[illegible]

КЪ ВОПРОСУ

ОБЪ

ОБРАЗОВАНІИ РѢЧНОГО ЛЬДА

И О ЕГО ВЛІЯНІИ

НА СКУЛЬПТУРУ БЕРЕГОВЪ РѢКЪ.

Л. Ячевскаго.

Отдѣльный оттискъ изъ „Геол. изсл. въ золотон. обл. Сибири. Енисейск. золотон. районъ“. Вып. V.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Типографія М. М. Стасюлевича, В. О., 5 л., 28.
1904

КЪ ВОПРОСУ
ОБЪ
ОБРАЗОВАНІИ РѢЧНОГО ЛЬДА
И О ЕГО ВЛІЯНІИ
НА СКУЛЬПТУРУ БЕРЕГОВЪ РѢКЪ.

Л. Ячевскаго.

Отдѣльный оттискъ изъ „Геол. изсл. въ золотон. обл. Сибири. Енисейск. золотон. районъ". Вып. V.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Типографія М. М. Стасюлевича, В. О., 5 л., 28.
1904

Напечатано по распоряженію Геологическаго Комитета.

Къ вопросу объ образованіи рѣчного льда и о его вліяніи на скульптуру береговъ рѣкъ.

Л. Ячевскаго.

Введеніе.

Наши мѣсторожденія золота расположены большею частью или въ сравнительно большихъ широтахъ, или въ мѣстностяхъ со значительною абсолютною высотою—прямымъ слѣдствіемъ этого обстоятельства является господство въ нихъ суровыхъ климатическихъ условій, выражающихся преобладаніемъ зимы надъ остальными временами года. Преобладаніе низкихъ температуръ создало рядъ условій, заставившихъ нашу золотопромышленную технику принять своеобразную окраску. Обиліе снѣговъ, образованіе накипей и наледей прежде всего отражается на характерѣ таежныхъ путей сообщенія, поддержка которыхъ требуетъ со стороны промышленниковъ и большихъ затратъ и значительной энергіи. Глубокое промерзаніе почвы, существованіе вѣчной мерзлоты, медленное и незначительное оттаиваніе—это новый источникъ затрудненій при разработкѣ золотосодержащихъ наносовъ. Мощный ледяной покровъ золотосодержащихъ рѣкъ и ручьевъ даетъ себя знать весною при вскрытіи ихъ и является началомъ громадной разрушающей силы, успѣшная борьба съ которою рѣшаетъ вопросъ объ участи лѣтней промысловой операціи. Но, являясь съ одной стороны препятствіемъ къ промышленной разработкѣ мѣсторожденій золота, господство низкихъ температуръ даетъ въ руки промышленниковъ и удобное средство для производства нѣкоторыхъ работъ, въ иныхъ климатическихъ условіяхъ весьма затруднительныхъ. Мы имѣемъ въ виду работу, называемую работою на вымерозку.

Зимою ледяной покровъ на рѣкахъ, и глубокіе снѣга на перевалахъ, нивеллируя мѣстность, позволяютъ съ небольшими сравнительно затратами прокладывать дороги въ трудно доступныя внутреннія части горныхъ таежныхъ мѣстностей и дѣлаютъ возможною гужевую доставку большихъ количествъ припасовъ и тяжелыхъ орудій и механизмовъ, необходимыхъ при разработкѣ промысловъ.

Такъ какъ измѣненіе климатическихъ условій внѣ воли и силъ человѣка, то само собою разумѣется, что борьба съ ними и использованіе ихъ являются неизбѣжною необходимостью. Успѣшность же совладанія съ этими факторами находится въ прямой зависимости отъ основательнаго изученія ихъ во всѣхъ деталяхъ.

Цѣль предлагаемой статьи обратить вниманіе лицъ, причастныхъ къ золотому дѣлу, на нѣкоторыя изъ явленій, вызванныхъ господствомъ низкихъ температуръ, и дать указанія, въ какомъ направленіи желательно было бы вести ихъ изученіе.

