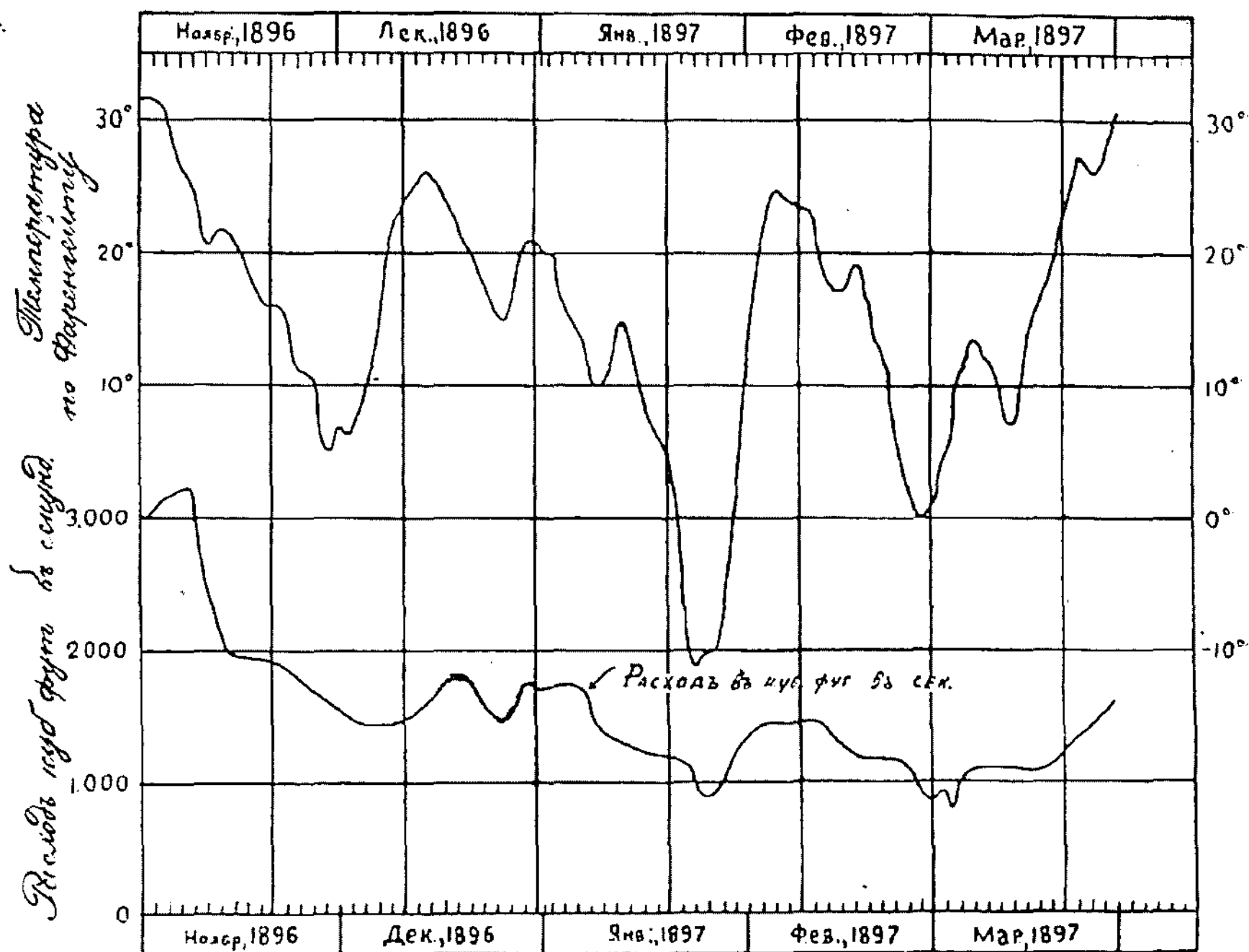
Изъ сказаннаго опредѣленно выясняется вліяніе низкой температуры на грунтовые воды и на зимніе расходы рѣки.

Повышеніе температуры увеличиваетъ расходъ воды, даже если температура воздуха подымается не выше нуля, по той причинѣ, что при этомъ получается притокъ грунтовыхъ водъ въ русло рѣки. Если же температура подымается выше нуля, то расходъ воды, кромѣ того, увеличивается, благодаря притоку отъ таянія льда и снѣга.

Очень интересна эюра, изображающая зависимость между температурой воздуха и расходомъ воды р. Миссисиппи выше устья рѣкъ Крой-Вингъ и Котенай. (фиг. 2).

Эюра указываетъ на уменьшеніе расхода воды въ теченіе ноября мѣсяца при пониженіи температуры воздуха съ  $31^{\circ} F$  до

5° F. При повышеніи температуры въ первыхъ числахъ декабря расходъ воды увеличился; но съ паденіемъ температуры около середины декабря расходъ воды опять уменьшился; расходъ становится больше, когда температура въ концѣ декабря слегка повы-



Фиг. 2. Зависимость между температурой и расходами воды р. Миссиссиппи.

шается. Небольшое повышеніе температуры въ срединѣ января не увеличило расхода, но ово задержало уменьшеніе расхода, которое началось съ 1 января. Минимумъ расхода во время зимы наступилъ вскорѣ послѣ минимума температуры въ февралѣ.

Вліяніе температуры воздуха и атмосферныхъ осадковъ на расходы воды характеризуется также данными многихъ другихъ рѣкъ.

Отсюда ясно, что при необходимости установленія абсолютнаго минимума расхода надо имѣть въ виду вліяніе обоихъ указанныхъ факторовъ: температуры и атмосферныхъ осадковъ. Абсолютный минимумъ получится лишь тогда, если оба фактора будутъ наблюдаться совмѣстно, напримѣръ, если очень низкимъ температурамъ будетъ предшествовать періодъ времени съ минимальнымъ количествомъ атмосферныхъ осадковъ.

### § 3. Барометрическое давленіе.

Измѣненіе барометрическаго давленія отражается на положеніи горизонтовъ грунтовыхъ водъ, что вліяетъ на количество прите-



кающей въ рѣчное русло грунтовой воды. Дѣйствительно, наблюденія, сдѣланныя Baldwin Latham'омъ въ 1881 году въ Англіи, Otto Lueger'омъ въ Германіи и F. H. King'омъ въ Америкѣ, указываютъ на измѣненія расходовъ воды при измѣненіи барометрическаго давленія.

Разсматриваемое явленіе обыкновенно объясняютъ слѣдствіемъ измѣненія объема воздуха, заключающагося въ почвѣ и въ грунтовой водѣ. Увеличеніе барометрическаго давленія на 1 дюймъ вызываетъ увеличеніе давленія на грунтовую воду на 1 футъ. Очевидно, указанное измѣненіе не можетъ остаться безъ вліянія и на расходъ воды.

Что касается барометрическаго давленія на зимніе расходы воды, то этотъ вопросъ еще не изученъ, можно лишь замѣтить, что во время низкой температуры обыкновенно наблюдается высокое барометрическое давленіе, которое, вѣроятно, способствуетъ пониженію уровня воды.

#### § 4. Вѣтеръ.

Иногда могутъ оказать вліяніе на величину расхода воды вѣтры, если ихъ дѣйствіе сопровождается значительными измѣненіями равновѣсія атмосферы. Такъ, въ Альберти, Канадѣ и Вайомингѣ наблюдается періодически дѣйствующій вѣтеръ „chinook“; нерѣдко при этомъ вѣтрѣ температура воздуха повышается отъ  $30^{\circ}F$  до  $50^{\circ}F$ , что вызываетъ сильное таяніе снѣговъ. Обыкновенно вѣтеръ „chinook“ сопровождается и значительнымъ пониженіемъ барометрическаго давленія, каковое обстоятельство тоже вліяетъ на расходъ воды.

#### § 5. Гелогическіе факторы.

Количество грунтовыхъ водъ, наблюдаемыхъ въ началѣ зимы, во многомъ зависитъ отъ характера напластованія и состава почвы. Въ мѣстностяхъ, гдѣ скалистые породы лежатъ на поверхности земли или близко отъ ея поверхности, почти все выпадающее изъ атмосферы количество воды быстро стекаетъ въ рѣки, и въ почвѣ остается очень мало воды; наоборотъ, болѣе мягкая почва собираетъ и удерживаетъ въ себѣ воду. Количество воды, содержащееся въ почвѣ, зависитъ также отъ глубины залеганія и строенія водонепроницаемыхъ породъ, подстилающихъ водопроницаемые пласты.

Другіе геологическіе факторы дѣйствуютъ на расходы воды въ рѣкѣ одинаково зимой и лѣтомъ.

### § 6. Топографическіе факторы.

Топографія мѣстности оказываетъ сравнительно мало вліянія на зимніе расходы воды въ рѣкѣ; она вліяетъ главнымъ образомъ на запасы грунтовыхъ водъ; такъ, при холмистомъ или горномъ характерѣ мѣстности могутъ образоваться значительныя скопленія грунтовыхъ водъ, что немаловажно для питанія рѣки; въ мѣстахъ же съ вялымъ рельефомъ горизонтъ грунтовыхъ водъ обыкновенно лежитъ ниже уровня воды въ рѣкѣ.

Вода, заключающаяся въ озерахъ и болотахъ, можетъ увеличить расходъ воды данной рѣки во время зимы въ большей степени, чѣмъ въ лѣтнее время, такъ какъ осенью, когда испареніе незначительно, уровень воды въ озерѣ подымается; лѣтомъ же потери отъ испаренія обыкновенно превышаютъ прибыль воды, получаемой изъ атмосферы.

Вліяніе топографическихъ условій и естественныхъ водныхъ бассейновъ на зимніе расходы воды въ рѣкѣ хорошо изучено при опредѣленіи расходовъ слѣдующихъ рѣкъ въ сѣверной части Миннесоты: Бигфоркъ, Литльфоркъ и Вермильонъ.

Бассейнъ первой изъ указанныхъ рѣкъ, *Бигфоркъ*, имѣетъ слабо выраженный рельефъ и незначительный стокъ, ибо, за исключеніемъ узкой полосы земли вдоль береговъ рѣки, вся мѣстность покрыта болотами. Средній уклонъ описываемаго бассейна составляетъ 0,00102.  $\left( \frac{\text{Высп. отм.} - \text{низш. отм.}}{\sqrt{\text{площадь}}} \right)$ .

*Р. Литльфоркъ* впадаетъ въ рѣку Райни на нѣсколько миль западнѣе устья и извиляется по узкой плоской долиנѣ, покрытой лѣсомъ, въ которомъ изрѣдка встрѣчаются прогалины. Верхній слой почвы состоитъ изъ глины, подъ которой лежитъ пластъ кристаллической породы. Въ этомъ бассейнѣ меньше болотъ, чѣмъ въ бассейнѣ р. Бигфоркъ; средній уклонъ составляетъ 0,00152.

Рѣка *Вермильонъ*, впадающая въ Райни, отличается весьма извилистымъ теченіемъ; она протекаетъ черезъ озеро Вермильонъ, соединенное съ озеромъ Трауть, площадью 11 кв. миль. Къ сѣверу отъ озера Вермильонъ бассейнъ рѣки имѣетъ холмистую поверх-

ность, весьма неровную; мѣстами встрѣчаются песчаные холмы мѣстами скалы. Средній уклонъ описываемаго бассейна составляетъ 0,0043.

Въ помѣщенной ниже таблицѣ приводятся данныя, характеризующія величины расходовъ описанныхъ трехъ рѣкъ и количество атмосферныхъ осадковъ.

|                                                               | Р. Биг-<br>форкъ. | Р. Литль-<br>форкъ. | Р. Вер-<br>милльонъ. |
|---------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| Атмосферн. осадк. (дюйм.) сентябрь-декабрь<br>1911 г. . . . . | 4,84              | 4,88                | 7,30                 |
| Расходъ воды (фут. сек. на кв. милу):                         |                   |                     |                      |
| Январь . . . . .                                              | 0,023             | 0,049               | 0,250                |
| Февраль . . . . .                                             | 0,023             | 0,044               | 0,231                |
| Мартъ . . . . .                                               | 0,026             | 0,041               | 0,188                |
| Атмосферн. осадки (дюйм.) сент.-декабрь<br>1912 г. . . . .    | —                 | 6,75                | 5,91                 |
| Расходъ воды (фут. сек. на кв. милу) 1913 г.                  |                   |                     |                      |
| Январь . . . . .                                              | —                 | 0,48                | 0,198                |
| Февраль . . . . .                                             | —                 | 0,34                | 0,198                |
| Мартъ . . . . .                                               | —                 | 0,49                | 0,198                |

Приведенная таблица ясно указываетъ также на вліяніе озеръ и болотъ на зимніе расходы воды въ рѣкѣ.

Въ бассейнѣ Вермилльонъ, богатомъ озерами, расходъ воды въ 5 разъ больше, чѣмъ въ бассейнахъ рѣкъ Бигфоркъ и Литльфоркъ, которые изобилуютъ болотами. Бассейнъ Литльфоркъ, имѣющій большій уклонъ и меньшее количество болотъ, обладаетъ расходами въ 2 раза большими, чѣмъ расходъ бассейна Бигфоркъ. Такое соотношеніе замѣчалось не только зимою 1912 года, когда въ предыдущее мѣсяцы въ бассейнѣ Вермилльонъ выпало большее количество атмосферныхъ осадковъ, чѣмъ въ бассейнѣ Бигфоркъ, но и въ зиму 1913 года, когда въ предыдущіе мѣсяцы въ бассейнѣ Вермилльонъ выпало очень мало атмосферныхъ осадковъ.

## § 7. Географическое положеніе бассейна.

Высота надъ уровнемъ моря и географическая широта даннаго бассейна также оказываютъ вліяніе на зимній расходъ воды въ рѣкѣ. Рѣки въ Калифорніи, Вашингтонѣ, Орегонѣ и вообще лежація южнѣе 37° географической широты, мало подвержены дѣйствию низкихъ температуръ. Рѣки, имѣющія истоки или часть бассейна въ высокой мѣстности, гдѣ наблюдается низкая температура, постоянно подвержены вліянію послѣдней.

Текущая къ югу рѣка имѣютъ обыкновенно меньшій весенній разливъ, чѣмъ рѣки, текущая къ сѣверу. Если рѣка течетъ на сѣверъ, то вода, содержащаяся во льдѣ или снѣгѣ, освобождается подъ вліяніемъ весенней оттепели въ южной части бассейна на нѣсколько дней или недѣль раньше, чѣмъ весенняя теплая погода наступитъ въ сѣверной части рѣчной долины. Далѣе, вода, образовавшаяся отъ таянія снѣга въ южномъ участкѣ рѣки, достигаетъ нижней части рѣки и переполняетъ рѣчное русло. Если бы на всемъ протяженіи рѣки снѣгъ и ледъ растаяли въ одинъ и тотъ же день, то по всему протяженію рѣки вода прибывала бы равномерно. Въ противномъ случаѣ вода, образующаяся отъ таянія снѣга, появляется раньше, чѣмъ ледъ успѣетъ вполне растаять.

Интересно, между прочимъ, отмѣтить, что подъемъ воды въ каждой рѣкѣ въ любое время года обыкновенно идетъ гораздо быстрѣе, чѣмъ паденіе уровня воды.

## § 8. Скорости теченія рѣки.

Рѣки съ большимъ паденіемъ имѣютъ значительныя скорости, такъ что ледяной покровъ на нихъ не можетъ достигнуть большой толщины; въ этихъ случаяхъ сравнительно малое количество воды заключается въ ледяномъ покровѣ. Рѣки же съ малымъ уклономъ могутъ имѣть настолько толстый ледяной покровъ, что большая часть ихъ расхода зимой превращается въ ледъ.

## § 9. Растительные факторы.

Густой хвойный лѣсъ и густой кустарникъ, подъ прикрытіемъ котораго снѣгъ можетъ накопиться, оказываютъ, съ одной стороны, вредное вліяніе на зимніе расходы воды рѣкѣ, ибо въ этомъ случаѣ снѣгъ не подвергается прямому дѣйствию лучей солнца и; слѣдовательно, не можетъ таять такъ быстро, какъ снѣгъ на открытой

мѣстности. Но, съ другой стороны, густой растительный покровъ защищаетъ почву отъ промерзанія, что можетъ возмѣстить недостатокъ воды при медленномъ таяніи снѣга.

### § 10. *Вліяніе искусственныхъ сооружений.*

Искусственныя сооруженія, воздвигнутыя въ рѣчномъ руслѣ, съ цѣлью использованія силы воды или съ судоходными цѣлями, а также сооруженія (водохранилища), служащія для уменьшенія силы разливовъ, оказываютъ большое вліяніе и на зимній режимъ рѣки. Водохранилища, сооружаемыя для дѣйствія гидравлическихъ установокъ, должны содержать къ началу зимы наиболѣй запасъ воды, а къ началу весны они обыкновенно опоражниваются. Водохранилища для судоходныхъ цѣлей обыкновенно запираются на зиму. Въ зимнее время эти водохранилища могутъ оказывать вредное вліяніе на зимніе расходы воды въ рѣкѣ. То же можно сказать и о водохранилищахъ, устраиваемыхъ для уменьшенія силы весенняго разлива.

## ГЛАВА II.

### Образованіе льда.

#### § 1. *Общія данныя.*

Вода, охлажденная до  $0^{\circ}$  С., имѣетъ вообще стремленіе къ кристаллизаціи; но въ текучей водѣ образованіе льда сопровождается многими обстоятельствами, дѣлающими невозможнымъ установить точныя законы образованія льда и опредѣленія количества послѣдняго. Въ виду этого всѣ вообще зимнія наблюденія должны сопровождаться точными измѣреніями.

Различаютъ три главныя разновидности льда: 1) поверхностный 2) игольчатый и 3) донный.

#### § 2. *Поверхностный ледъ.*

*Способъ образованія.* При соприкосновеніи поверхности воды съ холоднымъ воздухомъ, охлажденный слой воды, какъ болѣе тяжелый, опускается внизъ, и на его мѣсто поступаетъ снизу болѣе теплая вода; по мѣрѣ охлажденія, слои воды продолжаютъ опускаться, пока вся вода не остынетъ до  $39,1^{\circ}$  Фар., при каковой температурѣ вода имѣетъ наибольшую плотность. При дальнѣйшемъ

повиженіи температуры воды, поверхностный слой ея продолжаетъ охлаждаться, пока не достигнетъ температуры 32° Фар.; тогда наступаетъ превращеніе воды въ ледъ. Ледъ начинаетъ образовываться у береговъ или на поверхности тѣлъ, выступающихъ изъ воды, и постепенно увеличивается и въ толщину и въ ширину. Передачей тепла посредствомъ контакта объясняется тотъ фактъ, что ледъ обыкновенно образуется, начиная отъ береговъ по направлению къ срединѣ рѣки: отъ береговъ распространяются болѣе холодныя струи воздуха.

Быстрота, съ которой ледъ образуется на проточныхъ водахъ, а также толщина ледяного покрова въ этомъ случаѣ меньше, чѣмъ на стоячихъ водахъ, отчасти потому, что движеніе воды способствуетъ разрушенію мелкихъ кристалловъ льда; кромѣ того, въ текучей водѣ наблюдается значительное вертикальное перемѣщеніе слоевъ воды, что заставляетъ болѣе теплый слой воды у дна смѣшиваться съ болѣе холоднымъ слоемъ воды, лежащимъ подъ ледяной корой, каковое обстоятельство нѣсколько повышаетъ температуру верхняго слоя воды. Слѣдуетъ замѣтить, что вслѣдствіе плохой теплопроводности льда послѣдній очень мало нарастаетъ снизу; толщина льда увеличивается при постепенномъ скопленіи на его поверхности замерзшихъ атмосферныхъ осадковъ.