I.

Уже Ляйэлль [1]) въ своихъ „Основахъ геологіи“ призналъ за рѣчнымъ льдомъ выдающееся значеніе, какъ за факторомъ, обладающимъ большою способностью переносить твердые

материалы и этимъ самымъ вызывать нѣкоторыя особенности въ скульптурѣ береговъ рѣкъ. Ляйэлль отмѣтилъ, что въ тѣхъ странахъ, гдѣ степень и продолжительность холода значительны, рѣки и потоки пріобрѣтаютъ особенно большую переносную силу отъ образованія такъ называемаго грунтового льда.

Несмотря на такое раннее указаніе на переносную и скульптурную роль рѣчного льда, ему въ геологической литературѣ удѣляли мало вниманія, и по настоящее время чуть ли не единственною, а во всякомъ случаѣ самою обстоятельною работою является работа И. А. Лопатина, относящаяся къ Енисею и опубликованная еще въ 1871 году [1]).

Лопатинъ, рѣдкій по тщательности и обстоятельности наблюдатель, по существу исчерпалъ совершенно предметъ, и по отношенію къ Енисею къ сѣверу отъ 60 параллели къ его даннымъ, вѣроятно, можно будетъ прибавить только несущественныя детали.

Производя свои геологическія изслѣдованія, какъ по Енисею, такъ и по его притокамъ, начиная съ Ангары и кончая Подкаменною Тунгузкою, я собралъ нѣкоторый рядъ наблюденій, которыя и рѣшилъ объединить въ настоящей статьѣ. Они даютъ матеріалъ для территоріальнаго расширенія замѣчательныхъ наблюденій Лопатина.

Нѣкоторыя изъ явленій, наблюдаемыхъ на берегахъ Енисея, могутъ быть легко объяснены механическимъ дѣйствіемъ массы льда, надвигаемаго силою теченія на берега рѣки; для объясненія же другихъ недостаточно допустить дѣйствіе чистаго льда, а нужно допустить преобладающее участіе льда, заключающаго въ своей массѣ твердыя, каменистыя вещества.

---

[1]) Ляйэлль, Ч. Основныя начала геологіи. Москва. 1866 г., т. I, стр. 253 и слѣд.

[1]) Лопатинъ, И. А. Объ изборожденныхъ и шлифованныхъ льдомъ валунахъ и утесахъ по берегамъ Енисея къ сѣверу отъ 60° с. ш. Записки Импер. Русск. Географ. Общ. (по общей географіи) т. IV, 1871 г., стран. 294 и слѣд.

Ледъ, образующійся у береговъ рѣкъ, нерѣдко настолько сильно смерзается съ рыхлымъ землистымъ и каменистымъ ихъ матеріаломъ, что при наступленіи половодья отрывающіяся массы льда поднимаютъ и увлекаютъ съ собою и часть рыхлаго берегового матеріала. Такой ледъ, заключающій въ своей массѣ вещества, болѣе твердыя, чѣмъ онъ самъ, при извѣстныхъ условіяхъ долженъ дѣйствовать на берега рѣкъ иначе, чѣмъ ледъ совершенно чистый, какимъ по существу, казалось бы, должна быть главная масса рѣчного льда. Но нетолько прибрежный рѣчной ледъ заключаетъ въ себѣ твердыя каменистыя вещества. Главная въ этомъ отношеніи роль выпадаетъ, повидимому, на ту часть рѣчного льда, которая образовалась при участіи такъ называемаго грунтового или, правильнѣе, доннаго льда (Grundeis, bouzin, Ancer ice). Донный ледъ, нарастающій въ видѣ губчатой массы на днѣ рѣкъ, облекаетъ собою твердыя каменистыя вещества и, при извѣстныхъ условіяхъ отрываясь отъ дна и поднимаясь на поверхность водъ, увлекаетъ съ собою и эти каменистыя вещества. Донный ледъ, давая начало образованію нѣкоторой части рѣчного льда, передаетъ ему и этотъ твердый каменистый матеріалъ, и само собою снабжаетъ рѣчной ледъ особыми свойствами.