Заслуживаетъ вниманія слѣдующая формула для вычисленія элементовъ образованія льда на поверхности стоячихъ водъ, предложенная профессоромъ Барнесомъ:

$$t = \frac{LSE}{K\theta} \left(1 + \frac{E}{2}\right),$$

гдѣ  $t$  время въ секундахъ, въ теченіе котораго ледъ достигаетъ толщины  $E$  сантиметровъ;

$L$ —теплота плавленія, 80 калорій;

$S$ —плотность льда, 0,9166;

$K$ —теплопроводность льда, 0,0057 калорій, на градусъ разницы температуръ и на квадратный сантиметръ въ секунду;

$\theta$  разница температуръ (въ градусахъ Цельсія) нижней части ледяного слоя, 0°, и воздуха (равна температурѣ воздуха).

При опредѣленіи количества льда, образующагося въ текучей водѣ, необходимо принять во вниманіе: а) *длительность и суровость холоднаго періода*, б) *увеличеніе температуры вслѣдствіе притока грунтовыхъ водъ*, в) *скорость теченія и характеръ дна*



рѣки, и г) колебаніе уровня воды вслѣдствіе естественныхъ и искусственныхъ причинъ. Разсмотримъ всѣ перечисленныя причины въ отдѣльности.

а) *Продолжительность и суровость холоднаго періода.*

Скорость, съ которой образуется ледяной слой на стоячихъ водахъ, когда поверхность льда не покрыта снѣгомъ, показана въ нижеслѣдующей таблицѣ, составленной по даннымъ профессора Барнеса.

| Скорость, съ которой образуется ледяной слой. |                        |          |            |          |
|-----------------------------------------------|------------------------|----------|------------|----------|
| Толщина слоя въ<br>дюймахъ.                   | Т е м п е р а т у р а: |          |            |          |
|                                               | + 14° Ф.               | — 4° Ф.  | — 22° Ф.   | — 40° Ф. |
| 1 . . . . .                                   | 2 часа.                | 1 часъ.  | 41 мнута.  | 31 мнута |
| 6 . . . . .                                   | 2 дня.                 | 23 часа. | 16 часовъ. | 12 часов |
| 10 . . . . .                                  | 5 дней.                | 3 дня.   | 2 дня.     | 1 день.  |
| 12 . . . . .                                  | 7 "                    | 4 "      | 2½ "       | 2 дня.   |
| 24 . . . . .                                  | 20 "                   | 14 дней. | 9½ дней.   | 7 дней.  |
| 36 . . . . .                                  | 64 дня.                | 32 дня.  | 21 день.   | 16 "     |

Для льда, покрытаго снѣгомъ, вышеприведенная таблица должна быть измѣнена, но какимъ образомъ,—не имѣется данныхъ.

Что касается продолжительности періода, когда рѣки бываютъ покрыты льдомъ, то для рѣкъ Сѣверной Америки средній максимумъ продолжительности стоянія ледяного покрова составляетъ 158 дней и средній минимумъ продолжительности равняется 11 днямъ.

б) *Увеличеніе температуры.*

Несомнѣнно, каждое повышеніе температуры воды имѣетъ вліяніе на количество образующагося льда. Вода, текущая изъ озера или иного водоема, поверхность котораго покрыта льдомъ, можетъ имѣть температуру, которая задержитъ образованіе льда въ рѣкѣ даже на значительномъ разстояніи отъ истока рѣки.

На глубинѣ 30 или 40 футовъ ниже поверхности воды температура у дна остается безъ измѣненія въ теченіе года, имѣя при-

близительно среднюю температуру воздуха надъ поверхностью рѣки:  $35^{\circ}$ - $45^{\circ}F$  въ сѣверной мѣстности. Притокъ грунтовыхъ водъ, идущихъ со значительныхъ глубинъ, а также притокъ ключей, берущихъ начало на большой глубинѣ, могутъ сильно повысить температуру рѣчной воды въ томъ мѣстѣ, гдѣ они вливаются въ рѣку, такъ что ледъ не будетъ въ состояніи образоваться: все зависитъ, конечно, отъ количества вливающейся воды. На рѣкахъ и озерахъ вліяніе такого притока теплой грунтовой воды является причиной образованія полыней.

Теплая вода, идущая съ фабрикъ, заводовъ и проч., производитъ такое же дѣйствіе.

Незначительная толщина льда или его отсутствіе вдоль береговъ рѣкъ и озеръ, по всей вѣроятности, тоже объясняется тѣмъ, что въ данной мѣстности имѣется притокъ теплой грунтовой воды. Вліяніе грунтовыхъ водъ на зимній режимъ рѣки видно также изъ того, что при однѣхъ и тѣхъ же температурахъ, но въ разные годы, рѣка въ данномъ мѣстѣ то замерзаетъ, то остается незамерзшей.

#### *в) Скорости теченія и характеръ дна рѣки.*

Образованію ледяного покрова могутъ препятствовать значительныя скорости теченія, а также неровности дна рѣки, что вызываетъ водовороты и дѣлаетъ теченіе неправильнымъ. Въ этихъ случаяхъ обыкновенно образуется игольчатый ледъ или доновый ледъ.

#### *г) Колебанія уровня воды.*

Когда температура не падаетъ ниже  $0^{\circ}C$ ., то ежедневныя колебанія уровня, вслѣдствіе дѣйствія гидравлическихъ или другихъ установокъ, могутъ задержать образованіе льда въ нижнемъ бьефѣ плотины; но если температура будетъ падать ниже, то можетъ образоваться толстый слой льда, который при колебаніи уровня воды будетъ нѣсколько опускаться; поверхность этого слоя льда будетъ протекать вода и, замерзая, увеличивать толщину ледяного покрова; вслѣдствіе этого на рѣкѣ образуется ледъ, болѣе толстый, чѣмъ тотъ, который наблюдается на рѣкѣ при нормальныхъ условіяхъ теченія. Такъ, на нѣкоторыхъ рѣкахъ, гдѣ имѣются вододѣйствующія сооруженія, толщина льда достигаетъ 3-4 футовъ. Если уровень воды въ рѣкѣ зимой подымается, вслѣдствіе увеличенія расхода, то вмѣстѣ съ этимъ подымается и ледъ, что является также причиной неравномѣрности въ толщинѣ ледяного покрова. Въ



иныхъ мѣстахъ, если замерзаетъ вода, текущая надъ слоемъ льда, могутъ наблюдаться прослойки незамерзшей воды въ промежуткѣ между двумя ледяными слоями \*). Вообще неправильности въ теченіе воднаго потока отражаются какъ на толщинѣ ледяного покрова, такъ и на физическомъ характерѣ самаго льда.

### § 3. Игольчатый ледъ.

Если скорости теченія рѣки настолько велики, что могутъ препятствовать образованію льда на поверхности, а температура воды падаетъ до  $0^{\circ}$  С. и ниже, то въ такихъ случаяхъ обыкновенно образуется игольчатый ледъ. При образованіи этого льда освобождается значительное количество скрытой теплоты, чтобы поддержать температуру воды на  $0^{\circ}$  С. Опыты, произведенные профессоромъ Barnes'омъ при помощи электрическаго термометра, дающаго точность измѣренія температуры воды до  $0,001^{\circ}$ , показали, что текучая вода можетъ быть охлаждаема не болѣе, чѣмъ на  $0,001^{\circ}$  ниже  $0^{\circ}$ , послѣ чего образуются ледяные кристаллы.

Игольчатый ледъ состоитъ изъ тонкихъ продолговатыхъ иглъ, изъ кубикообразныхъ кристалловъ и изъ пластинокъ; по всей вѣроятности, онъ образуется преимущественно въ ясныя морозныя вѣтренныя ночи. Игольчатый ледъ никогда не образуется подъ ледянымъ покровомъ; образовавшись, игольчатый ледъ можетъ переноситься теченіемъ на далекое разстояніе какъ на участкахъ съ ледянымъ покровомъ, такъ и безъ онаго. Нерѣдко игольчатый ледъ, уносимый теченіемъ, набивается подъ верхнимъ слоемъ кристаллическаго льда и образуетъ довольно плотную массу \*\*).

Если игольчатый ледъ образуется въ большомъ количествѣ (во время сильныхъ морозовъ), то вода въ рѣкѣ принимаетъ мутный видъ; при маломъ же содержаніи игольчатаго льда въ рѣкѣ ледъ съ трудомъ можетъ быть обнаруженъ.

Количество образовавшагося игольчатаго льда зависитъ не только отъ температуры, но и отъ другихъ факторовъ, напримѣръ, игольчатый ледъ образуется въ меньшемъ количествѣ въ ясный солнечный день, чѣмъ въ пасмурный вѣтренный день, такъ какъ въ первомъ случаѣ лучистая теплота, поглощаемая водой, нѣсколько

\*) При зимнихъ изслѣдованіяхъ Енисея въ 1912 году это явленіе было также замѣчено. См. Вып. LIX „Матеріаловъ для описанія русскихъ рѣкъ“. (Состав. инженеръ Е. В. Близнякъ).

\*\*) Мѣстные русскія названія игольчатаго льда: шакша, жужга. *мороз*

повышаетъ температуру воды; если же солнца нѣтъ, то, наоборотъ, усиливается лучеиспусканіе съ поверхности воды.

#### § 4. Донный ледъ.

Донный ледъ во многомъ похожъ на игольчатый ледъ, но онъ образуется совершенно иначе. Интересно отмѣтить, что населеніе южной части Шотландіи называетъ донный ледъ „скиснувшимъ“ льдомъ, ибо онъ походитъ на свернувшееся молоко, а фравцузы называютъ его „барашковый“ отъ кажущагося его сходства со спинами отдыхающаго стада овецъ. Съ 1788 года появились различныя теоріи, объясняющія образованіе доннаго льда \*). По наиболѣе распространеннымъ теоріямъ, образованіе доннаго льда приписывается лучеиспусканію.

Донный ледъ образуется въ большомъ количествѣ на днѣ рѣкъ или на подводныхъ предметахъ; онъ образуется преимущественно ночью, когда лучеиспусканіе со дна рѣки достигаетъ своего максимума; днемъ, когда лучеиспусканіе со дна бываетъ минимальнымъ, донный ледъ почти не образуется. Донный ледъ образуется въ большемъ количествѣ и быстрѣе на темныхъ скалахъ, обладающихъ большей лучеиспускательной способностью, чѣмъ скалы со свѣтлой окраской; точно также онъ образуется въ большемъ количествѣ на мелкихъ мѣстахъ, чѣмъ на глубокихъ: на глубинахъ, большихъ 30 футовъ, донный ледъ наблюдается очень рѣдко. Когда солнечные лучи проникаютъ въ скопленія доннаго льда, послѣдній отдѣляется отъ дна и, подымаясь на поверхность рѣки, нерѣдко увлекаетъ вмѣстѣ съ собой небольшіе куски грунта рѣчного ложа, а также и другіе предметы. Нерѣдко донный ледъ за ночь достигаетъ толщины 1 фута; при наличіи игольчатаго льда кристаллы послѣдняго могутъ примерзнуть къ слою доннаго льда и такимъ образомъ еще больше увеличить толщину доннаго льда.

Слѣдуетъ отмѣтить разницу въ дѣйствіи солнечныхъ лучей на образованіе доннаго и игольчатаго льда. Въ то время, какъ лучи солнца способствуютъ отдѣленію отъ дна рѣки доннаго льда, они ухудшаютъ условія для образованія льда игольчатаго.

---

\*) Заслуживаетъ вниманія работа Люшера, производившаго наблюденія надъ доннымъ льдомъ на р. Наровѣ. (Lüscher. Das Grundeis und daherige Störungen in Wasserläufen und Wasserwerken), а также работа В. М. Лохтина, наблюдавшаго на р. Невѣ (В. М. Лохтинъ. „Ледяной напосъ и зимніе заторы на Невѣ“).

## ГЛАВА III.

Вліяніє льда на колебанія уровня воды и на расходы.

§ 1. *Общія данныя.*

Когда рѣка не покрыта льдомъ, то состояніе уровня воды на данномъ участкѣ и расходъ воды обыкновенно характеризуются высотой стоянія уровня воды въ томъ или иномъ живомъ сѣченіи. Съ повышеніемъ уровня обыкновенно увеличивается и расходъ воды; при пониженіи же уровня расходъ воды уменьшается. Если рассматриваемое живое сѣченіе рѣки остается неизмѣннымъ, то обыкновенно расходъ воды характеризуется опредѣленной кривой расходовъ.

Въ зимнее время явленія въ руслѣ рѣчного потока становятся сложнѣе, главнымъ образомъ, вслѣдствіе появленія новаго фактора—льда. Если же принять во вниманіе, что ледъ наблюдается въ разныхъ видахъ, то указанное явленіе еще болѣе усложняется; а такъ какъ очень часто въ одно и то же время наблюдаются разные виды льда, то представляется затруднительнымъ учесть, въ какой мѣрѣ тотъ или иной видъ льда вліяетъ на рѣчной потокъ.

Въ виду изложеннаго, интересно будетъ прослѣдить характеръ дѣйствія каждаго типа на колебаніе уровня воды въ рѣкѣ, а также вліяніе его и на расходы воды.

§ 2. *Поверхностный ледъ.*

Поверхностный ледъ наблюдается въ слѣдующихъ видахъ: 1) сплошной ледяной покровъ, нижняя часть котораго погружена въ воду; 2) сплошной ледяной покровъ, нижняя поверхность котораго вовсе не прикасается къ водѣ или прикасается лишь частью, 3) частичный ледяной покровъ, частью погруженный въ воду, 4) ледяной слой, заторъ, вызываемый скопленіемъ ледяныхъ массъ, и 5) слои льда съ прослойками воды между ними.

Первымъ слѣдствіемъ замерзанія рѣчного потока съ поверхности является увеличеніе тренія при теченіи воды, такъ какъ треніе воды, соприкасающейся со льдомъ, сильнѣе, чѣмъ треніе воды, соприкасающейся съ воздухомъ. Вторымъ слѣдствіемъ образованія льда является уменьшеніе живого сѣченія рѣки, такъ какъ извѣстное количество воды обращается въ ледъ. Обыкновенно при замерзаніи рѣки замѣчается повышеніе уровня и вообще надо

указать, что присутствіе льда въ рѣкѣ влечетъ за собою повышеіе уровня воды для даннаго расхода; высота подъема уровня воды въ данномъ сѣченіи зависитъ отъ количества льда на нижележащемъ участкѣ рѣки.

Измѣренныя зимой расходы воды, при паложеніи ихъ на кривую для лѣтнихъ расходовъ, обыкновенно или совпадаютъ съ кривой или отклоняются отъ нея влѣво, но ни при какихъ обстоятельствахъ зимніе расходы не отклоняются вправо отъ кривой, дающей зависимость между стоявіемъ уровня воды въ рѣкѣ и величиной лѣтняго расхода воды.

Такъ какъ удѣльный вѣсъ льда меньше удѣльнаго вѣса воды и его сопротивленіе очень незначительно, то ледъ обыкновенно плаваетъ на поверхности воды; исключеніе представляютъ рѣки съ незначительной шириной; на нихъ обыкновенно ледъ простирается отъ одного берега до другого и нижней своей поверхностью не прикасается къ поверхности воды.

### § 3. *Вліяніе ледяного покрова на распредѣленіе скоростей по вертикали.*

Дѣйствіе поверхностнаго льда на распредѣленіе скоростей въ живомъ сѣченіи было разсмотрѣно Barrows'омъ и Horton'омъ въ ихъ отчетѣ объ опредѣленіи зимнихъ расходовъ. По теоретическимъ даннымъ, подтвержденнымъ также наблюденіями, средняя скорость на вертикали получается, какъ средняя арифметическая изъ скоростей на 0,2 и 0,8 глубины подъ поверхностью льда. Величина же коэффиціента, опредѣляющаго среднюю скорость на вертикали, какъ функцію отъ скорости на серединѣ глубины вертикали, составляетъ, въ среднемъ, 0,878. Имѣя въ виду, что величина этого коэффиціента получалась въ цѣломъ рядѣ наблюденій отъ 0,70 до 1, правильнѣе было бы производить измѣренія для каждаго сѣченія, принимая во вниманіе мѣстныя условія. Общее распредѣленіе скоростей въ горизонтальномъ и вертикальномъ направленіяхъ, когда вся рѣка покрыта льдомъ, показано на фигурѣ 3\*).

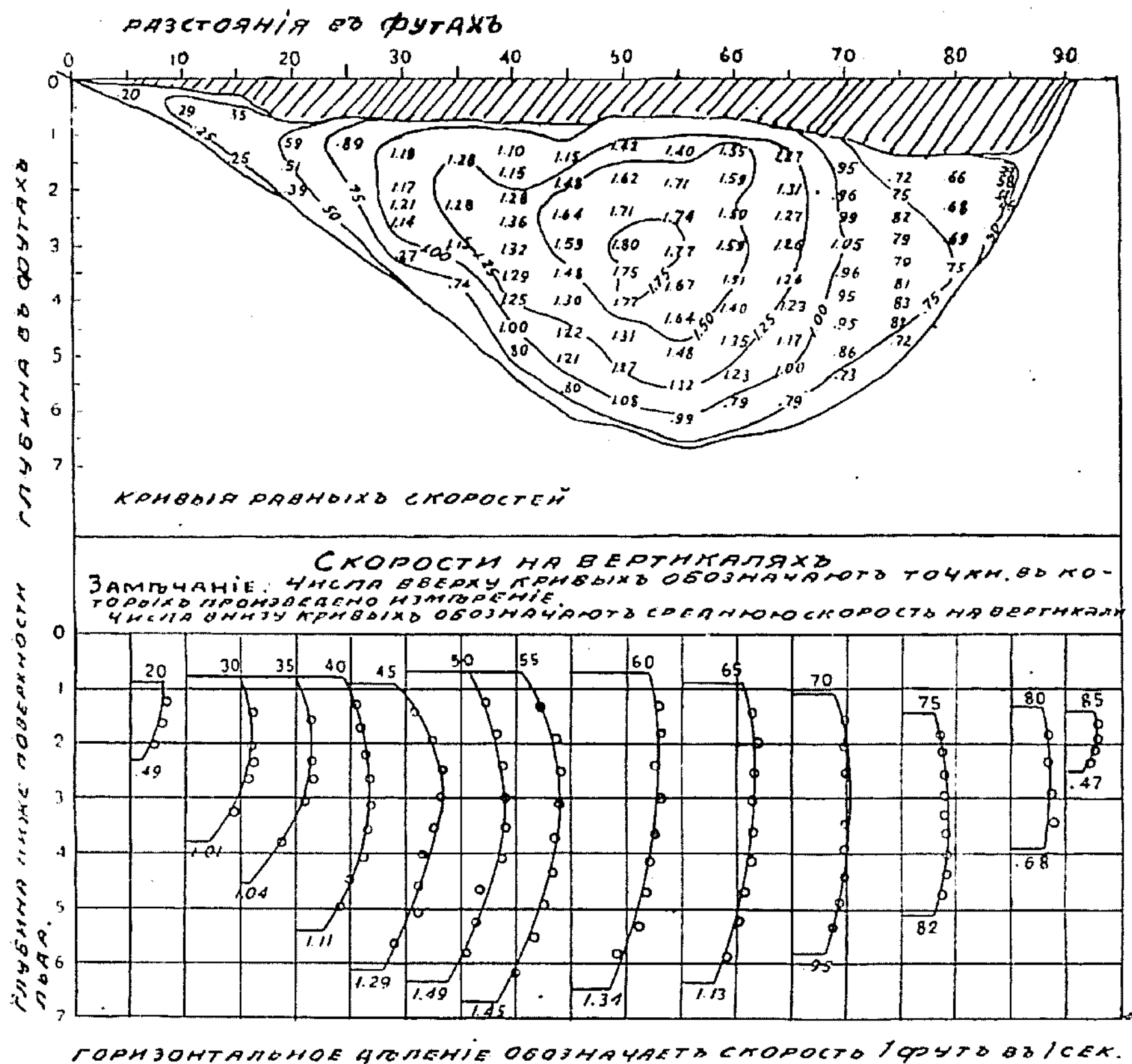
### § 4. *Наблюденія на водомѣрныхъ постахъ.*

Изъ трехъ разновидностей льда: — поверхностнаго, игольчаго и дознаго—наиболѣе распространеннымъ является поверхностный ледъ,

\*) Зимнія наблюденія на р. Енисеѣ и въ Обь-енисейскомъ гидрометрическомъ районѣ дали нѣсколько иные результаты; а именно: скорости обыкновенно возрастали по направленію къ дну, а затѣмъ начинали убывать.