Придавая донному льду выдающуюся роль въ производствѣ тѣхъ скульптурныхъ особенностей береговъ рѣкъ, о какихъ будетъ рѣчь впереди, я считаю вполнѣ своевременнымъ остановиться нѣсколько подробнѣе на донномъ льдѣ. Причиною тому является то обстоятельство, что, на мой взглядъ, нѣкоторыя новыя изслѣдованія даютъ намъ возможность подойти ближе къ разрѣшенію вопроса о причинѣ и условіяхъ образованія доннаго льда.

II.

Какъ ни обыденно образованіе льда на проточныхъ и стоячихъ прѣсныхъ водахъ въ извѣстныхъ широтахъ и на извѣстныхъ абсолютныхъ высотахъ, тѣмъ не менѣе физическая его природа, его механизмъ, можно сказать, почти ускользали отъ изученія. Причиною тому, повидимому, то обстоятельство, что это обыденное на первый взглядъ явленіе по своей природѣ до крайности сложно и элементы его пока еще не поддаются точному математическому анализу.

Образованіе льда это частный случай тѣхъ явленій, какія физика объединяетъ въ категорію явленій охлажденія. И на самомъ дѣлѣ, въ извѣстное время года наступаетъ такой моментъ, когда двѣ среды, вода и прилегающій къ ней воздухъ, оказываются обладающими температурами, расположенными по обѣ стороны точки таянія льда. Термометръ въ водѣ показываетъ температуру выше 0^{o}, термометръ въ воздухѣ ниже 0^{o}. Съ такими отношеніями температуръ воды и воздуха и связано образованіе льда въ водныхъ бассейнахъ.

Слѣдуя Хвольсону [1], мы можемъ отмѣтить три причины охлажденія воды и образованія льда.

1) Потеря водою теплоты вслѣдствіе превращенія въ лучистую энергію, или, говоря иначе, вслѣдствіе того, что вода посредствомъ лучеиспусканія теряетъ больше теплоты, чѣмъ получаетъ ее отъ окружающей среды.

2) Потеря теплоты вслѣдствіе конвекціи, т.-е. восходящихъ токовъ воздуха, нагрѣтаго болѣе теплою поверхностью водъ.

3) Потеря теплоты вслѣдствіе теплопроводности воздуха.

Хвольсонъ, имѣя въ виду физическій опытъ, къ тремъ

---

[1] Хвольсонъ О. Д. Курсъ физики. Спб. 1899 г., т. III, стр. 240

перечисленнымъ причинамъ прибавляетъ еще четвертую, состоящую въ потерѣ тепла черезъ теплопроводность тѣхъ тѣлъ, которыя поддерживаютъ данное тѣло въ охлаждающей средѣ. Эта послѣдняя причина, существенно важная при производствѣ лабораторнаго опыта, въ нашемъ частномъ случаѣ замерзанія воднаго бассейна не только не отпадаетъ, а замѣняется притокомъ тепла изъ почвы, что еще болѣе усложняетъ явленіе.

При экспериментальномъ изученіи физическаго явленія путемъ болѣе или менѣе искусныхъ приспособленій мы можемъ поставить опытъ въ условія желаемой простоты; явленіе же, происходящее въ природѣ, мы вынуждены изучать сразу во всемъ его объемѣ, во всей его сложности.

Вода естественнаго воднаго бассейна представляетъ среду, заключенную въ двѣ другія среды, верхняя ея поверхность соприкасается съ воздухомъ, нижняя съ землею. При наступленіи холоднаго періода времени [1] схема термическихъ ихъ состояній опредѣляется слѣдующимъ порядкомъ: воздухъ холоднѣе воды, вода холоднѣе почвы, а слѣдовательно движеніе суммы всѣхъ разновидностей тепловой энергіи, т.-е. положительныхъ и отрицательныхъ величинъ, будетъ происходить по направленію отъ земли къ воздуху, и какъ почва, такъ и вода будутъ терять извѣстную часть теплоты. Если бы мы почвенный слой или слой водяной массы въ озерѣ съ постоянною температурою могли изолировать какою-нибудь непроницаемою для теплоты перепонкою, то тепловой режимъ на поверхности воды сталъ бы тепловою функціею явленій, происходящихъ отъ соприкосновенія воды съ воздухомъ, и мы по крайней мѣрѣ въ извѣстный періодъ времени могли бы

---

[1] Необходимо постоянно имѣть въ виду, что три среды, т.-е. воздухъ, вода и почва, обладаютъ различными физическими постоянными и въ частности различною теплоемкостью и теплопроводностью.

разсматривать образованіе льда какъ явленіе охлажденія на границѣ только двухъ соприкасающихся средъ. Ясно, что это невозможно, и что ростъ льда на естественномъ водномъ бассейнѣ является функціею бóльшаго числа факторовъ, чѣмъ тѣ, какіе мы могли перечислить, слѣдуя Хвольсону.

На образованіе льда безспорно вліяютъ всѣ метеорологическіе факторы, напр., давленіе воздуха, поскольку оно выражается силою вѣтра, влажность, обусловливающая испареніе, облачность и т. д.

Такимъ образомъ достаточно разъяснено, что процессъ образованія льда представляетъ явленіе еще болѣе сложное, чѣмъ тѣ явленія охлажденія, какія мы изучаемъ въ физическихъ кабинетахъ, и къ нему вполнѣ примѣнимы слова Хвольсона, что „охлажденіе тѣлъ представляетъ въ общемъ случаѣ крайне сложное явленіе; не удивительно, что законъ этого явленія еще далеко не разъясненъ; оно зависитъ отъ слишкомъ большого числа факторовъ, выяснить отдѣльное вліяніе которыхъ невозможно“.

III.

Этою сложностью явленія и объясняется то, что мы можемъ привести только двѣ попытки связать математическою зависимостью факторы, участвующіе въ образованіи льда. Эти попытки принадлежатъ Рыкачеву [1] и Stefan'у [2]. Работы

---

[1] Рыкачевъ, М. Вскрытіе и замерзаніе водъ въ Россійской Имперіи. Спб. 1886 г.

[2] Stefan J. Ueber die Theorie der Eisbildung, insbesonder über Eisbildung im Polarmeere. Annalen der Physik und Chemie. Neue Folge. Bd. XLII (1891), S. 269.

Forel и Forster, занимавшіеся этимъ вопросомъ, не идутъ дальше вліянія холоднаго воздуха черезъ соприкосновеніе, т.-е. стоятъ на точкѣ зрѣнія Рыкачева.

ихъ отличаются какъ по своему методу, такъ и по конечной цѣли, какую преслѣдовали авторы. Рыкачевъ, признавая, что „замерзаніе и вскрытіе рѣкъ, очевидно, зависитъ отъ температуры воздуха“ 1)), путемъ переработки и оцѣнки богатаго фактическаго матеріала установилъ, что „всѣ внутреннія воды въ Имперіи вскрываются и покрываются льдомъ нѣсколько времени (отъ $^1/_2$ мѣсяца до 1 мѣсяца) спустя послѣ наступленія средней суточной температуры воздуха 0^{0}“ 2)). Рыкачевъ, слѣдуя тому пути, какимъ вынужденъ идти натуралистъ, изучающій сложное явленіе природы, получилъ возможность дать нѣкоторую цифровую или точнѣе графическую связь между явленіемъ и однимъ изъ участвующихъ въ его созданіи факторовъ. Необходимо замѣтить, что выдѣленный имъ факторъ уже самъ по себѣ далеко не простъ.