и его вліяніе на режимъ потока обыкновенно наблюдается на большинствѣ ставцій.

При наличіи поверхностнаго льда довольно существеннымъ является точное опредѣленіе подпора, вызываемаго ледянымъ по-



Фиг. 3. Распредѣленіе скоростей теченія въ рѣкѣ, покрытой льдомъ.

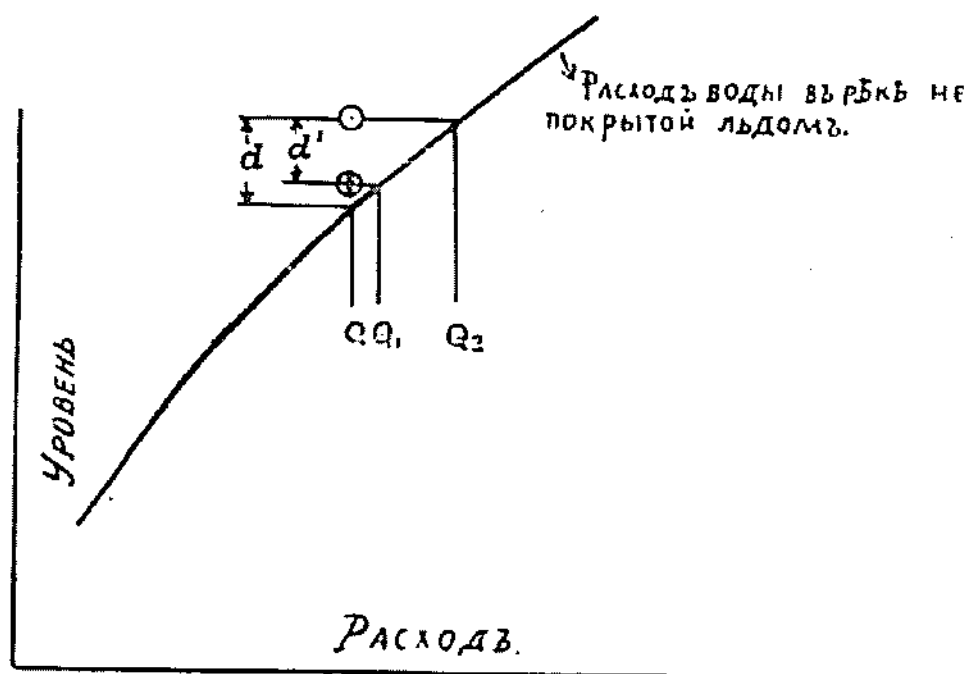
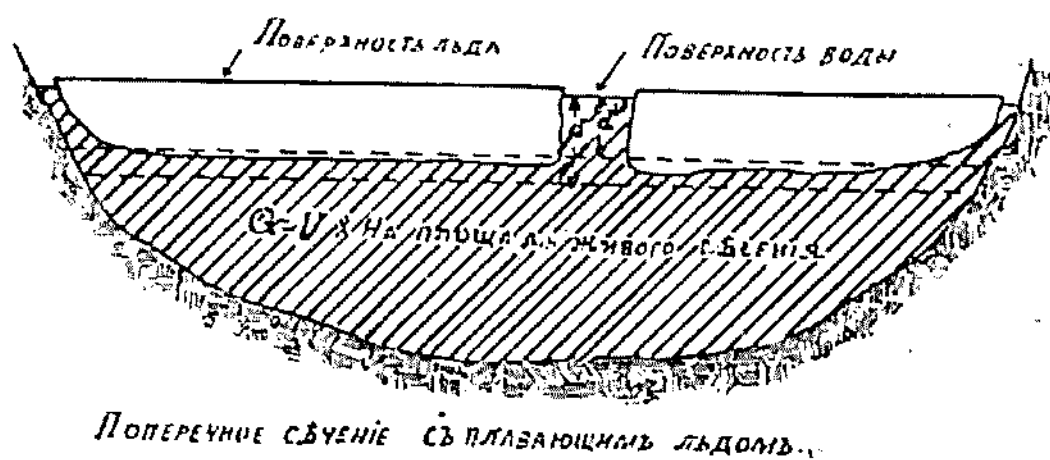
кровомъ, каковое опредѣленіе необходимо для правильности отнесенія полученныхъ измѣреніями элементовъ скорости и расхода воды къ горизонту воды, нижней поверхности льда и проч.

На фиг. 4 изображено живое сѣченіе рѣки, покрытой льдомъ; тамъ же указано положеніе уровня воды въ проруби, сдѣланной во льду, и приблизительное положеніе уровня, которое заняла бы вода, если бы не было льда:

$d$  обозначаетъ высоту, на которую уровень воды подымается вслѣдствіе присутствія льда, предполагая, что расходъ не измѣняется.

$d'$  обозначаетъ разстояніе отъ уровня воды, наблюдаемаго въ проруби, до нижней поверхности ледяного покрова, принимая во вниманіе среднюю отмѣтку нижней поверхности льда.

Допустимъ, что элементы зимнихъ измѣреній скоростей и расхода были вычислены на основаніи кривой скоростей теченія для русла, непокрытаго льдомъ. Пусть  $Q$  обозначаетъ измѣренный рас-



⊖ Расходы, отнесенные къ уровню воды.

⊕ Расходы, отнесенные къ нижней поверхности льда

Для идеальнаго случая :  $d:0$

Фиг. 4. Живое сѣченіе рѣки, покрытой льдомъ.

ходъ;  $Q_1$ —расходъ, полученный отъ примѣненія кривой скорости теченія при отнесеніи данныхъ къ нижней поверхности льда;  $Q_2$ —расходъ, полученный при отнесеніи данныхъ къ уровню воды въ проруби. Въ руслѣ, непокрытомъ льдомъ,  $Q$  будетъ равняться  $Q_2$ , а  $d$  будетъ равняться нулю. Для случаевъ же, когда рѣка покрыта льдомъ,  $d$  равно 0 или выражается положительной величиной, опредѣленіе которой и составляетъ задачу изслѣдованій.



Для большинства станцій вычисленіе возвышенія зимняго уровня воды (зимняго подпора) по отношенію къ горизонту воды въ лункѣ легче осуществить, чѣмъ то же вычисленіе относительно нижняго горизонта ледяного покрова по слѣдующимъ причинамъ:

1) Въ этомъ случаѣ величины возвышенія всегда будутъ положительными, такъ какъ вліяніе льда сказывается въ повышеніи горизонта воды по сравненію съ лѣтнимъ уровнемъ.

2) Относить величину подпора къ уровню воды—проще и точнѣе чѣмъ относить ее къ нижней поверхности ледяного покрова, такъ какъ въ первомъ случаѣ достаточно продолбить одну лишь лунку. Во второмъ же случаѣ необходимо продолбить много лунокъ и вычислить среднюю глубину отъ уровня воды до нижней поверхности льда; полученные при этомъ результаты могутъ считаться лишь приблизительными, вслѣдствіе неравномѣрности толщины льда, а также вслѣдствіе колебанія уровня воды въ лункахъ. Если обозначить отношеніе  $\frac{Q}{Q_2} = C$ , а отношеніе  $\frac{Q}{Q_1}$  черезъ  $C'$ , то, по даннымъ изслѣдованій Адамса, въ 14 пунктахъ оказалось, что  $C$  колебалось меньше, чѣмъ  $C'$ . Въ идеальномъ случаѣ  $\frac{Q}{Q_2} = C = 1$ .

Въ слѣдующихъ §§ 5 - 8 приводятся нѣкоторые примѣры изъ произведенныхъ наблюденій на рѣкахъ Сѣв. Америки, для иллюстраціи числовыхъ значеній коэффиціентъ  $C$  и  $C'$ .

### § 5. Рѣка Елькъ, близъ Большого озера въ Миннезотѣ.

Водомѣрный постъ на рѣкѣ Елькъ, близъ Большого озера, расположенъ въ нѣсколькихъ футахъ выше моста, считая противъ теченія. Въ продолженіе большей части зимы ледъ вовсе не наблюдается на разстояніи нѣсколькихъ футовъ отъ поста, что объясняется, по всей вѣроятности, присутствіемъ теплыхъ ключей въ описываемой мѣстности. Гидрометрическая станція расположена въ разстояніи около 200 футовъ ниже описаннаго поста. Результаты зимнихъ измѣреній въ теченіе 1911-12 и 1912-13 года приведены въ первой таблицѣ на слѣдующей страницѣ.

Толщина льда и разстояніе отъ уровня воды до нижней поверхности льда измѣрялись при каждомъ опредѣленіи скоростей, такъ что отмѣтка горизонта воды и отмѣтка нижней поверхности льда могутъ быть вычислены.

Данные приведенной таблицы графически представлены на фигурѣ 5. Эпюра указываетъ на совершенное отсутствіе соотно-



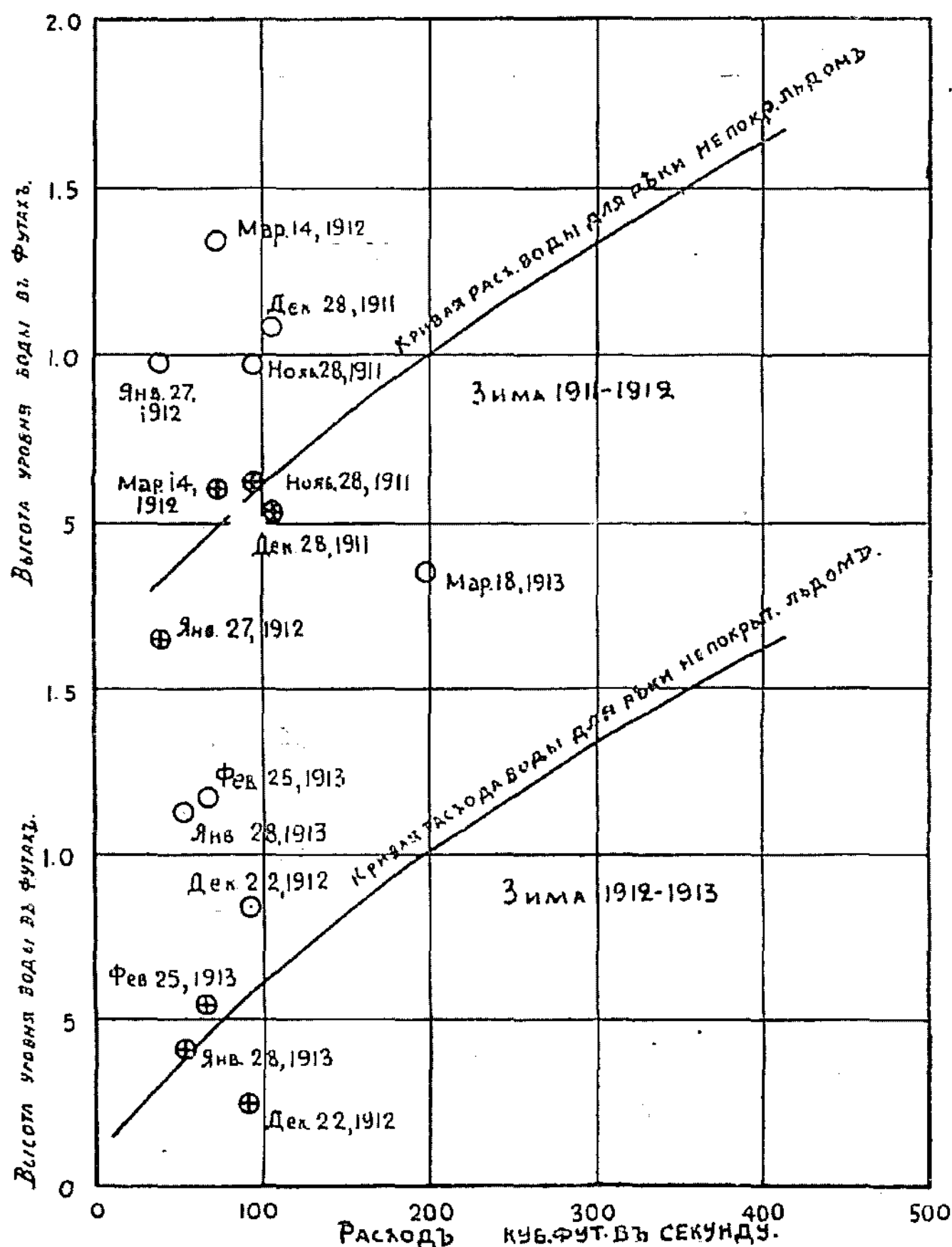
|             | Толщина льда. | Поверхность воды надъ льдомъ. | Отмѣтки.       |                          | Измѣренный расходъ воды. | Расходъ отнесенъ къ уровню воды. |      | Расходъ отнесенъ къ нижней поверхности льда. |      |
|-------------|---------------|-------------------------------|----------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|------|----------------------------------------------|------|
|             |               |                               | Поверхн. воды. | Нижняя поверхность льда. |                          | Расходъ.                         | С.   | Расходъ.                                     | С'.  |
| 1911 г.     | Футы.         | Футы.                         | Футы.          | Футы.                    | Кб. фт. въ сек.          | Кб. фт. въ сек.                  |      | Кб. фт. въ сек.                              |      |
| Ноября 28 . | 0,36          | 0                             | 0,98           | 0,62                     | 96                       | 195                              | 0,49 | 105                                          | 0,92 |
| Декабря 28  | 0,55          | 0                             | 1,08           | 0,53                     | 106                      | 224                              | 0,47 | 85                                           | 1,25 |
| 1912 г.     |               |                               |                |                          |                          |                                  |      |                                              |      |
| Января 27 . | 0,92          | 0,09                          | 0,97           | 0,14                     | 39                       | 192                              | 0,20 | 16                                           | 2,24 |
| Марта 14 .  | 0,97          | 0,02                          | 1,34           | 0,59                     | 73                       | 305                              | 0,24 | 98                                           | 0,74 |
| Тоже. . . . | 0,77          | 0,02                          | 1,34           | 0,59                     | 72                       | 305                              | 0,24 | 98                                           | 0,74 |
| Декабря 22  | 0,60          | 0                             | 0,81           | 0,24                     | 94                       | 158                              | 0,59 | 31                                           | 3,00 |
| Тоже. . . . | 0,60          | 0                             | 0,81           | 0,24                     | 95                       | 158                              | 0,59 | 31                                           | 3,00 |
| 1913 г.     |               |                               |                |                          |                          |                                  |      |                                              |      |
| Января 28 . | 0,89          | 0,05                          | 1,24           | 0,40                     | 55                       | 273                              | 0,20 | 58                                           | 0,95 |
| Тоже. . . . | 0,89          | 0,05                          | 1,24           | 0,40                     | 57                       | 273                              | 0,21 | 58                                           | 0,99 |
| Февраля 25  | 0,68          | 0                             | 1,32           | 0,54                     | 69                       | 298                              | 0,23 | 87                                           | 0,79 |

|             | Толщина льда. | Разстояние отъ поверхности воды до поверхности льда. | Отмѣтка уровня воды. | Отмѣтка нижней поверхности льда. | Измѣренный расходъ | Расходъ, отнесенный къ уровню воды. |      | Расходъ, отнесенный къ нижней поверхности льда. |      |
|-------------|---------------|------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------|-------------------------------------|------|-------------------------------------------------|------|
|             |               |                                                      |                      |                                  |                    | Расходъ.                            | С.   | Расходъ.                                        | С'.  |
| 1911 г.     | Футы.         | Футы.                                                | Футы.                | Футы.                            | Кб. фт. въ сек.    | Кб. фт. въ сек.                     |      | Кб. фт. въ сек.                                 |      |
| Декабря 15  | 0,80          | 0,75                                                 | 6,22                 | 5,47                             | 476                | 1089                                | 0,44 | 598                                             | 0,80 |
| 1912 г.     |               |                                                      |                      |                                  |                    |                                     |      |                                                 |      |
| Января 24 . | 1,14          | 1,06                                                 | 6,22                 | 5,16                             | 326                | 1089                                | 0,30 | 438                                             | 0,74 |
| Февраля 28  | 1,34          | 1,32                                                 | 6,54                 | 5,22                             | 368                | 1342                                | 0,27 | 467                                             | 0,74 |
| Декабря 18  | 0,74          | 0,74                                                 | 6,14                 | 5,40                             | 440                | 895                                 | 0,49 | 440                                             | 1,00 |
| 1913 г.     |               |                                                      |                      |                                  |                    |                                     |      |                                                 |      |
| Января 24 . | 1,10          | 1,07                                                 | 6,22                 | 5,15                             | 358                | 956                                 | 0,37 | 334                                             | 1,07 |
| Февраля 19  | 1,40          | 1,32                                                 | 6,47                 | 5,15                             | 344                | 1140                                | 0,30 | 334                                             | 1,03 |

шенія между нанесенными точками, такъ что черезъ эти точки нельзя провести закономѣрной кривой.

### § 6. Рѣка Кроу-Вингъ у Пиллагеръ.

Станція на рѣкѣ Кроу-Вингъ находится въ 11 миляхъ выше впаденія этой рѣки въ Миссисиппи. Естественный уклонъ и живое



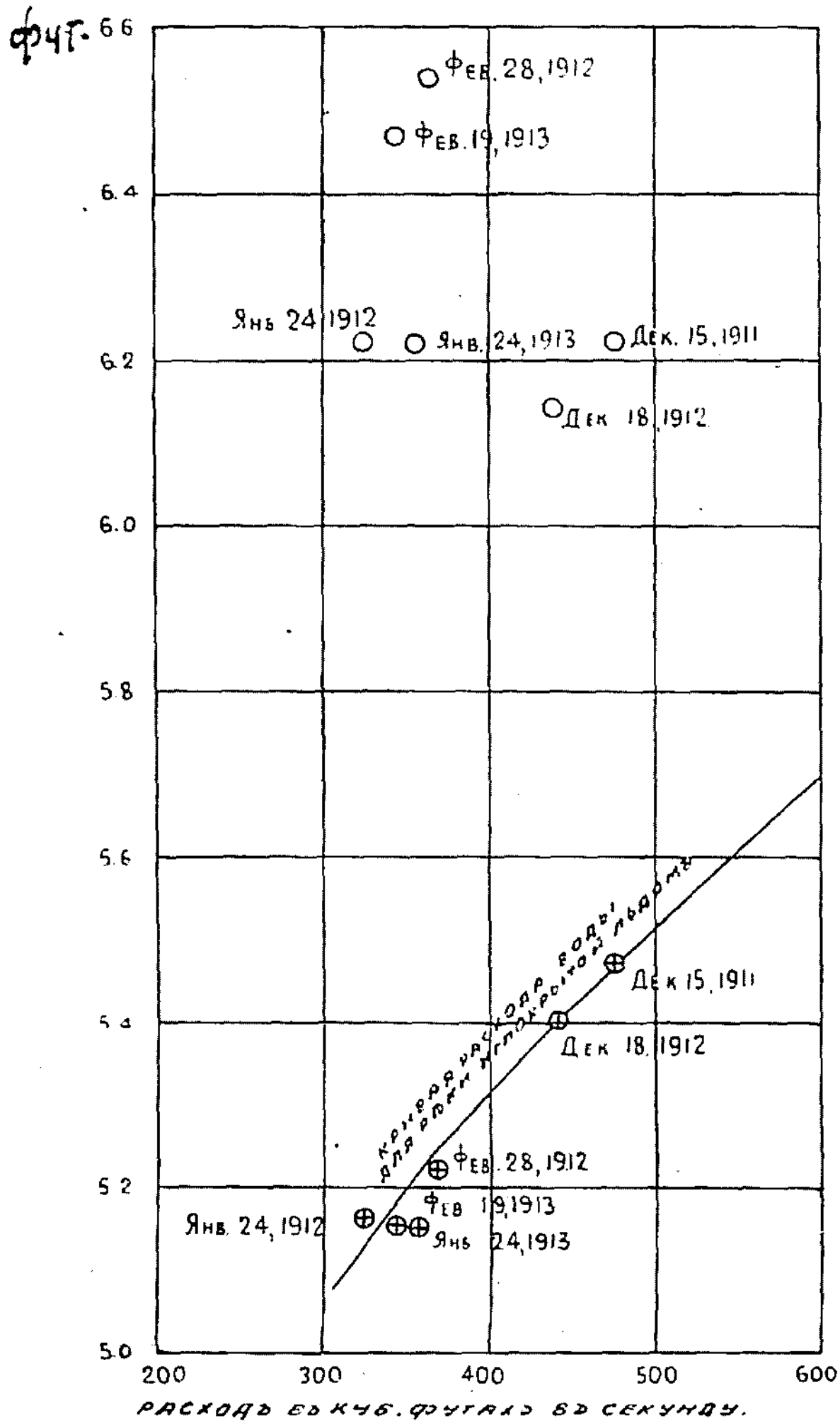
○ Расходъ, отнес. къ уровн. воды.