„Представимъ себѣ, говоритъ Stefan, обширную массу воды, охлажденную равномѣрно до температуры замерзанія. Если теперь температура воздуха, находящагося надъ нею, понизится на a градусовъ ниже точки замерзанія воды и останется неизмѣнною, то одновременно съ этимъ начнется образованіе льда, и оно будетъ поступать непрерывно книзу, и толщина льда будетъ наростать въ зависимости отъ элемента времени. Толщина льда опредѣляется весьма простою формулою: она пропорціональна квадратному корню изъ величины времени, протекшаго отъ начала образованія льда“.

Чтобы вывести этотъ законъ, Stefan дѣлаетъ предположеніе, что господствующая на поверхности льда температура воздуха, проникая въ массу льда, слѣдуетъ закону прямолинейной функціи, и такое допущеніе находитъ возможнымъ сдѣлать, руководствуясь тѣмъ, что теплоемкость льда, въ сравненіи со скрытою теплотою таянія его, представляетъ величину незначительную. Указанная выше зависимость выражена Stefan'омъ слѣдующею формулою

$$h^2\left(1+\frac{cf}{3\lambda}\right)=10{,}092\ T.$$

Въ этой формулѣ h — толщина льда, c — теплоемкость льда, λ — скрытая теплота таянія льда, f — температура воздуха въ концѣ періода наблюденій, T — сумма отрицательныхъ температуръ въ промежутокъ времени, для котораго желаютъ вычислить приростъ толщины льда. — Коэффиціентъ 10,092 вычисленъ Stefan'омъ на основаніи данныхъ нѣкоторыхъ полярныхъ экспедицій.

Пользуясь этою формулою и принимая во вниманіе, что физическія постоянныя прѣснаго льда мало отличаются отъ таковыхъ для морского, можемъ вычислить приростъ толщины льда на Ангарѣ у Иркутска за февраль 1888 года. Это вычисленіе дастъ намъ 78 сантиметровъ 1)). Производившіяся тогда Н. И. Витковскимъ наблюденія дали за время со 2 февраля по 5 марта приростъ толщины 0,84 — 0,48 = 0,36 метра, т.-е. полученная вычисленіемъ величина въ 2 раза превзошла наблюдавшуюся въ дѣйствительности. Если бы считать, что формула Stefan'a для морского льда является отвѣчающей дѣйствительности, то такое разногласіе, полученное для Ангары, указываетъ на то, что на Ангарѣ явленіе болѣе сложно, что оно не укладывается въ такую сравнительно простую функцію.

Вычисляя постоянные коэффиціенты, Stefan отмѣчаетъ, что нѣкоторые изъ нихъ, сильно отличающіеся отъ среднихъ, ука-

---

1) L. c., стр. 26.

2) L. c., стр. 50.

1) Данныхъ о толщинѣ льда на рѣкахъ и озерахъ въ литературѣ, повидимому, весьма мало, спеціально я ихъ не искалъ, укажу однако на интересную новѣйшую работу В. Б. Шостаковича (Извѣстія Импер. Акад. наукъ. Т. XVII. № 5). Для провѣрки формулъ Stefan'a данными этой работы нельзя было воспользоваться, такъ какъ въ моемъ распоряженіи не было данныхъ о температурѣ соотвѣтственныхъ точекъ.

зывают на наличность особыхъ частныхъ причинъ, какъ напримѣръ, теплыхъ теченій. Несоотвѣтствіе данныхъ вычисленія и наблюденій для Ангары у Иркутска могло бы найти себѣ объясненіе именно въ той сравнительно высокой температурѣ, какую на основаніи теоретическихъ соображеній можетъ имѣть вода Ангары, вытекающей изъ Байкала, обладающаго зимою на нѣкоторой глубинѣ постоянною температурою $3,5^0$ C [1]).

Но формула Stefan'a оказалась непримѣнимою и для тѣхъ данныхъ о ростѣ морского льда, какія приводятся Drygalski'имъ въ его Гренландской экспедиціи [2]).—За время съ 19 февраля по 4 мая 1893 г. ледъ въ маломъ Караякскомъ фіордѣ наросъ на 17,6 сантиметра, вычисленіе же по формулѣ Stefan'a даетъ болѣе 97 сантиметровъ.

Если внимательно изучить работу Stefan'a, то для насъ станетъ ясно, что данная имъ формула должна быть сочтена только интересною попыткою выразить алгебраическимъ знакомъ сложное явленіе природы.

Мы уже видѣли, что процессы охлажденія и въ предѣлахъ физическаго опыта весьма сложны, въ природѣ же они во много разъ сложнѣе. Вдумываясь въ анализъ Stefan'a, мы не можемъ не обратить вниманія на то обстоятельство, что главная перемѣнная его функція $-T$, т.-е. сумма отрицательныхъ температуръ воздуха—не играетъ въ образованіи льда той доминирующей роли, какую ей приписываетъ Stefan.

Помимо теоретическихъ соображеній, доказательствомъ тому можетъ служить таблица Дригальскаго [3]), гдѣ на ряду съ наблюдавшеюся толщиною льда даны суммы среднихъ суточныхъ температуръ за промежутки времени, протекавшіе между наблюденіями.

---

[1]) Дыбовскій и Годлевскій. Изв. Сиб. Отд. Геогр. Общ. 1877, т. VIII.

[2]) Drygalski, E. Grönland-Expedition. I Band. S. 421.

[3]) L. c., Bd II, S. 421.

Такъ, напр., за время съ 24 января 1893 г. по 10 февраля толщина льда увеличилась на $52,0 - 34,0 = 18,0$ см., сумма отрицательныхъ температуръ за это время составляла $370,5^0$.

За время съ 19 февраля по 22 марта сумма отрицательныхъ температуръ равна $421,2^0$, ростъ же льда выразился 16,6 см. Съ 22 марта по 4 мая такая же сумма составила $494,6^0$, толщина же льда за это время не увеличилась. Forster [1]), пытавшійся найти зависимость замерзанія рѣкъ отъ суммы отрицательныхъ температуръ, получилъ настолько разнорѣчивыя показанія, что нашелъ нужнымъ оставить мысль найти какую-нибудь численную связь между этими явленіями.

Уже выше было отмѣчено, что замерзаніе водъ представляетъ частный случай охлажденія, и что процессъ охлажденія распадается на нѣсколько частныхъ процессовъ. Среди этихъ процессовъ охлажденіе черезъ лучеиспусканіе призвано, повидимому, играть на столько существенную роль, что своею численною величиною покрываетъ всѣ остальныя составныя части процесса. Это можно доказать нѣсколькими примѣрами.

Для опредѣленія потери теплоты болѣе нагрѣтымъ тѣломъ существуетъ цѣлый рядъ формулъ, какъ-то: формула Stefan'a Ferell'a, Терешина и др. Всѣ эти формулы въ концѣ концовъ пріобрѣтаютъ видъ эмпирическихъ. Мы въ данномъ случаѣ воспользуемся ради простоты формулою Dulong'a и Petit, въ томъ ея видѣ, въ какомъ она приведена у Федотьева [2]). Для нашей цѣли и ради сокращенія вычисленій достаточно взять самый простой случай.

Предположимъ, что приходятъ въ соприкосновеніе воздухъ съ температурою -1^0 C и вода съ температурою въ 0 градусовъ. Вычисленіе по названной формулѣ показываетъ, что квадратный метръ поверхности воды отдастъ въ теченіе часа

---

[1]) Forster, A. Die Temperatur fliessender Gewässer. Wien. 1894. S. 396.

[2]) Федотьевъ, П. П. Физико-химическія таблицы. Спб. 1901 г., стр. 382.

669,41 калорій, причемъ на долю отдачи черезъ теплопроводность приходится 0,55 калорій, а на лучеиспусканіе 668,86 калорій.