⊕ Расходъ, отнес. къ нижн. поверхн. льда.

Фиг. 5. Кривыя расхода воды рѣкѣ, покрытыхъ и непокрытыхъ льдомъ.

сѣченіе приблизительно одинаковы на всемъ протяженіи рѣки отъ станціи до устья рѣки; уклонъ выражается величиной 2,6 фут. на 1 милю, безъ рѣзкихъ переломовъ; въ настоящее время равномерность уклона нарушена устройствомъ плотины. За исключеніемъ мѣстъ, гдѣ наблюдаются случайные ключи или гдѣ поступаетъ большое количество грунтовой воды, на всемъ остальномъ протя-

женіи ледъ образуется слоемъ очень равномерной толщины какъ у береговъ, такъ и на серединѣ русла, такъ что вблизи водомѣрнаго поста среднее разстояніе отъ уровня воды до нижней поверхности льда приблизительно одно и то же. Результаты измѣреній,



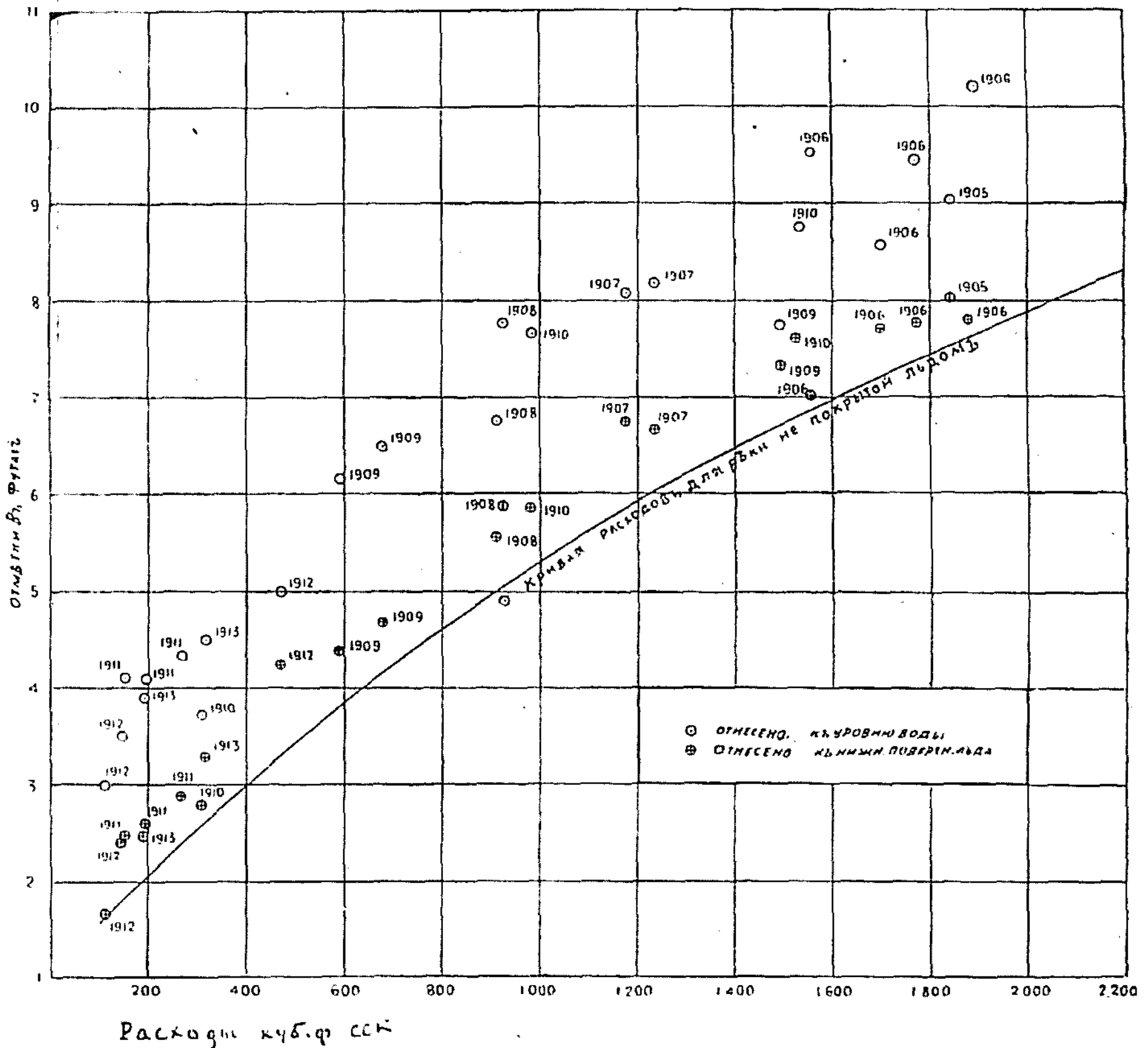
Фиг. 6. Кривая зимняго расхода воды рѣки Кроу-Вингъ.

произведенныхъ на станціи зимой 1911-12 и 1912-13 гг., помѣщены во второй таблицѣ на стр. 22 и изображены графически на фиг. 6.

Эпюра указываетъ на отсутствіе закономерной зависимости между величинами расхода воды и отмѣтками горизонта воды; въ то же время точки кривой расходовъ, отнесенной къ нижней поверхности льда, почти совпадаютъ съ кривой лѣтнихъ расходовъ.

# § 7. Красная рѣка у Грандъ-Форкъ.

Станція на Красной рѣкѣ расположена близъ моста Тихоокеан-



Фиг. 7. Кривая зимняго расхода воды Красной рѣки.

ской желѣзной дороги. Площадь бассейна этой рѣки выражается величиной около 25,000 кв. миль.

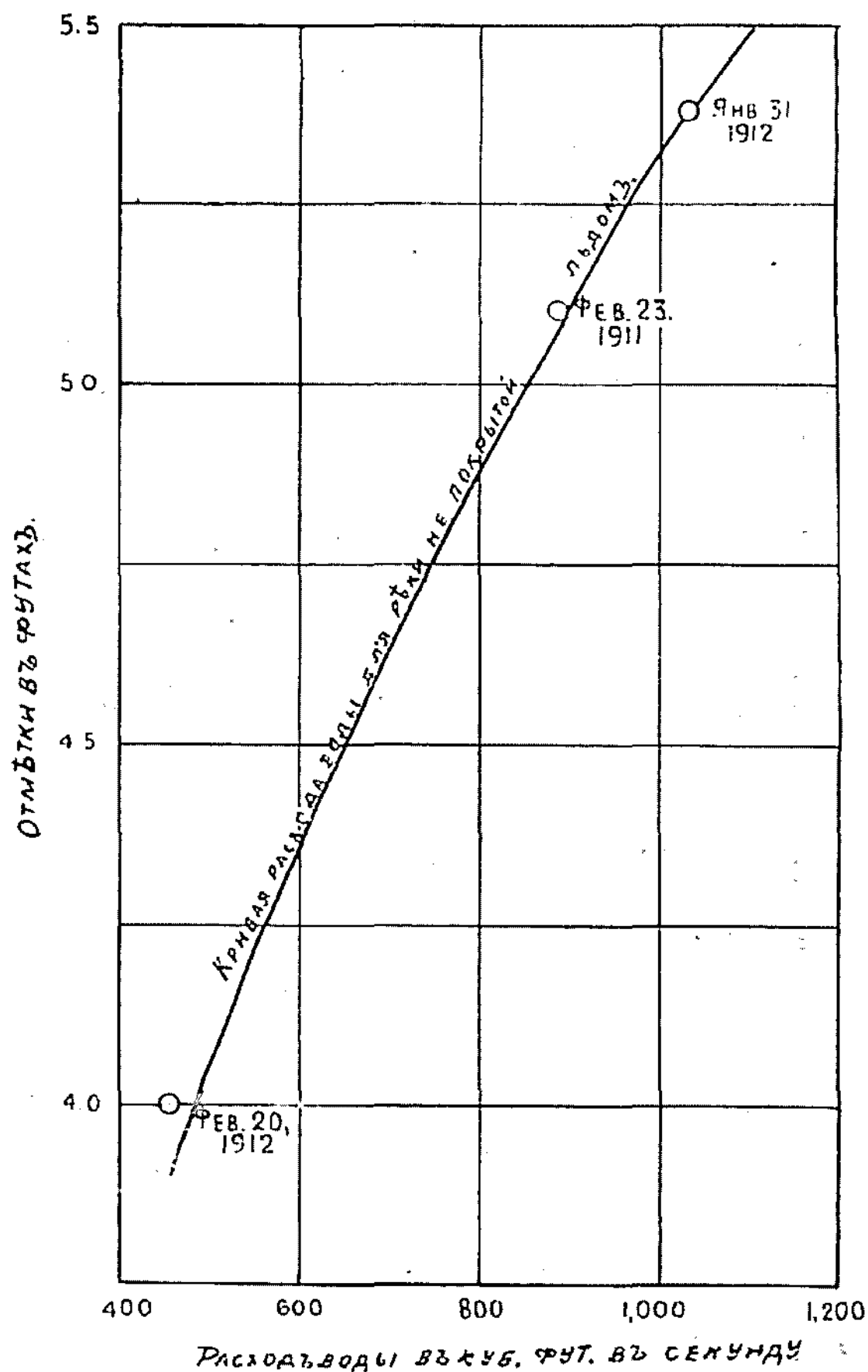
Результаты наблюдений съ 1905 года приведены въ таблицѣ; они овозображены также графически на фиг. 7.

Русло подвержено размыву; поэтому ежегодно составляются новыя кривыя расходовъ. На описанной станціи не наблюдается закономерной зависимости между величинами расходовъ, какъ въ случаѣ отнесенія расходовъ къ уровню воды, такъ и въ случаѣ отнесенія ихъ къ нижней поверхности льда: получаются двѣ кривыя, идущія параллельно кривой лѣтнихъ расходовъ (фиг. 7).

| Ч И С Л А.         | Отметки уровня<br>воды. | Отметки нижней<br>поверхности льда. | Расходы измѣ-<br>ренные. | Расходъ, отнесен-<br>ный къ уровню<br>воды. | С.   | Расходъ, отнесен-<br>ный къ нижней<br>поверхности льда. | С'.  |
|--------------------|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------|------|
|                    | Футы.                   | Футы.                               | Куб. фут.<br>въ сек.     | Куб. фут.<br>въ сек.                        |      | Куб. фут.<br>въ сек.                                    |      |
| 1905 г.            |                         |                                     |                          |                                             |      |                                                         |      |
| Декабря 22. . . .  | 9,05                    | 8,02                                | 1840                     | 2660                                        | 0,69 | 2090                                                    | 0,88 |
| 1906 г.            |                         |                                     |                          |                                             |      |                                                         |      |
| Января 29 . . . .  | 9,45                    | 7,79                                | 1771                     | 2890                                        | 0,61 | 1980                                                    | 0,90 |
| Марта 5 . . . .    | 9,51                    | 7,01                                | 1554                     | 2930                                        | 0,53 | 1840                                                    | 0,84 |
| " 23 . . . .       | 10,24                   | 7,82                                | 1841                     | 3370                                        | 0,56 | 1990                                                    | 0,94 |
| Декабря 21. . . .  | 8,59                    | 7,71                                | 1698                     | 2400                                        | 0,71 | 1940                                                    | 0,88 |
| 1907 г.            |                         |                                     |                          |                                             |      |                                                         |      |
| Января 28 . . . .  | 8,07                    | 6,74                                | 1177                     | 2120                                        | 0,56 | 1480                                                    | 0,80 |
| Марта 4 . . . .    | 8,18                    | 6,68                                | 1216                     | 2180                                        | 0,56 | 1460                                                    | 0,83 |
| 1908 г.            |                         |                                     |                          |                                             |      |                                                         |      |
| Января 20 . . . .  | 6,76                    | 5,57                                | 912                      | 1490                                        | 0,61 | 1080                                                    | 0,84 |
| Марта 9 . . . .    | 7,76                    | 5,89                                | 924                      | 1960                                        | 0,47 | 1190                                                    | 0,78 |
| 1909 г.            |                         |                                     |                          |                                             |      |                                                         |      |
| Января 25 . . . .  | 6,50                    | 4,67                                | 677                      | 1220                                        | 0,55 | 818                                                     | 0,83 |
| Февраля 15. . . .  | 6,15                    | 4,39                                | 592                      | 1270                                        | 0,47 | 740                                                     | 0,80 |
| Ноября 23 . . . .  | 7,78                    | 7,34                                | 1482                     | 1970                                        | 0,75 | 1760                                                    | 0,84 |
| 1910 г.            |                         |                                     |                          |                                             |      |                                                         |      |
| Января 14 . . . .  | 8,77                    | 7,65                                | 1530                     | 2510                                        | 0,61 | 1900                                                    | 0,81 |
| Февраля 28 . . . . | 7,67                    | 5,88                                | 983                      | 1910                                        | 0,51 | 1180                                                    | 0,81 |
| Декабря 13. . . .  | 3,74                    | 2,80                                | 312                      | 575                                         | 0,54 | 326                                                     | 0,88 |
| 1911 г.            |                         |                                     |                          |                                             |      |                                                         |      |
| Февраля 14 . . . . | 4,10                    | 2,60                                | 198                      | 665                                         | 0,30 | 312                                                     | 0,64 |
| " 18 . . . .       | 4,11                    | 2,48                                | 177                      | 668                                         | 0,26 | 286                                                     | 0,62 |
| " 25 . . . .       | 4,33                    | 2,88                                | 235                      | 724                                         | 0,33 | 374                                                     | 0,62 |
| 1912 г.            |                         |                                     |                          |                                             |      |                                                         |      |
| Января 9 . . . .   | 3,50                    | 2,41                                | 175                      | 515                                         | 0,34 | 272                                                     | 0,64 |
| Февраля 12 . . . . | 3,00                    | 1,64                                | 115                      | 400                                         | 0,29 | —                                                       | —    |
| Декабря 12 . . . . | 5,00                    | 4,24                                | 473                      | 915                                         | 0,52 | 700                                                     | 0,68 |
| 1913 г.            |                         |                                     |                          |                                             |      |                                                         |      |
| Января 25 . . . .  | 4,50                    | 3,30                                | 319                      | 770                                         | 0,41 | 469                                                     | 0,68 |
| Марта 8 . . . .    | 3,90                    | 2,48                                | 196                      | 615                                         | 0,52 | 288                                                     | 0,68 |

### § 8. Рѣка Ракеттъ, близъ Пьерсфильда.

Станція на рѣкѣ Ракеттъ близъ Пьерсфильда расположена въ 0,5 мили ниже плотины и на  $\frac{3}{4}$  мили ниже Черныхъ пороговъ.



Фиг. 8. Кривая зимняго расхода воды р. Ракеттъ.

Между плотинной и началомъ пороговъ рѣка ежегодно замерзаетъ на глубину отъ 1 до 2 футовъ. Кривая расходовъ воды изображена на фиг. 8.

Числовыя данныя помѣщены въ слѣдующей таблицѣ:

Слѣдуетъ отмѣтить, что расходы, измѣренныя 23 февраля 1911 г. (1) и 31 января 1912 года (2) совпадаютъ съ лѣтними расходами, а расходъ, измѣренный 20 февраля 1912 года (3), только на 6% выходитъ изъ предѣловъ кривой лѣтнихъ расходовъ; такимъ образомъ кривая для лѣтнихъ расходовъ рѣки можетъ быть пригодна и для вычисленія зимнихъ расходовъ.



| В Р Е М Я.                | Длина. | Площадь<br>сѣченія. | Средняя<br>скорость. | Подпоръ. | Расходъ.           |
|---------------------------|--------|---------------------|----------------------|----------|--------------------|
|                           | Футы.  | Квадр.<br>футы.     | Футы въ<br>секунд.   | Футы.    | Футы въ<br>секунд. |
| 1) Февраля 23 1911 г. (а) | 258    | 796                 | 1,12                 | 5,10     | 888                |
| 2) Января 31 1912 г. (а)  | 268    | 1180                | 0,87                 | 5,38     | 1030               |
| 3) Февраля 20 1912 г. (б) | 270    | 1054                | 0,43                 | 4,00     | 0454               |

Обозначенія: а — рѣка почти вся свободна отъ льда, за исключеніемъ небольшого количества льда у береговъ;

б — на профилѣ станціи нѣтъ льда.

### § 9. Игольчатый ледъ.

Присутствіе игольчатого льда въ руслѣ рѣки сильно затрудняетъ опредѣленіе расходовъ воды. Заполняя живое сѣченіе рѣки въ большей или меньшей степени, игольчатый ледъ, особенно въ соединеніи съ доннымъ, стѣсняетъ живое сѣченіе и вызываетъ повышение уровня воды. Если игольчатый ледъ наблюдается въ маломъ количествѣ, то вызываемое имъ повышение уровня можетъ быть настолько незначительнымъ, что съ нимъ можно и не считаться. Но если игольчатый ледъ наблюдается въ большомъ количествѣ, то онъ можетъ заполнить все русло рѣки и вызвать заторъ льда, вслѣдствіе чего вода подыметъ, пока не покроетъ всего льда или пока увеличившееся давленіе воды не вытолкнетъ всей массы скопившагося игольчатого льда. Главною причиною описанныхъ заторовъ, по всей вѣроятности, является донный ледъ. Такъ какъ при наличіи игольчатого льда въ руслѣ рѣки очень трудно производить измѣренія расходовъ воды, то получаемые результаты въ рѣдкихъ случаяхъ могутъ быть пріемлемыми.