Такая потеря теплоты водою способна вызвать образованіе ледяной коры толщиною 0,0836 мм.

Чтобы еще болѣе наглядно представить себѣ насколько существенную и преобладающую роль играетъ лучеиспусканіе, сдѣлаемъ другой разсчетъ, именно представимъ себѣ слой воды въ 1 кв. метръ поверхности и въ 1 сантим. толщиною и разсчитаемъ, какое необходимо количество воздуха съ температурою въ —1,0° С, чтобы воду превратить въ ледъ, т.-е. отнять отъ нея 800 миллион. малыхъ калорій, и передать ихъ воздуху съ тѣмъ, чтобы температура его поднялась до 0°. Простой разсчетъ показываетъ, что для этого потребуется 2614,3 кубич. метра воздуха, т.-е. столбъ вышиною 2,6 километра и 1 кв. метръ въ основаніи.

Мы, конечно, должны здѣсь предположить, что каждая частица воздуха или путемъ непосредственнаго соприкосновенія, или путемъ теплопроводности отниметъ теплоту отъ воды. Если мы теперь вспомнимъ, что теплопроводность воды = 0,00130, а теплопроводность воздуха = 0,00005, и что эти величины даны для грамма, секунды и сантиметра, то станетъ совершенно ясно, что путемъ теплопроводности передача теплоты воды воздуху происходитъ до безконечности медленно. Мы можемъ ради убѣдительности сдѣлать еще одинъ разсчетъ, именно поставить себѣ вопросъ, какая должна быть скорость струи воздуха толщиною въ 1 сантиметръ, которая, соприкасаясь съ поверхностью воды въ предыдущемъ нашемъ примѣрѣ, превратила бы ее въ ледъ въ теченіе 24 часовъ. Понятно, что мы дѣлаемъ здѣсь допущеніе, что весь слой воздуха съ температурою — 1° С въ періодъ прохожденія надъ водою пріобрѣтаетъ температуру 0° С. Простой разсчетъ даетъ

для скорости 30 метровъ въ секунду, т.-е. скорость урагана. При скорости вѣтра въ 1 метръ для этой же цѣли потребовался бы мѣсяцъ времени. Приведенныхъ разсчетовъ и соображеній достаточно, чтобы придти къ заключенію, что охлажденіе воды и образованіе льда происходятъ не вслѣдствіе простого обмѣна теплоты черезъ соприкосновеніе и теплопроводность, а что въ данномъ случаѣ существенную роль играетъ другой факторъ.

IV.

Этотъ факторъ, если не былъ найденъ, то выступилъ очень рѣзко при наблюденіи образованія доннаго льда.

Въ 1888 году популярный метеорологическій журналъ Das Wetter [1]) опубликовалъ програму производства наблюденій, долженствующихъ дать матеріалъ для выясненія условій и причинъ образованія доннаго льда.

Въ томъ же 1888 году въ отвѣтъ на эту програму G. Krieg [2]) прислалъ въ редакцію статью, въ которой образованіе доннаго льда, на основаніи своихъ многолѣтнихъ наблюденій, ставитъ въ зависимость отъ степени ясности неба и образованіе доннаго льда считаетъ аналогичнымъ образованію инея. Какъ иней падаетъ при ясномъ небѣ, такъ и донный ледъ нарастаетъ только въ безоблачныя ночи.

Въ 1894 году Krieg подтвердилъ эти свои заключенія еще разъ [3]).

---

[1]) Das Wetter. 1888. V Jahrgang. S. 250.

[2]) L. c. S. 270.

[3]) Krieg. Das Wetter. 1894. XI. S. 41. Вторая статья Krieg'а была вызвана статьею Scheibel'a (Wetter. 1894. S. 16), который, какъ въ этой статьѣ, такъ и въ слѣдующей, образованіе доннаго льда ставитъ въ зависимость отъ температуры воздуха и даетъ эмпирическое правило, что Одеръ при температурѣ воздуха—10° R. замерзаетъ въ теченіе сутокъ на протяженіи 20 километровъ, а при температурѣ—15° въ такое же время покрывается льдомъ на протяженіи 60 километровъ.