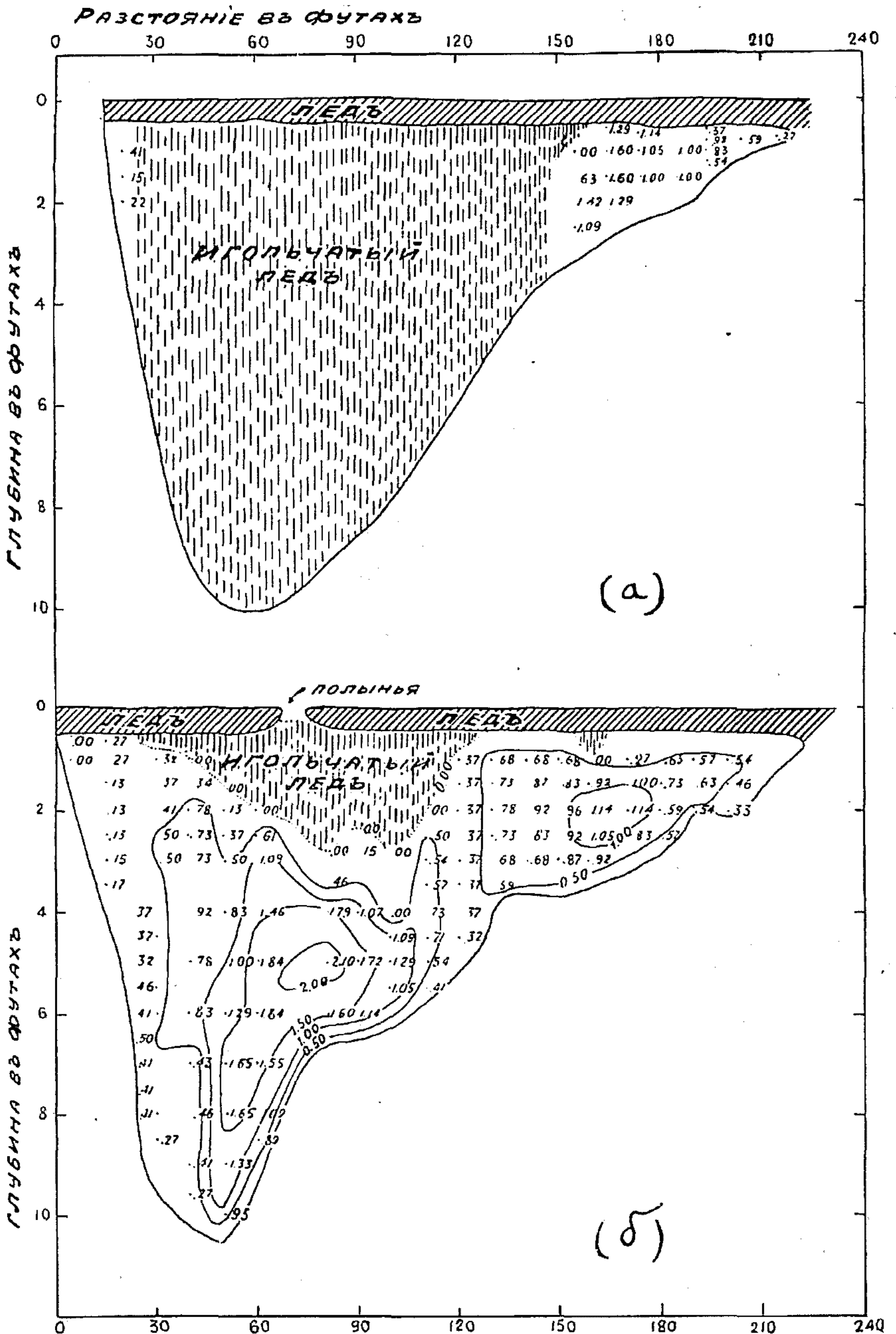
На фиг. 9 показано дѣйствіе игольчатого льда на живое сѣченіе рѣки и на скорости теченія. Въ этомъ случаѣ на верхнемъ участкѣ рѣки русло было совершенно заполнено игольчатымъ льдомъ (а); на нижнемъ же участкѣ, въ 200 футахъ ниже по теченію (б), игольчатый ледъ наблюдался въ небольшомъ количествѣ.

### § 10. Донный ледъ.

Наростая у дна, донный ледъ вызываетъ мѣстный подъемъ уровня воды, особенно, если онъ наблюдается вмѣстѣ съ игольча-



тымъ льдомъ. Образованіе доннаго льда обыкновенно наблюдается на участкахъ рѣки, лежащихъ ниже незамерзающихъ зимой мѣстъ



Фиг. 9. Дѣйствіе игольчатаго льда на живое сѣченіе и скорость теченія рѣки.

съ большими скоростями теченія. Въ этихъ случаяхъ, когда рѣка

не покрыта льдомъ, нетрудно установить связь между колебаніями уровня воды и образованіемъ доннаго льда, что, въ свою очередь, зависитъ отъ колебаній температуры воздуха.

Этотъ вопросъ довольно подробно изученъ на рѣкѣ Кутенай, у Либби.

### § 11. *Изслѣдованія на рѣкѣ Кутенай у Либби.*

Измѣренія расходовъ на р. Кутенай (фиг. 10) производились изъ люльки, подвѣшенной на перетянутомъ черезъ рѣку стальномъ канатѣ; въ 1912 году, когда былъ выстроенъ мостъ въ 100 тахъ ниже станціи, тросъ былъ снятъ.

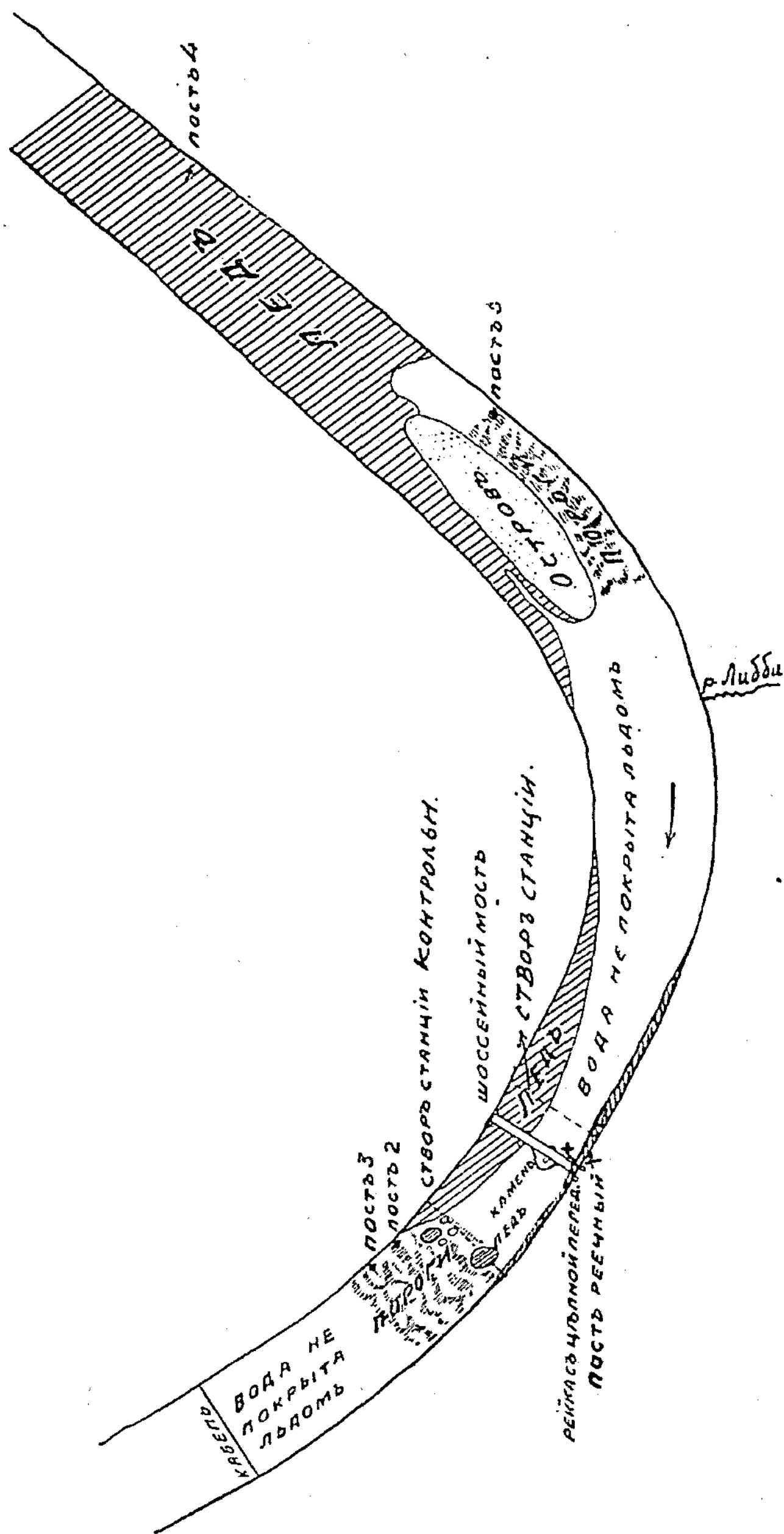
Въ теченіе зимы 1912-13 гг. измѣренія производились съ лодки, привязанной къ старому желѣзному канату, причемъ горизонтальныя разстоянія были размѣчены на перетянутой стальной проволоки, которая приходилась въ точности надъ канатомъ. На описываемой станціи въ зиму 1912-1913 года часть русла, шириною 240 футовъ, оставалась непокрытой льдомъ, а часть русла, шириной 80 футовъ, ближе къ правому берегу рѣки, была покрыта льдомъ. Черезъ часть русла, непокрытую льдомъ, проходило около 95% всего расхода воды. Въ рѣкѣ наблюдалось довольно большое количество комьевъ снѣга и льда; во время производства измѣреній температура иногда опускалась ниже нуля.

Измѣренія расходовъ были произведены съ достаточной степенью точности, такъ какъ незначительное количество воды протекало подъ ледянымъ покровомъ.

Опредѣленіе расходовъ воды производилось ежедневно съ 3 по 20 февраля, а послѣ этого съ перерывами до 13 марта. Результаты измѣреній съ 3 по 16 февраля не указываютъ опредѣленной связи между температурой и расходомъ воды, хотя время отъ времени уровень и подымался, вслѣдствіе образованія доннаго льда.

Изученіе порога ниже створа станціи показало, что донный ледъ не производитъ большого вліянія и что измѣренія уровня воды ниже по теченію могутъ дать точные результаты. Поэтому 17 февраля былъ поставленъ постъ № 2 (фиг. 10) на правомъ берегу на разстояніи 1.000 футовъ ниже моста. Новый постъ былъ сооруженъ изъ раздѣленныхъ на десятыя части желѣзныхъ свай, забитыхъ въ гравелистое дно. Начиная отъ этого мѣста, на большомъ протяженіи ниже поста вода остается свободной ото льда почти

весь годъ, если не считать небольшого количества льда у береговъ. Опасеніе, что постъ № 2 можетъ быть поврежденъ льдомъ у по-



фиг. 10. Планъ части рѣки Кутенай.

рога лежащаго выше поста, было причиной установки поста № 3 (фиг. 10).

Низкія температуры, наблюдавшіяся во второй половинѣ фев-

раля, вызвали образованіе доннаго льда, что явилось причиной повышенія уровня воды 25 февраля на 0,49 фута. Въ этотъ же день уровень воды на посту № 2 упалъ на 0,13 фута за промежутокъ времени съ утра до вечера, что указывало, что постъ № 2 былъ въ сферѣ вліянія льда.

Ниже въ таблицѣ приводятся показанія постовъ № 1 и № 2.

| Сравнительныя записи колебаній уровня воды на постахъ. |                |       |                |                |       |
|--------------------------------------------------------|----------------|-------|----------------|----------------|-------|
| П о с т ъ № 1.                                         |                |       | П о с т ъ № 2. |                |       |
| Час.                                                   | В р е м я.     | Футы. | Час.           | В р е м я.     | Футы. |
| 9 . 00                                                 | до полудня.    | 3,01  | 9 . 10         | до полудня.    | 2,93  |
| 11 . 00                                                | "              | 3,00  | 11 . 45        | "              | 2,93  |
| 12 . 00                                                | полдень.       | 2,95  | 1 . 15         | послѣ полудня. | 2,90  |
| 1 . 05                                                 | послѣ полудня. | 2,82  | 2 . 25         | "              | 2,81  |
| 2 . 10                                                 | "              | 2,55  | 4 . 30         | "              | 2,80  |
| 4 . 50                                                 | "              | 2,52  | —              | —              | —     |

Разность показаній на постахъ наблюдалась ежедневно, когда появлялся донный ледъ на рѣкѣ, причемъ была замѣчена большая разница между показаніями поста до полудня и показаніями послѣ полудня на посту № 1; на посту же № 2 разница между показаніями была незначительная и даже иногда равнялась нулю.

Попытки найти мѣсто въ незамерзающей части рѣки, гдѣ донный ледъ не вліялъ бы на показанія постовъ, оказались тщетными; между прочимъ было установлено, что, гдѣ образуется хотя бы тонкій поверхностный ледъ или гдѣ вода заполнена кусками льда и свѣгу, никогда не образуется доннаго льда. Поэтому 27 февраля былъ установленъ 4-й постъ, въ 2 миляхъ выше моста, гдѣ вода была покрыта льдомъ на протяженіи 10 миль вверхъ по теченію. Въ этомъ мѣстѣ рѣка имѣетъ большія глубины; русло ея было заполнено кусками льда и свѣгу: въ разстояніи четверти мили ниже поста расположены пороги. Толщина льда выражалась величиной около 2 футовъ.

Колебанія уровня воды на посту № 4 подвергались вліянію поверхностнаго льда на посту, а также и затора, образовавшагося на

нижележащемъ порогѣ (фиг. 10). Донный ледъ, повидимому, не былъ причиной этого затора; вліяніе температуры на высоту затора также не могло сказаться въ этомъ случаѣ, такъ какъ описанное явленіе наблюдалось въ промежутокъ времени отъ утра до полудня. Повышеніе уровня было отмѣчено въ промежутокъ времени между утромъ и ночью, а пониженіе произошло ночью.

Чтобы изучить колебанія уровня воды на участкѣ въблизи поста № 4 и на порогѣ, расположенномъ ниже, 5 марта былъ устроенъ постъ № 5 на лѣвомъ берегу, недалеко отъ части рѣки, которая покрыта льдомъ. Въ этомъ мѣстѣ русло рѣки раздѣлено островомъ на два рукава; въ низкую воду зимою функціонируетъ только лѣвый рукавъ, пропускающій почти весь расходъ рѣки. На этомъ лѣвомъ рукавѣ и былъ устроенъ постъ № 5. Вліяніемъ рѣчки Либби, впадающей на описываемомъ участкѣ ниже постовъ № 4 и № 5, можно было пренебречь, въ виду незначительности ея расхода.

Наблюденія на посту № 5 въ теченіе времени, когда рѣка покрыта льдомъ, не сходятся съ наблюденіями, произведенными, когда рѣка свободна ото льда, вслѣдствіе описаннаго выше раздѣленія рѣки на два рукава. Въ теченіе зимы правый рукавъ не работаетъ, такъ какъ онъ промерзаетъ почти до дна; но когда ледъ исчезаетъ, вода направляется по двумъ рукавамъ, и горизонтъ воды на посту № 5 понижается. Подобное же обстоятельство было замѣчено и на посту № 4. Разницы въ измѣреніяхъ показаній постовъ выражались слѣдующими цифрами: 0,4 фута на посту № 5 и 1,2 фута на посту № 4. Наблюденія на посту № 2 не подверглись вліянію поверхностнаго льда, но за то на ихъ показанія вліялъ донный ледъ при температурѣ  $-9^{\circ}$  Ф.; показанія мѣнялись приблизительно на 0,13 фута, или на 7 процентовъ. Наблюденія на посту № 3 подверглись такимъ же измѣненіямъ, какъ и на № 2, хотя этотъ постъ находится въ довольно благопріятныхъ условіяхъ. Впослѣдствіи было установлено, что высота уровня воды не подвергалась измѣненіямъ подъ вліяніемъ поверхностнаго льда, и постъ № 3 былъ упраздненъ.

Наблюденія, произведенныя на постахъ, когда ледъ покрываетъ рѣку, показываютъ, что температура можетъ служить контрольнымъ факторомъ; можно считать какъ общее правило, что расходъ воды въ рѣкѣ мѣняется очень медленно въ самое холодное время. Рѣзкія колебанія уровня воды вызываются, во-первыхъ, образованіемъ льда на створѣ станціи: вслѣдствіе этого уровень воды сначала повышается, а затѣмъ быстро падаетъ; во-вторыхъ, доннымъ льдомъ, который можетъ покрыть все дно рѣки, въблизи створа станціи.

Донный ледь обыкновенно образуется ночью, а если на слѣдующій день погода ясная и температура довольно высокая, то этотъ ледь подыметъ на поверхность воды и вызоветъ большую разницу между наблюденіями на посту утреннимъ и послѣ полудня. Если погода будетъ пасмурная, то донный ледь будетъ оставаться на днѣ рѣки въ теченіе одного или нѣсколькихъ дней, что вызоветъ повышеніе уровня воды въ теченіе этихъ дней.

7 февраля были произведены два наблюденія: въ началѣ перваго, утренняго измѣренія показаніе на посту было 0,7 фута, а расходъ составлялъ 2160 куб. футовъ въ секунду; при второмъ измѣреніи, послѣ полудня, показаніе на посту было 0,09 футовъ, а расходъ составлялъ 2180 куб. футовъ въ секунду. Такимъ образомъ въ теченіе дня уровень воды понизился на 0,61 фута, между тѣмъ какъ расходъ воды остался почти безъ измѣненія.

Зависимость между расходами воды, высотой уровня и температурой воздуха за время съ 1 ноября до 30 марта 1913 года показаны на черт. 1, гдѣ можно замѣтить рѣзкое колебаніе уровня воды, совпадающее съ измѣненіями температуры воздуха.

Донный ледь обыкновенно образуется ночью, при температурѣ 14° F. ниже точки замерзанія и вызываетъ повышенія уровня воды на 0,6-0,7 фута. Уносъ льда теченіемъ, что обыкновенно начинается послѣ полудня, вызываетъ соотвѣтствующее пониженіе уровня воды, и въ теченіе нѣсколькихъ часовъ ледь, уносимый теченіемъ, совершенно исчезаетъ.

Если пониженіе уровня воды случается во время опредѣленія расхода воды, то принимаютъ показаніе поста, соотвѣтствующее концу измѣренія, вмѣсто того, чтобы брать среднее показаніе отъ начала до конца измѣренія. Вообще слѣдуетъ замѣтить, что наблюденія на водомѣрномъ посту въ теченіе времени, когда наблюдается донный ледь, не могутъ считаться достовѣрными, такъ какъ колебанія на посту въ этотъ періодъ совершенно незаконномѣрны и зависятъ отъ величины скопленій доннаго льда.

Въ виду сказаннаго, величины ежедневныхъ расходовъ воды за время отъ 1 декабря 1912 года по 3 февраля 1913 г., когда не были произведены непосредственныхъ измѣренія расхода воды, были вычислены для минимальныхъ показаній поста, какъ это показано на черт. 1.

Вліяніе зимняго подпора воды, за исключеніемъ подпора, вызваннаго образованіемъ доннаго льда, было вычислено по кривой расходовъ для того времени, когда льда не было, т. е. послѣ



3 февраля 1913 г. и съ 1 декабря 1912 года до 3 февраля 1913 г результаты получились слѣдующіе:

|                           | Фут. |                           | Фут. |
|---------------------------|------|---------------------------|------|
| дек. 1 до 5 . . .         | 0,05 | февраля 4 до 16 . . .     | 0,5  |
| дек. 6 до 15 . . .        | 0, 1 | февр. 17 до марта 5 . . . | 0,3  |
| дек. 16 до 23 . . .       | 0,15 | марта 6 до 12 . . .       | 0,2  |
| дек. 24 до янв. 7 . . .   | 0, 2 | марта 13 до 28 . . .      | 0,1  |
| янв. 8 до февраля 3 . . . | 0, 3 |                           |      |

Вычитая вычисленные величины изъ показаній поста, вычерченныхъ пунктиромъ на графикѣ колебаній уровня воды (черт. 1), нетрудно получить исправленный графикъ колебаній уровня воды, къ каковому графику можно примѣнить кривую расходовъ, построенную для періода, когда нѣтъ льда.

Графикъ колебаній уровня воды на посту указываетъ, что донный ледъ въ началѣ зимы образуется не въ такомъ большомъ количествѣ, какъ это наблюдается послѣ 1 февраля, и что большая часть колебаній уровня воды была вызвана скопленіями доннаго льда, образовавшагося въ теченіе короткаго времени.

#### ГЛАВА IV.

### Вычисленіе расходовъ воды въ рѣкѣ, покрытой льдомъ.

#### § 1. Примѣняемые методы.

Сложность образованія льда и разнообразіе условій, въ какихъ находятся различныя рѣки, препятствуютъ установленію какого-либо опредѣленнаго метода, который могъ бы быть вездѣ пригоденъ для опредѣленія зимняго расхода воды. Вообще, можно примѣнять излагаемые ниже способы.

1) Для полученія кривой зимнихъ расходовъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ можно воспользоваться кривой расходовъ для рѣки, не покрытой льдомъ.

2) Производя непосредственныя измѣренія зимнихъ расходовъ, въ нѣкоторыхъ случаяхъ можно построить спеціальныя кривыя зимнихъ расходовъ.

3) Измѣренія расходовъ воды могутъ производиться въ связи съ наблюденіями высоты стоянія уровня воды и данныхъ климатическихъ условій, а также условій образованія льда. Этотъ пріемъ можетъ быть примѣненъ:



а) въ видѣ такъ называемаго „сравнительнаго“ метода, заключающагося въ томъ, что для каждаго дня вычисляется расходъ воды и вмѣстѣ съ тѣмъ принимаются во вниманіе температура воздуха и атмосферные осадки. Затѣмъ полученныя вычисленіями данныя сличаются съ результатами измѣреній на ближайшихъ другихъ станціяхъ;

б) въ видѣ болѣе совершеннаго графическаго приѣма, въ которомъ учитываютъ вліяніе климатическихъ и метеорологическихъ факторовъ съ тѣмъ, чтобы было возможно воспользоваться кривой лѣтнихъ расходовъ путемъ введенія соотвѣтствующихъ поправокъ въ колебанія уровня воды.

## § 2. Первый методъ.

Примѣненіе перваго способа для опредѣленія зимнихъ расходовъ на основаніи кривой расходовъ для непокрытой льдомъ рѣки можетъ имѣть мѣсто лишь въ томъ случаѣ, если рѣка не покрыта льдомъ на створѣ гидрометрической станціи.

Если участокъ рѣки на станціи совершенно свободенъ ото льда, то зависимость между уклономъ, высотой уровня воды и величиной расхода не будетъ подвергаться значительнымъ измѣненіямъ, даже если протяженіе между водомѣрнымъ постомъ и участкомъ станціи будетъ покрыто льдомъ. К. Р. Адамсъ даетъ этому слѣдующее объясненіе:

„Допустимъ, что постъ установленъ выше плотины, и получена кривая расходовъ для случая, когда льда на рѣкѣ не имѣется. Ясно, что кривая расходовъ не подверглась бы измѣненіямъ, если бы на участкѣ рѣки выше плотины, были замѣчены бревна или другіе предметы: дѣло въ томъ, что высота переливающагося черезъ плотину слоя воды обуславливается возможностью пропуска даннаго расхода воды черезъ плотину. Если указанный выше матеріалъ будетъ замѣненъ льдомъ, то и онъ не окажетъ вліянія на высоту стоянія воды; поэтому можно сдѣлать заключеніе, что въ описанномъ случаѣ кривая расходовъ для рѣки, не покрытой льдомъ, можетъ быть примѣнена и для опредѣленія зимнихъ расходовъ“.

Къ сожалѣнію, очень рѣдко встрѣчаются условія, при которыхъ можно примѣнить описанный методъ; все же онъ примѣ-

\*) В. Г. Гойтъ называетъ этотъ методъ „Eye method“—зрительный методъ.

няется на нѣкоторыхъ станціяхъ Америки, на примѣръ, на описанной выше р. Ракеттъ (фиг. 8).

Въ случаѣ примѣненія этого метода, необходимо точно установить правильность водомѣрныхъ показаній, имѣя въ виду вліяніе температуры воздуха. Если измѣренія расхода воды въ теченіе нѣсколькихъ зимъ покажутъ, что ледъ наблюдается на станціи очень рѣдко и что поэтому кривая расходовъ при отсутствіи льда примѣнима и для зимнихъ расходовъ, то въ этомъ случаѣ непосредственныхъ измѣреній потребуются меньше, чѣмъ при другихъ методахъ. Однако, отсутствіе льда на станціи заставляетъ предполагать, какъ общее правило, что станція расположена вблизи пороговъ, гдѣ обыкновенно очень легко образуется донный ледъ.

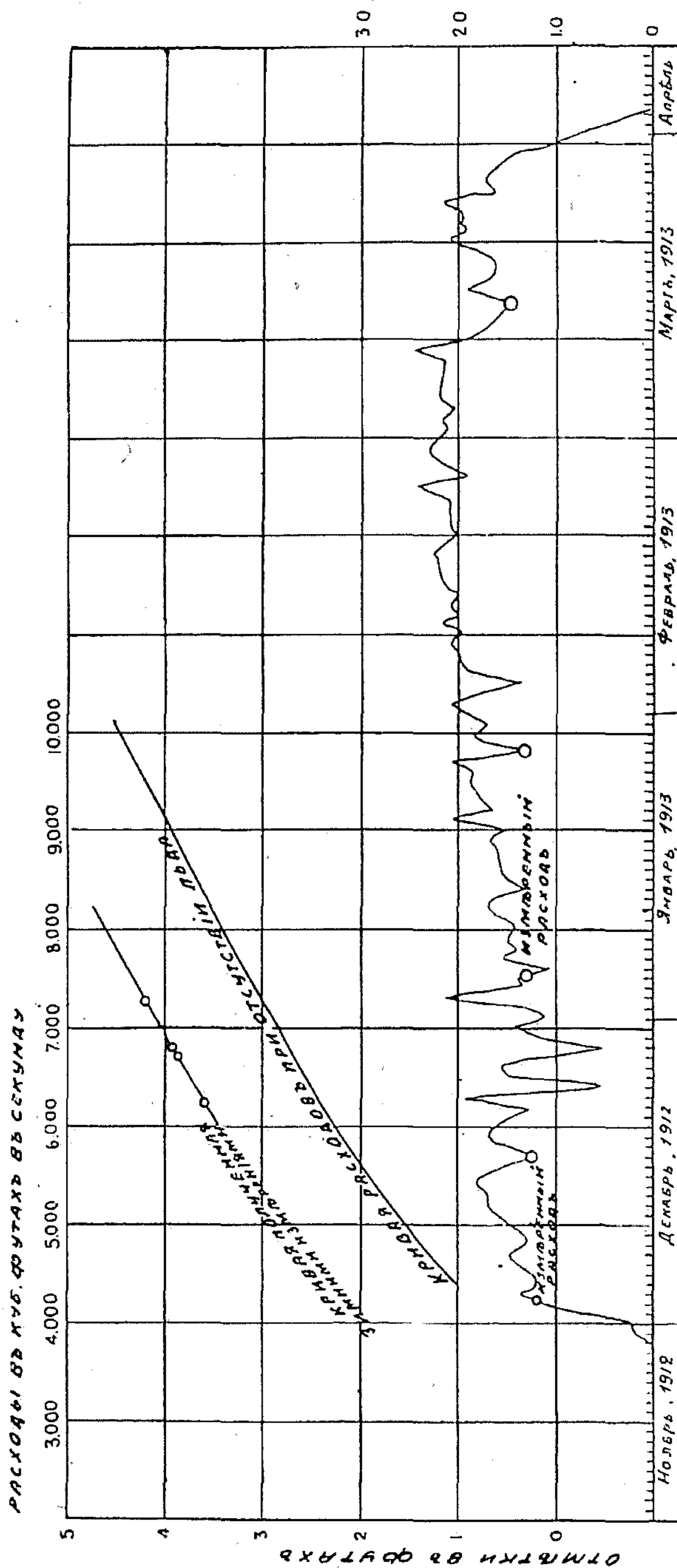
Чтобы обнаружить присутствіе доннаго льда, слѣдуетъ производить наблюденія на посту въ холодное время два раза въ день: утромъ и послѣ полудня. Обнаружить присутствіе доннаго льда легче раннимъ утромъ, чѣмъ днемъ. Имѣя въ виду вышеизложенное, надо стараться производить наблюденія послѣ максимума дневной температуры.

### § 3. *Второй методъ.*

Второй методъ заключается въ томъ, что для зимнихъ расходовъ строится особая кривая на основаніи непосредственныхъ измѣреній. Этотъ методъ можетъ примѣняться на широкихъ рѣкахъ, гдѣ уклонъ и живое сѣченіе почти не мѣняются на большомъ протяженіи. Впрочемъ, надо замѣтить, что указаннымъ методомъ должно пользоваться съ большою осторожностью, наблюдая, чтобы путемъ измѣреній расходъ былъ точно установленъ тотъ періодъ, когда можно пользоваться названной кривой. Далѣе, при пользованіи описываемымъ методомъ приходится допускать, что вліяніе зимняго подпора всегда одинаково, то есть, что величина послѣдняго не зависитъ ни отъ времени, ни отъ температуры. Между тѣмъ время и температура—два фактора, находящіеся въ тѣсной зависимости съ явленіями образованія льда.

На широкой рѣкѣ, которая замерзаетъ равномерно, величины расходовъ, измѣренныхъ, когда ледъ достигъ извѣстной толщины, вообще могутъ быть уложены на плавной кривой, но, очевидно, эта кривая не можетъ въ точности представить зависимости между, расходами воды и стояніемъ уровня воды въ періодъ времени когда вода начинаетъ обращаться въ ледъ или обратно.

Указанная кривая не может также выяснить правильной зависимости между расходом воды и высотой ее стояния, если въ



Фиг. 11. Кривыя зимняго расхода воды р. Райни.

промежуткѣ между измѣреніями ледяной покровъ сильно измѣнится,

вслѣдствіе измѣненія температуры. Описанный методъ примѣнялся на рѣкѣ Райни (фиг. 11). Здѣсь непосредственныя измѣренія расхода были произведены 2, 17 декабря, 5, 17 января и 15 марта.

#### § 4. Третій методъ.

##### а) Сравнительный методъ.

Для опредѣленія расходовъ воды въ рѣкѣ, покрытой льдомъ сплошь или частью, наиболѣе часто примѣняется сравнительный методъ, въ которомъ пользуются непосредственными измѣреніями расхода, а также данными, касающимися климатическихъ условій и присутствія льда; правильность колебаній уровня воды на посту контролируется путемъ одновременныхъ наблюденій и измѣренія количества атмосферныхъ осадковъ; величины расходовъ вычисляются для каждаго дня; получаемые результаты сравниваются съ результатомъ ближайшихъ станцій. Величина мѣсячнаго расхода, выведенная изъ описанныхъ вычисленій, сравнивается со средними мѣсячными расходами сосѣднихъ станцій, чтобы обнаружить ошибки.

Точность описаннаго метода во многомъ зависитъ отъ образа рѣчного теченія въ промежутокъ времени между непосредственными измѣреніями, а также отъ числа измѣреній и знакомства производителя работъ съ мѣстными условіями.

Описанный методъ даетъ хорошіе результаты для мѣстностей, гдѣ температура постоянна въ теченіе долгаго промежутка времени и гдѣ поверхностный ледъ имѣетъ на режимъ рѣки большее вліяніе, чѣмъ донный ледъ. При указанныхъ условіяхъ требуется меньшее число измѣреній расхода на станціи и меньшее число наблюденій на посту, чѣмъ въ мѣстностяхъ съ переменчивыми климатическими элементами.

Само собой разумѣется, въ данномъ случаѣ для полученія данныхъ о температурѣ воздуха и о количествѣ атмосферныхъ осадковъ можно пользоваться наблюденіями ближайшей метеорологической станціи.

##### б) Графическій методъ.

Наиболѣе совершеннымъ и универсальнымъ методомъ является такъ называемый „графическій методъ“; въ немъ учитываются почти всѣ факторы, вліяющіе на величину зимняго расхода воды. Названный методъ состоитъ въ слѣдующемъ: производятся наблюденія температуры воздуха, атмосферныхъ осадковъ, колебаній

уровня воды; полученные данные отмѣчаются на томъ же листѣ, гдѣ показаны величины расходовъ воды. Это даетъ возможность, во-первыхъ, контролировать связь между колебаніями уровня воды на посту и между метеорологическими факторами, и, во-вторыхъ, въ случаяхъ, когда расходы вычисляются по интерполяціи между непосредственно измѣренными расходами, вводить соотвѣтствующія поправки въ величины колебаній уровня воды. Описываемый методъ даетъ возможность съ особымъ удобствомъ и наглядностью учесть вліяніе температурнаго фактора на расходъ воды, что, какъ было указано выше, имѣетъ чрезвычайно важное значеніе. Графическій методъ былъ примѣненъ впервые американскимъ изслѣдователемъ Ноут'омъ въ 1912 г., и для станцій, гдѣ наблюдается донный ледъ, этотъ методъ является наиболѣе точнымъ.

Чтобы понять сущность графическаго метода и его детали, можно ознакомиться съ примѣненіемъ его на рѣкѣ Райни близъ Интернаціональнаго водопада на станціи, расположенной ниже плотины, принадлежащей обществу „Minnesota & Ontario Power Co“.

Расходы воды у плотины опредѣляются по способу водослива; расходы же на гидрометрической станціи опредѣляются съ помощью вертушки. Средній ежемѣсячный расходъ, опредѣляемый независимо другъ отъ друга двумя указанными методами въ теченіе времени, когда на гидрометрической станціи не имѣется зимняго подпора, отличается на 5% отъ истиннаго. Хотя уклонъ на участкѣ рѣки, прилежащемъ къ плотинѣ, незначителенъ, на рѣкѣ рѣдко образуется ледъ, вѣроятно по той причинѣ, что температура воды, идущей изъ покрытаго льдомъ озера, площадью въ 300 кв. миль, достаточно высока, чтобы препятствовать образованію льда, хотя въ то же время средняя температура воздуха въ теченіе шести мѣсяцевъ стоитъ ниже нуля, а именно: средняя температура (по Фаренгейту), въ ноябрѣ 23°, въ декабрѣ 9,7°, въ январѣ 5,4°, въ февралѣ 5,7° и въ мартѣ 18,9°.

Зная непосредственно измѣренныя вертушкой зимніе расходы воды, высоту стоянія уровня воды на станціи и кривую лѣтнихъ расходовъ для этой же станціи, нетрудно опредѣлить величину зимняго подпора для каждаго дня въ теченіе всей зимы. Зависимость между величиной зимняго подпора и средней температурой установлена очень опредѣленно, какъ указано на графикѣ (черт. 2).

Вліяніе доннаго льда на станціи близъ пороговъ въ значительной мѣрѣ уменьшается, благодаря имѣющемуся на рѣкѣ скопленію воды между створомъ станціи и порогами. Средній уклонъ рѣки

между станцією и порогами составляет въприблизительно 0,22 фута на милю; величина зимняго подпора выражается величиной отъ 1 до 2 фута, и даже болѣе.

На графикѣ (черт. 2) кривая зимнихъ подпоровъ изображена отдѣльно отъ кривой колебаній уровня воды, чтобы нагляднѣе указать связь между ними.

Описываемый методъ нѣсколько напоминаетъ методъ Стаута для вычисленія расходовъ въ размываемомъ руслѣ, но съ той разницей, что въ способѣ Стаута примѣняется только одна кривая расхода, пользуясь которой опредѣляютъ величины поправокъ въ кривой колебаній уровня воды.

Чтобы графическій методъ далъ наилучшій результатъ, необходимо произвести непосредственныя измѣренія максимума и минимума температуры, стоянія уровня и расходы воды.

### § 5. *Примѣненіе графическаго метода.*

Многія рѣки въ сѣверныхъ и западныхъ штатахъ Америки не вполнѣ покрываются льдомъ въ теченіе зимнихъ мѣсяцевъ. Во многихъ мѣстностяхъ ледъ образуется на рѣкѣ лишь на небольшомъ протяженіи вдоль береговъ, въ то время, какъ середина рѣки остается свободной ото льда; на другихъ рѣкахъ скорости настолько значительны, что все русло остается свободнымъ ото льда въ теченіе зимы. Такія условія обыкновенно встрѣчаются въ холмистыхъ и гористыхъ мѣстностяхъ. Если рѣка свободна ото льда на станціи, то на высоту стоянія уровня воды нерѣдко вліяетъ присутствіе доннаго льда; если вся рѣка покрыта льдомъ ниже станціи, то могутъ образоваться въ этомъ случаѣ заторы льда. Если вода замерзаетъ вдоль береговъ на профилѣ поста или на станціи, лежащей ниже ея, но середина свободна ото льда, то на водомѣрныя наблюденія вліяютъ ледяные заторы, образующіеся на профилѣ станціи.

Если рѣка глубока, имѣетъ медленное теченіе и вся покрыта льдомъ на значительномъ протяженіи выше поста, расположенномъ вблизи стремнины, то записи на посту могутъ остаться безъ измѣненій, такъ какъ вода, идущая изъ-подъ ледяного покрова, можетъ имѣть настолько высокую температуру, что помѣшаетъ образованію льда на профилѣ станціи.

Разстояніе, на которое распространяется указанное вліяніе воды, зависитъ отъ естественныхъ условій самого русла и отъ



умовій образованія льда; эти послѣднія умовія во многомъ зависятъ отъ температуры. Каждая станція, гдѣ наблюдается вліяніе перечисленныхъ выше факторовъ, всѣхъ вмѣстѣ или же нѣкоторыхъ въ отдѣльности, должна по возможности ближе подойти къ точному выясненію степени вліянія того или иного фактора.

Если на станціи, расположенной на рѣкѣ, скорости теченія сравнительно не велики и русло часто остается непокрытымъ льдомъ, то, какъ было указано выше, на высоту стоянія уровня воды нерѣдко вліяетъ наростаніе доннаго льда, который образуется при температурѣ воздуха равной нулю или ниже нуля. Наростанію доннаго льда благопріятствуютъ неровности рѣчного дна, а также большія скорости теченія. Съ пониженіемъ температуры увеличивается количество доннаго льда, и наоборотъ, съ повышеніемъ температуры количество доннаго льда уменьшается; при температурѣ воздуха  $32^{\circ}F$ , донный ледъ совершенно исчезаетъ. Такъ какъ колебанія температуры воздуха днемъ могутъ имѣть сильное вліяніе на количество образующагося доннаго льда, а слѣдовательно, и на высоту стоянія уровня воды на станціи, то непосредственные измѣренія максимума и минимума температуры являются необходимыми. Точно также и число водомѣрныхъ наблюденій на такихъ станціяхъ должно быть болѣе значительно, чѣмъ на тѣхъ станціяхъ, гдѣ вся рѣка покрыта льдомъ. Въ этихъ случаяхъ необходимо производить по крайней мѣрѣ по 2 ежедневныхъ наблюденія на посту: одно—по возможности ближе къ времени максимума, второе—ближе къ минимуму температуры воздуха. Необходимо также установить посредствомъ тщательныхъ наблюденій максимумъ температуры, при которой образуется донный ледъ и при которой можно ожидать его исчезновенія. Въ тѣ дни, когда температура воздуха подымается выше максимума, при остальныхъ нормальныхъ условіяхъ, можно ожидать, что донный ледъ будетъ исчезать и что показанія поста во время максимума температуры можно принять за достовѣрныя. Принимая это во вниманіе, можно опредѣлить тѣ поправки, которыя требуются ввести въ графикъ водомѣрнаго поста, чтобы эти показанія поста можно было согласовать съ кривой расходовъ при отсутствіи льда. Одновременно съ измѣреніями уровня воды на посту производятся также опредѣленія расходовъ воды, если возможно, при различной температурѣ.

На нѣкоторыхъ рѣкахъ образующійся донный ледъ можетъ являться какъ бы аккумуляторомъ (водохранилищемъ) значительной



массы воды. Если произвести въ этотъ періодъ измѣренія расхода воды, то можно замѣтить уменьшеніе расходовъ, и наоборотъ, по исчезновеніи доннаго льда (до момента, когда уровень воды приметъ свое нормальное положеніе), расходъ воды нѣсколько увеличивается, ибо освобождается часть воды, обратившейся въ ледъ. Въ виду изложеннаго, необходимо по возможности производить измѣреніе расходовъ при нормальномъ уровнѣ воды.

Зависимость между температурой воздуха, колебаніями уровня воды и расходомъ можетъ быть наглядно изображена на чертежѣ, если нанести на клѣтчатой бумагѣ всѣ упомянутыя выше данныя, примѣнивъ общій масштабъ времени; время отълагивается по оси Х-въ, температуры, отмѣтки воды и величины расходовъ воды отълагиваются по оси У-въ. Примѣняя описанный способъ исправленія графика водомѣрнаго поста, слѣдуетъ съ особой тщательностью обрабатывать тѣ случаи, когда наблюдаются рѣзкія колебанія температуры, такъ какъ при этомъ могутъ рѣзко измѣниться и другіе факторы. Необходимо имѣть въ виду также и вліяніе берегового льда, который, впрочемъ, оказываетъ менѣе существенное дѣйствіе на зимній расходъ, чѣмъ донный ледъ.

Если температура доходитъ до той точки, при которой образуется донный ледъ, или если максимумъ превышаетъ эту температуру, то донный ледъ подымается со дна и уносится теченіемъ. Если остальные условія останутся неизмѣнными, то высота стоянія уровня воды послѣ исчезновенія доннаго льда и должна быть принята во вниманіе при исчисленіи расхода воды; такимъ образомъ эта высота стоянія уровня воды будетъ минимальной для даннаго дня. Отмѣтивъ температуру воздуха и высоту стоянія уровня воды на клѣтчатой бумагѣ и вычертивъ кривую расходовъ по наинизшимъ для каждаго дня отмѣткамъ воды, если только наблюденные минимумы высоты стояній уровня воды соотвѣтствуютъ температурѣ, болѣе высокой, чѣмъ та, при которой образуется донный ледъ, нетрудно произвести вычисленія для опредѣленія вліянія доннаго льда на отмѣтки уровня воды въ теченіе послѣдующихъ дней.

Если вблизи данной станціи имѣется участокъ рѣки, не покрывающійся льдомъ, вслѣдствіе большихъ скоростей теченія, то раціонально устроить въ этомъ мѣстѣ хотя бы временный водомѣрный постъ, такъ какъ наблюденія на такомъ посту будутъ имѣть большее значеніе для контроля колебаній уровня воды, чѣмъ на станціи,

скованной ледянымъ покровомъ. Въ этомъ случаѣ расходы воды на станціи должно вычислять, принимая во вниманіе наблюденія на временномъ водомѣрномъ посту; необходимо также вести записи колебаній уровня воды и на профилѣ станціи, для сравненія показаній указанныхъ постовъ.

Если возможно, слѣдуетъ устраивать водомѣрные посты также у истоковъ изъ озеръ, а также вблизи значительныхъ ключей. Въ такихъ мѣстахъ вода имѣетъ обыкновенно относительно высокую температуру, такъ что рѣка можетъ оставаться незамерзшей даже при низкой температурѣ воздуха.

## ГЛАВА V.

### Производство работъ.

#### § 1. *Выборъ мѣста для станцій.*

Расположеніе и число станцій для производства зимнихъ наблюдений зависитъ отъ мѣстныхъ условій, а прежде всего отъ размѣра денежныхъ средствъ. Впрочемъ, надо замѣтить, что причина малаго количества зимнихъ наблюдений зависитъ и отъ того, что до сихъ поръ значеніе этихъ наблюдений не было оцѣнено въ должной мѣрѣ. Изъ другихъ факторовъ, которые надо принять во вниманіе при расположеніи станцій, слѣдуетъ отмѣтить:

1) распредѣленіе станцій по бассейнамъ, 2) характеръ ледяного покрова и 3) удобство производства работъ.

Разсмотрѣніе факторовъ, имѣющихъ вліяніе на зимній режимъ рѣки, указываетъ, что зимніе расходы воды на различныхъ станціяхъ могутъ быть сравниваемы лишь на очень короткихъ участкахъ рѣки, и даже на этихъ участкахъ условія теченія могутъ такъ сильно мѣняться, что вычисленіе расходовъ воды безъ сравненія съ результатами непосредственныхъ измѣреній на сосѣднихъ станціяхъ можетъ дать очень неточные результаты, не говоря уже о полной невозможности опредѣлять расходъ воды рѣки одного бассейна по даннымъ для рѣки сосѣдняго бассейна.

По возможности, слѣдуетъ выбирать станціи вблизи мѣста, не подверженнаго дѣйствію льда. Наблюденія на мѣстахъ, не покрытыхъ льдомъ, могутъ во многихъ случаяхъ облегчить опредѣленіе

расходовъ воды и на тѣхъ станціяхъ, гдѣ имѣется ледъ, и чѣмъ большее число такихъ станцій будетъ функціонировать, тѣмъ точнѣе будутъ результаты. Вообще необходимо замѣтить, что содержаніе станцій, расположенныхъ группами, обходится дешевле; кромѣ того, результаты наблюденій въ этихъ случаяхъ получаются болѣе точные, чѣмъ на одиночныхъ станціяхъ.

При расположеніи станцій у вододѣйствующихъ сооруженій, методы опредѣленія количества протекающей воды черезъ плотинный шлюзъ, турбину и т. п. обуславливаются всецѣло мѣстными условіями.

## § 2. Водомѣрные посты.

Вліяніе ледяного покрова до сихъ поръ почти не принималось во вниманіе при выборѣ мѣста для водомѣрнаго поста. Между тѣмъ, пользуясь данными зимнихъ наблюденій на существующихъ водомѣрныхъ постахъ, необходимо учитывать вліяніе ледяного покрова на высоту стоянія уровня воды; это можетъ быть осуществлено устройствомъ добавочнаго поста, дѣйствующаго въ теченіе зимнихъ мѣсяцевъ. Въ виду сказаннаго, при учрежденіи новыхъ постоянныхъ станцій и при устройствѣ при нихъ постовъ, необходимо заботиться о томъ, чтобы мѣсто для добавочнаго поста было по возможности свободно ото льда въ теченіе зимы.

Переходя къ разсмотрѣнію примѣняемыхъ въ Америкѣ типовъ водомѣрныхъ устройствъ, слѣдуетъ указать, что изъ трехъ постовъ, речнаго, самопишущаго и поста „съ цѣпной передачей“, наиболѣе цѣлесообразными для зимнихъ наблюденій, по даннымъ американской практики, является типъ поста съ цѣпной передачей.

Речные посты съ вертикальной или съ наклонной рейкой менѣе удобны; если рейка укрѣплена не особенно прочно, она можетъ измѣнить свое положеніе съ теченіемъ времени. Кромѣ того, на деревянныхъ рейкахъ надписи легко стираются, вслѣдствіе чего каждую весну приходится устанавливать новыя рейки. Наклонныя рейки неудобны и по той причинѣ, что онѣ легко обмерзаютъ льдомъ, который можетъ повредить постъ. Вертикальныя рейки тоже обмерзаютъ, но не такъ значительно.

Самопишущіе посты пригодны для зимнихъ наблюденій, особенно въ тѣхъ случаяхъ, когда пріемный колодезь надежно защищенъ отъ замерзанія въ немъ воды. Дѣйствіе холода на колодезь можетъ быть до нѣкоторой степени уменьшено прибавленіемъ въ

колодець растительнаго масла, зажигаемъ масляной или электрической лампочки, причемъ лампочка должна быть помѣщена возможно ближе къ поверхности воды.

Поплавочный постъ съ цѣпной передачей можетъ дѣйствовать вполне успешно при незначительномъ уходѣ въ теченіе зимы и лѣта. Если постъ устроенъ у моста, онъ не подвергается порчѣ ни зимой, ни лѣтомъ; доска со шкалой не можетъ быть повреждена ледоходомъ; если же поплавокъ обмерзаетъ, то быстрымъ опускаемъ и подыманіемъ нетрудно его освободить отъ льда. Когда наблюденія колебаній уровня воды производятся въ лункахъ, то полезно, для уменьшенія труда наблюдателя, покрывать лунку хвостомъ для защиты ея отъ замерзанія.

Число наблюденій на посту, зависящее во многомъ отъ характера ледяного покрова и отъ правильности рѣчного теченія, должно быть установлено опытнымъ путемъ въ каждомъ частномъ случаѣ. На рѣкахъ, покрытыхъ льдомъ, колебанія уровня воды которыхъ находятся въ большой зависимости отъ температуры воздуха, число наблюденій на постахъ должно быть устанавливаемо отъ трехъ разъ въ недѣлю до семи, т. е. ежедневно. Если колебанія уровня на станціи вызваны, главнымъ образомъ, доннымъ льдомъ, то въ случаѣ, если на посту не установленъ лимниграфъ, необходимо производить наблюденія, по крайней мѣрѣ, два раза въ день: одинъ разъ утромъ, а второй разъ тотчасъ же послѣ максимума температуры. Какъ было указано выше, въ этомъ случаѣ получаютъ наилучшіе результаты, если принимать изъ наблюденій для каждаго дня наинизшее.

Геологическій отдѣлъ Соединенныхъ штатовъ считаетъ пользованіе самопишущими водомѣрными приборами нежелательнымъ на тѣхъ станціяхъ, гдѣ образуется много льда; въ то же время названный отдѣлъ рекомендуетъ употребленіе этихъ приборовъ въ случаяхъ, гдѣ дѣйствіе льда слабо. Станціи, оборудованныя самопишущими водомѣрными приборами, въ случаяхъ, если величина зимнихъ расходовъ колеблется въ незначительныхъ предѣлахъ, могутъ приостанавливать на зиму автоматическія рейки, чѣмъ достигается нѣкоторая экономія въ расходахъ на содержаніе постовъ. На рѣкахъ, въ бассейнахъ которыхъ величины зимнихъ расходовъ имѣютъ значительныя и притомъ внезапныя колебанія, вызываемыя переменной температуръ, автоматическія записи колебаній уровня воды могутъ быть полезны.

### § 3. Метеорологическія наблюденія.

Метеорологическія наблюденія, которыя, какъ было указано выше, необходимы для выясненія причинной связи между расходами воды и метеорологическими факторами, должны заключать въ своемъ составѣ наблюденія температуры воздуха и атмосферныхъ осадковъ. Во многихъ случаяхъ, особенно, когда на гидрометрической станціи имѣется лишь поверхностный ледъ, можно пользоваться наблюденіями ближайшей метеорологической станціи. Все же слѣдуетъ требовать, какъ общее правило, чтобы каждая станція была снабжена точнымъ термометромъ и чтобы температура воздуха измѣрялась вмѣстѣ съ измѣреніемъ колебанія уровня воды. Указанное наблюденіе требуетъ ничтожной затраты времени, между тѣмъ какъ цѣнность работъ значительно повышается. По записямъ, сдѣланнымъ рано утромъ и послѣ полудня, можно, во-первыхъ, вычислить довольно точно среднюю температуру, во-вторыхъ, эти наблюденія могутъ выяснитъ тѣ температурные предѣлы, въ которыхъ образуется донный ледъ.

Вліяніе атмосферныхъ осадковъ на зимніе расходы воды менѣе значительно, чѣмъ вліяніе температуры; поэтому наблюденіе осадковъ не имѣетъ большого значенія для вычисленія зимнихъ расходовъ.

Когда на станціи наблюдается донный или игольчатый ледъ, то записи ясности неба также имѣютъ извѣстную цѣнность, ибо указанный факторъ, какъ было указано выше, вліяетъ на образованіе льда.

### § 4. Измѣреніе расхода воды.

Если живое сѣченіе рѣки, проходящее черезъ створъ поста, не покрыто льдомъ или покрыто имъ отчасти, то при измѣреніи расхода воды наблюденія производятся въ части русла, свободной отъ льда и въ части, покрытой льдомъ. Когда рѣка сплошь покрыта льдомъ, то при опредѣленіи зимнихъ расходовъ необходимо съ особымъ вниманіемъ относиться къ характеру скоростей теченія и къ другимъ элементамъ живого сѣченія, наблюдаемымъ въ то время, когда рѣка льдомъ не покрыта. Въ виду этого на станціи, гдѣ рѣка ежегодно замерзаетъ, необходимо имѣть лѣтніе промѣры русла, причемъ положеніе вертикалей должно быть закрѣплено тѣмъ или инымъ способомъ (напримѣръ, створами) съ тѣмъ, чтобы любая вертикаль могла быть найдена и при зимнихъ наблюденіяхъ.



Сѣченіе, избираемое для измѣреній зимнихъ расходовъ, должно имѣть вообще тѣ же свойства, какъ и сѣченіе при отсутствіи льда. Распредѣленіе вертикалей для производства въ нихъ наблюденій исполняется по тѣмъ же требованіямъ.

Если присутствіе игольчатаго или доннаго льда стѣсняетъ живое сѣченіе болѣе, чѣмъ на 10%, то измѣренія расходовъ должны быть, по возможности, перенесены въ другое сѣченіе, гдѣ не наблюдается указанныхъ условій, на примѣръ, на пороги. И хотя производство измѣреній расходовъ на порогахъ вообще нежелательно, вслѣдствіе неправильнаго распредѣленія скоростей, все же, надо полагать, эти наблюденія будутъ болѣе точными, чѣмъ тѣ, которыя производятся въ сѣченіи, стѣсненномъ игольчатымъ или доннымъ льдомъ.

При производствѣ наблюденій у моста, раціональнѣе выбирать станціи не у самаго моста, а нѣсколько выше по теченію, ибо такимъ образомъ можно избѣжать вліянія мостовыхъ опоръ на направленіе струй. Кромѣ того ледъ выше моста обыкновенно отличается большей прочностью, чѣмъ ледъ подъ мостомъ, что также имѣетъ немаловажное значеніе для наблюдателя.

### § 5. Инструменты и орудія работъ.

Оборудованіе, которымъ снабжается наблюдатель при производствѣ измѣреній зимнихъ расходовъ, состоитъ изъ слѣдующихъ предметовъ: вертушки, лота, троса, штангъ, длиною каждая отъ 5 до 7 футовъ, пешни для пробиванія лунокъ и рейки для измѣренія толщины льда.

Вертушка и всѣ принадлежности къ ней должны быть тщательно вывѣрены передъ отправкой на работы. Вертушка должна быть смазываема растительнымъ масломъ лучшаго качества, но не слишкомъ обильно, такъ какъ масло можетъ замерзнуть и увеличить треніе въ подшипникахъ.

При значительныхъ глубинахъ, гдѣ нельзя опускать вертушку на штангѣ, можно пользоваться тросомъ. При работахъ вертушкой, опускаемой на штангѣ, слѣдуетъ имѣть въ виду при низкихъ температурахъ возможность обмерзанія штанги, что при электрическомъ замыкателѣ затрудняетъ прохожденіе тока. Въ этихъ случаяхъ раціонально вводить въ цѣпь дополнительную проволоку; если штанга трубчатая, эту проволоку можно пропустить внутри штанги. Американскіе наблюдатели, повидимому, не примѣняютъ

теплыхъ будокъ для производства измѣреній; для оттаиванія вертушки отъ намерзшаго льда они пользуются костромъ, разводимымъ тутъ же у лунки.

Пешня, употребляемая для пробиванія лунокъ, сдѣлана изъ мягкой стали, такъ что ее легко наточить ручнымъ напильникомъ, который долженъ также входить въ составъ снаряженія наблюдателя. Вѣсъ пешни 14 фунтовъ; болѣе легкія пешни—мало пригодны.

Что касается буровъ для сверленія лунокъ, то примѣненіе ихъ выгодно лишь при большомъ объемѣ работъ; вообще же они стѣсняють наблюдателя.

Рейки для измѣренія толщины льда имѣютъ поперечное сѣченіе 1 дюймъ  $\times$  1 дюймъ; къ нижнему концу рейки приврѣплена желѣзная пластинка, длиною 3 дюйма; на рейкѣ нанесены дѣленія въ  $\frac{1}{10}$  фута; нуль рейки совпадаетъ съ нижней гранью пластинки.

Все снаряженіе наблюдателя удобно упаковывается въ чехолъ.

### § 6. Методы производства работъ.

Зимнія измѣренія расходовъ воды, производимыя въ сѣченіи, свободномъ ото льда, исполняются такъ же, какъ и лѣтнія измѣренія, съ одной лишь разницей, а именно: вертушка не вынимается изъ воды, пока измѣреніе не вполнѣ закончено. Въ случаѣ, если необходимо вынуть вертушку изъ воды, то, при обратномъ ея опусканіи въ воду, необходимо продержатъ вертушку въ данной точкѣ столько времени, чтобы она могла оттаять подъ вліяніемъ сравнительно болѣе теплой воды.

Если вертушка находилась на морозѣ довольно долго и обмерзла, то необходимо ее слегка нагрѣть и высушить у огня, остерегаясь, чтобы отъ тепла не были повреждены резиновые прокладки.

Какъ было указано выше, вертушка опускается въ лунку; послѣдняя должна имѣть размѣры отъ 5 до 10 футовъ; разстоянія между лунками зависятъ отъ ширины рѣки.

На небольшихъ рѣкахъ можно сдѣлать прорубь во всю ширину рѣки. Лунки располагаются по прямой линіи, составляющей прямой уголъ съ направлеціемъ теченія. Форма лунокъ въ планѣ прямоугольная, причемъ болѣе длинная сторона прямоугольника направлена параллельно теченію рѣки. Лунки должны имѣть такіе размѣры, чтобы вертушка могла опускаться и подыматься безпрепятственно. При работахъ необходимо пользоваться лопатой для



сгребанія снѣга и вычерпыванія изъ лунки льда, плавающего на поверхности воды.

Рациональнѣе начинать работу со середины рѣвки, чтобы выяснитъ, имѣется ли въ данномъ сѣченіи игольчатый или донный ледъ; и если въ прорубленной лункѣ количество игольчатого льда будетъ настолько велико, что лунка не можетъ быть освобождена ото льда, то лучше перенести наблюденія въ другое сѣченіе.

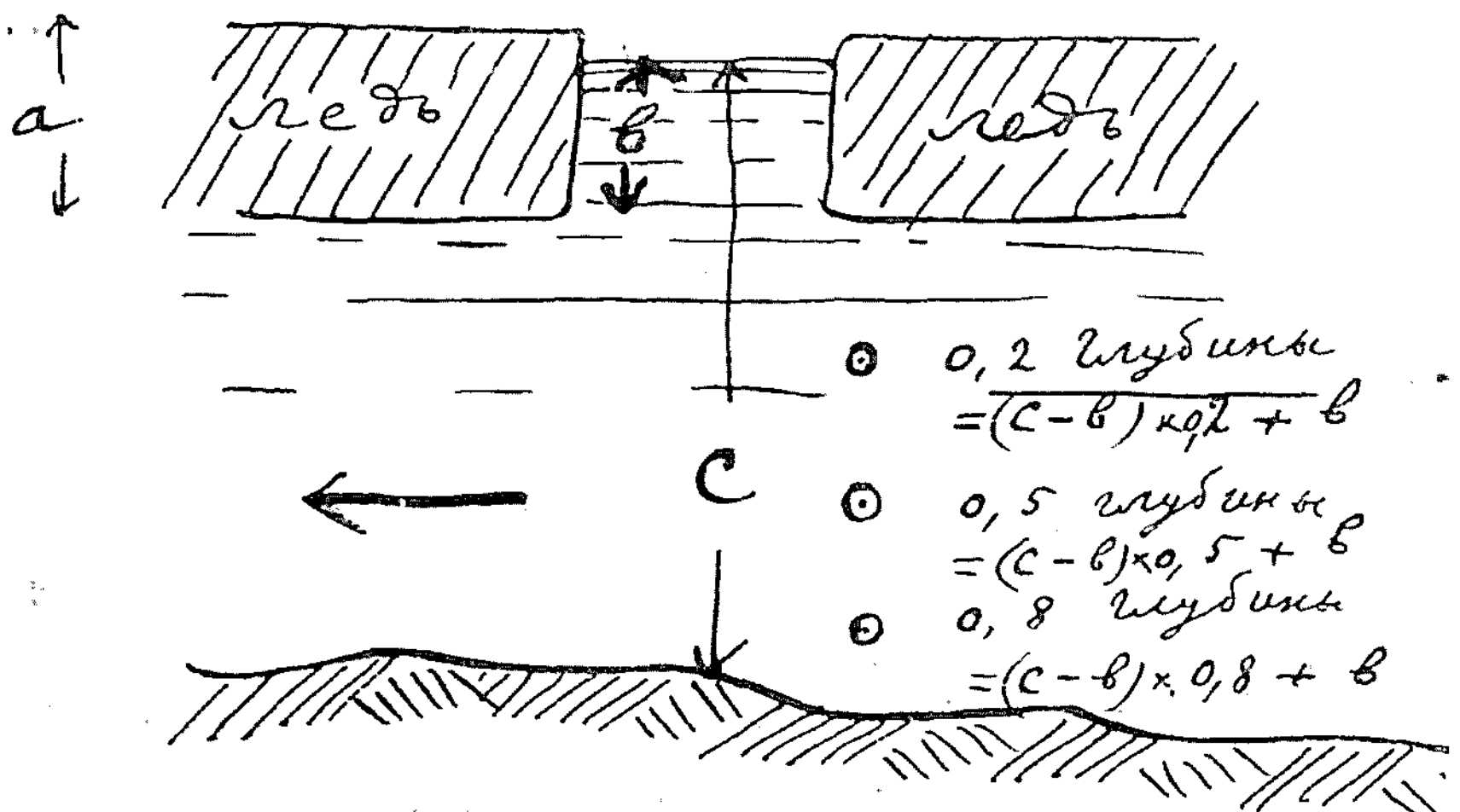
Въ каждой лункѣ измѣряются слѣдующіе элементы:

$a$ —толщина льда,

$b$ —разстояніе отъ нижней поверхности льда до уровня воды,

$c$ —глубина.

По этимъ даннымъ вычисляется глубина, на которой должна быть установлена вертушка при опредѣленіи скорости теченія съ



Фиг. 12.

тѣмъ, чтобы она находилась на 0, 2; 0,5 и 0,8 глубины вертикали, такъ (фиг. 12):

$$0,2 \text{ глубины} = (c - b) \times 0,2 + b,$$

$$0,5 \text{ глубины} = (c - b) \times 0,5 + b,$$

$$0,8 \text{ глубины} = (c - b) \times 0,8 + b.$$

Если глубина подо льдомъ болѣе 2,5 футовъ, то наблюденія производится въ точкахъ 0,2 и 0,8 глубины; для глубинъ отъ 1,5 фута до 2,5 фут, въ точкахъ на 0,2; 0,5 и 0,8 глубины.

Образецъ записи показанъ въ слѣдующей таблицѣ.

| Н А Б Л Ю Д Е Н І Я.                                               |                                                                                            |                                                     |                                                                            |                             |                     |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------|
| Разстояніе<br>отъ исход-<br>ной точки<br>( <i>R<sub>p</sub></i> ). | Толщина<br>льда.<br><br>Разстояніе<br>отъ нижней<br>поверхности<br>льда до<br>уровня воды. | Полная<br>глубина.<br><br>Принимае-<br>мая глубина. | Глубина вер-<br>тушки отъ<br>уровня воды.                                  | Время<br>въ секун-<br>дахъ. | Число<br>оборотовъ. |
| 0                                                                  |                                                                                            |                                                     |                                                                            |                             |                     |
| 10                                                                 | <i>a</i><br><i>b</i>                                                                       | <i>c</i><br><i>c-b</i>                              | $(c-b) \times 0,2 + b$<br>$(c-b) \times 0,5 + b$<br>$(c-b) \times 0,8 + b$ |                             |                     |
| 15                                                                 |                                                                                            |                                                     |                                                                            |                             |                     |

Вертушка должна быть опускаема въ прорубь такимъ образомъ, чтобы ея лопасти находились какъ можно далѣе вверхъ по теченію, для уменьшенія вліянія пульсаціи струй. Если вертушка опускается на штангѣ, то послѣдняя держится у той грани лунки, которая выше по теченію. Число оборотовъ лопастей вертушки и время записываются въ томъ же порядкѣ, какъ и при отсутствіи льда. По окончаніи наблюденій на данной вертикали, вертушка переносится съ возможной быстротой на другую вертикаль и наблюденія продолжаются, какъ указано выше.

### § 7. Число опредѣленій расходовъ.

Необходимое для построенія графика зимнихъ расходовъ число непосредственныхъ измѣреній расходовъ помощью вертушки зависитъ, главнымъ образомъ, отъ мѣстныхъ условій; несомнѣнно лишь то, что чѣмъ больше непосредственныхъ измѣреній будетъ сдѣлано, тѣмъ надежнѣе будутъ результаты.

Если участокъ рѣки на станціи всегда свободенъ ото льда, или если на немъ наблюдается только донный ледъ, то число зимнихъ измѣреній должно быть такое же, какъ и для выясненія кривой лѣтнихъ расходовъ въ данномъ мѣстѣ.

Если рѣка покрыта льдомъ, то въ случаяхъ, когда не наблюдается вліянія притока воды, число измѣреній расходовъ обуславливается колебаніями температуры. Если колебанія температуры и уровня воды незначительны, то обыкновенно бываетъ достаточно одного измѣренія въ мѣсяцъ, если же наблюдаются частыя отте-

пели, то число измѣреній должно быть увеличено: можетъ даже явиться необходимость производить измѣренія почти ежедневно.

### § 8. Наблюдения ледяного покрова.

Хотя на водомѣрныхъ постахъ (Соед. штат.) и производятся наблюденія толщины льда и измѣряется разстояніе отъ уровня воды до нижней поверхности льда, однако—всѣми этими данными не приходится пользоваться при измѣреніяхъ расходовъ воды. Наибольшій интересъ для указаннаго случая представляютъ измѣренія средней толщины льда въ донномъ сѣченіи, что же касается величинъ, характеризующихъ разстояніе отъ уровня воды до нижней поверхности льда, то онѣ получаются только для того, чтобы знать, плаваетъ ли ледъ въ данномъ мѣстѣ на поверхности воды. Большую цѣнность имѣютъ точныя записи времени перваго появленія льда на посту и времени, когда рѣка очищается ото льда.

## ГЛАВА VI.

### Общая организація и методы обработки полевыхъ матеріаловъ въ центральномъ бюро.

#### § 1. Общія данныя.

По характеру ледяного покрова на станціяхъ и по способу производства работъ, станціи дѣлятся на три категоріи: 1) станціи, на которыхъ главный створъ всегда свободенъ ото льда или гдѣ почти не имѣется льда; 2) станціи, на которыхъ наблюдается въ большомъ количествѣ доновый ледъ и въ маломъ количествѣ поверхностный, и 3) станціи, гдѣ наблюдается лишь поверхностный ледъ.

Каждая категорія станцій пользуется особыми методами.

На станціяхъ первой группы величина расхода для даннаго дня опредѣляется по кривой лѣтнихъ расходовъ, принимая во вниманіе высоту уровня воды на посту. Въ случаѣ, если исчисляемые такимъ образомъ расходы начнутъ увеличиваться, а температура воздуха будетъ стоять ниже нуля, слѣдуетъ произвести измѣреніе расхода воды вертѣшкой и ввести соотвѣтствующія поправки.

На станціяхъ, гдѣ оказываетъ вліяніе на теченіе рѣки лишь поверхностный ледъ, примѣнимъ описанный методъ, причемъ слѣдуетъ наблюдать колебанія температуры воздуха.

Въ указанныхъ случаяхъ получаются лучшіе результаты, если сгруппировать станціи по ихъ географическому положенію, принимать во вниманіе данныя зимнихъ и лѣтнихъ расходовъ и сравнивать каждую недѣлю ежедневныя записи на постахъ.

При такомъ способѣ постоянныхъ сравненій, инженеръ, завѣдывающій райономъ, можетъ опредѣлить, когда вычисленія на той или иной станціи становятся не точными и когда слѣдуетъ произвести непосредственныя измѣренія расхода воды; если извѣстна точная величина расхода воды для даннаго дня, то можно ввести соотвѣтствующія поправки въ графикъ колебанія расходовъ.

Какъ при обработкѣ лѣтнихъ расходовъ, такъ и при обработкѣ зимнихъ, необходимо всѣ вычисленія вести такимъ образомъ, чтобы любое дѣйствіе или любой результатъ можно было провѣрить.

Тѣ данныя, которыя не могутъ быть провѣрены, не должны издаваться въ печати.

Опытъ показываетъ, что всѣ вообще вычисленія могутъ быть исполнены быстрѣе и точнѣе тѣмъ лицомъ, которое производило полевые наблюденія.

## § 2. Формы журналовъ и ведомостей.

Чтобы для обработки полевыхъ данныхъ возможно было применение одного изъ описанныхъ выше методовъ вычисленія зимняго расхода, необходимо надлежащимъ образомъ вести полевые записи. Ниже приводится образецъ полевого журнала для записи ежедневныхъ наблюденій.

Станція \_\_\_\_\_

| Мѣсяцъ _____ 1911 г. |               | Высота уровня воды на посту. |                | Температура. |        | Погода. | Состояніе ледян. покрова нижняго поста или у пороговъ. |
|----------------------|---------------|------------------------------|----------------|--------------|--------|---------|--------------------------------------------------------|
| Дни недѣли.          | Числа мѣсяца. | До полудня.                  | Послѣ полудня. | Низкая.      | Высок. |         |                                                        |
|                      |               | Время                        |                |              |        |         |                                                        |
|                      |               | Отсчетъ                      |                |              |        |         |                                                        |
|                      |               | Время                        |                |              |        |         |                                                        |
|                      |               | Отсчетъ                      |                |              |        |         |                                                        |
|                      |               | Время                        |                |              |        |         |                                                        |
|                      |               | Отсчетъ                      |                |              |        |         |                                                        |

См. журналъ водомѣрныхъ наблюденій.

Наблюдатель \_\_\_\_\_

Вычисления расходов воды въ рѣкѣ въ теченіе зимняго періода.

Рѣка \_\_\_\_\_ У \_\_\_\_\_ Близъ \_\_\_\_\_

Мѣсяцъ \_\_\_\_\_

191 г. \_\_\_\_\_

| И Н Д Е К С Ъ |                       |         |         |         |             |                |         |                   |                                               | ВЫЧИСЛЕНІЯ.                          |                                             |
|---------------|-----------------------|---------|---------|---------|-------------|----------------|---------|-------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|
| Дни.          | Высота воды на посту. |         |         |         | Температура |                | Погода. | Ледъ<br>на створ. | Результаты<br>измѣреній<br>расходовъ<br>воды. | Приняты<br>отмѣтки воды<br>на посту. | Вычисленные<br>расходы куб.<br>фут. въ сек. |
|               | Утро                  |         | Полудни |         | высок.      | низкая. средн. |         |                   |                                               |                                      |                                             |
|               | время.                | высота. | время.  | высота. |             |                |         |                   |                                               |                                      |                                             |
| 1             |                       |         |         |         |             |                |         |                   |                                               |                                      |                                             |
| 2             |                       |         |         |         |             |                |         |                   |                                               |                                      |                                             |
| 3             |                       |         |         |         |             |                |         |                   |                                               |                                      |                                             |
| ...           |                       |         |         |         |             |                |         |                   |                                               |                                      |                                             |
| ...           |                       |         |         |         |             |                |         |                   |                                               |                                      |                                             |
| ...           |                       |         |         |         |             |                |         |                   |                                               |                                      |                                             |

СРЕДНІЙ РАСХОДЪ

|      |
|------|
| фут. |
| сек. |

Общій \_\_\_\_\_  
Средній \_\_\_\_\_

до . . . . .  
Максимумъ . . . . .  
Минимумъ . . . . .

Вычисления производилъ \_\_\_\_\_  
Провѣрялъ \_\_\_\_\_

Въ книжкѣ для записей водомѣрныхъ наблюденій заносятся требуемыя данныя и изъ нея переносятся каждую недѣлю на карточки. Инструкція для наблюденій помѣщается въ журналѣ наблюдателя. Необходимо время отъ времени пополнять инструкцію специальными циркулярами.

Температура и погода отмѣчаются ежедневно; запись температуры раздѣлена на два столбца: „высокая“ и „низкая“, такъ какъ маловѣроятно, чтобы наблюдатель могъ записать абсолютный максимумъ или минимумъ. Для облегченія разсмотрѣнія основныхъ данныхъ на станціи въ бюро составляется мѣсячная вѣдомость, и въ эту вѣдомость заносятся результаты наблюденій немедленно по полученіи карточки со станціи.

### § 3. Точность опредѣленія расхода воды.

Вообще каждое опредѣленіе зимняго расхода менѣе точно, чѣмъ измѣреніе, сдѣланное лѣтомъ, причиной чего служатъ слѣдующія обстоятельства:

1) Образованіе ледяного покрова, а также игольчатого или доннаго льда: ледъ затрудняетъ вращеніе вертушки, и расходы получаются преуменьшенными.

2) Обмерзаніе вертушки, пока наблюдатель переноситъ ее съ одного мѣста на другое или же пока ее чинитъ.

3) Торопливость въ работѣ, вызываемая физическими неудобствами, которыя испытываются наблюдателемъ.

4) Отсутствіе необходимаго опыта у наблюдателя, чтобы учитывать происходящія подо льдомъ неправильности въ распредѣленіи скоростей.

5) Невозможность измѣрить живое сѣченіе подъ ледянымъ покровомъ съ тою же точностью, какъ при отсутствіи льда.

### § 4. Точность измѣренія колебаній уровня воды.

Точность измѣреній колебаній уровня воды зимой вообще не уступаетъ точности лѣтнихъ наблюденій. Исключеніемъ являются дни, когда не представляется возможнымъ подойти къ посту вслѣдствіе ненадежнаго состоянія ледяного покрова или вслѣдствіе нагроможденій льда на берегу во время ледохода.

Правильность дѣйствія автоматическихъ постовъ также можетъ быть иногда нарушена образованіемъ льда въ пріемномъ колодцѣ,



### § 5. Вычисленіе суточного и мѣсячнаго расходовъ.

Точность опредѣленія суточного или мѣсячнаго расходовъ зависитъ, главнымъ образомъ, отъ числа непосредственныхъ измѣреній, что, въ свою очередь, обусловливается размѣромъ денежныхъ средствъ, отпускаемыхъ на зимнія работы. Необходимо замѣтить, что ошибки въ вычисленіи расходовъ для тѣхъ дней, когда не было произведено непосредственныхъ измѣреній, могутъ быть очень значительны. Не смотря на это, величина средняго мѣсячнаго дебета воды можетъ быть опредѣлена съ точностью, пріемлемой для практическаго пользованія. Въ среднемъ можно считать точность опредѣленія мѣсячнаго дебета равной 10<sup>0</sup>/о; казалось бы даже нерациональнымъ затрачивать средства для опредѣленія зимнихъ расходовъ, съ точностью, большей указанныхъ 10<sup>0</sup>/о.

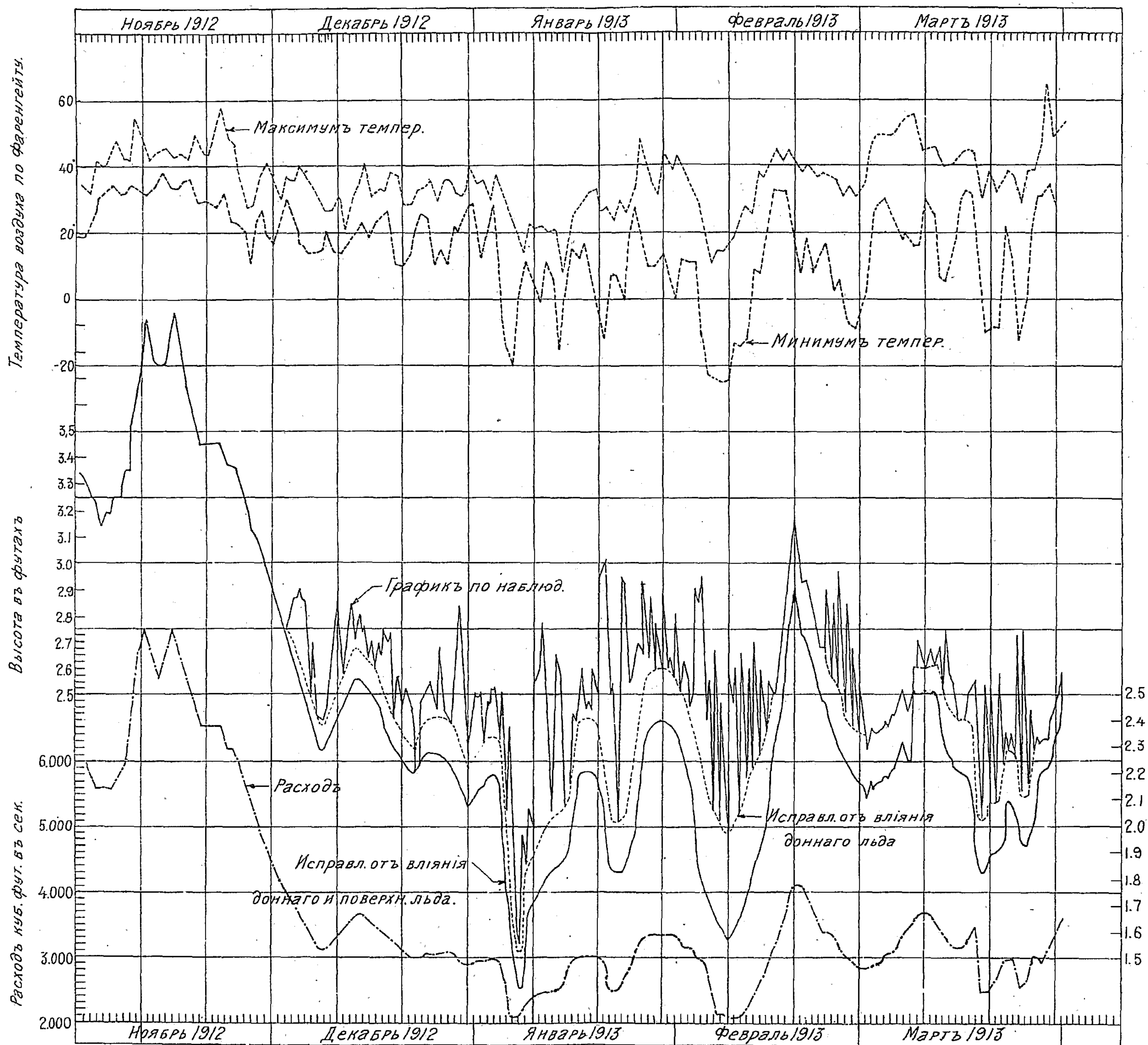
Если станціи вовсе не покрываются льдомъ или если на станціяхъ наблюдается только донный ледъ, то въ этихъ случаяхъ точность водомѣрныхъ наблюденій приближается къ точности таковыхъ, произведенныхъ лѣтомъ. На тѣхъ станціяхъ, гдѣ наблюдается поверхностный, а въ особенности игольчатый ледъ, точность опредѣленія расхода можетъ иногда понизиться и до 25<sup>0</sup>/о.

Величина абсолютнаго максимума расхода воды можетъ быть найдена только посредствомъ ежедневныхъ измѣреній. При этомъ надо имѣть въ виду, что хотя искомый максимумъ можетъ быть найденъ по кривой лѣтнихъ расходовъ, пользуясь графикомъ колебаній уровня воды на посту, но поправка для графика горизонтовъ можетъ быть сдѣлана не точно, почему и величина максимума можетъ получиться сомнительной.

Величина минимума расхода можетъ быть найдена болѣе надежно, если производятся измѣренія температуры воздуха; въ этомъ случаѣ точность измѣреній зимняго минимума не уступаетъ таковой при отсутствіи на рѣкѣ льда. Обыкновенно минимумъ расхода наблюдается вскорѣ послѣ наиболѣе продолжительнаго дѣйствія морозовъ. Если же рѣка питается запасами воды изъ озера, то минимумъ расхода обыкновенно бываетъ въ концѣ зимы, передъ весеннимъ подъемомъ воды.

Евг. Близнякъ.

Зависимость между расходами воды, высотой уровня и температурою воздуха.



Зависимость между величиною зимняго подпора и среднею температурою.