На самомъ дѣлѣ, роль охлажденія и образованія льда черезъ лучеиспусканіе была извѣстна давно, и Horner во второмъ изданіи физическаго лексикона Gehler'а посвящаетъ этому вопросу цѣлую главу [1]).

По его словамъ, въ Бенгаліи ясными и тихими ночами пользуются для приготовленія искусственнаго льда, и это приготовленіе производится слѣдующимъ образомъ. Сначала роютъ небольшія ямы, глубиною около одного фута, и почти до верху наполняютъ ихъ настилкою изъ тростника или изъ соломы индѣйской ржи. Въ ямы эти ставятъ на ночь небольшіе глиняные сосуды, наполненные кипяченою водою. Глубина сосудовъ 1¼ дюйма. Послѣ тихой ясной ночи вода въ сосудахъ превращается въ ледъ. Thomson, Young, Davy пробовали объяснить образованіе льда въ этихъ условіяхъ охлажденіемъ вслѣдствіе испаренія, Wells, повторившій опытъ бенгальцевъ въ Англіи въ ясныя майскія и октябрьскія ночи, доказалъ, что единственнымъ факторомъ, вызывающимъ образованіе льда, является лучеиспусканіе. Полученные имъ куски льда вѣсили больше, чѣмъ взятая имъ для опыта вода.

Чтобы значеніе образованія льда вслѣдствіе излученія стало болѣе рельефно, нужно замѣтить, что по Hann'у [2]) средняя годовая температура для Бенгаліи около 20^0 С., для января тоже, а для іюля 28^0 С.

Мы уже разъ воспользовались промѣрами толщины льда, произведенными Гренландскою экспедиціею Дригальскаго. Если мы изъ метеорологическихъ данныхъ этой же экспедиціи воспользуемся наблюденіями надъ облачностью, то замѣтимъ, что измѣненія въ приростѣ толщины льда какъ будто находятся въ связи съ степенью ясности неба. Данныя, вычисленныя по записямъ Дригальскаго, можно сопоставить въ слѣдующую таблицу.

1893 года.	Приростъ толщины льда.	Средняя облачность.	Число сутокъ съ облачн. 0,0	Сумма отриц. темпер.
съ 24 I по 10 II. .	18,0 см.	4,5	6	370,5
„ 19 II „ 22 III. .	16,6 „	5,3	1	421,2
„ 22 III „ 4 V. .	0	7,8	1	494,6

Шостаковичъ толщину льда на рѣкахъ Сибири ставитъ въ зависимость отъ мощности снѣгового покрова, но если воспользоваться картами облачности Шенрока [1]), то легко замѣтить, что максимальныя величины толщины льда приходятся въ мѣстностяхъ, для которыхъ облачность зимою достигаетъ минимума.

Мы не станемъ останавливаться надъ историческимъ развитіемъ нашихъ свѣдѣній по вопросу о донномъ льдѣ; вопросу этому, считающему за собою двѣсти лѣтъ, посвящены обстоятельныя сводныя статьи Horner'а [2]), Günther'а [3]) и Обручева [4]), [часть болѣе новой литературы приводится Стефановичемъ [5])] и перейдемъ къ теоретическому изученію условій, при которыхъ можетъ образоваться донный ледъ.

V.

Представимъ себѣ бассейнъ или сосудъ, наполненный водою, обладающею температурою 0^0, и допустимъ, что окру-

---

[1]) Gehler. Physikalisches Wörterbuch. III Bd. S. 153.

[2]) Hann, I. Atlas der Meteorologie. 1887.

---

[1]) А. Шенрокъ. Объ облачности въ Россійской Имперіи. Спб. 1895 г.

[2]) Physikalisches Wörterbuch. V. Gehler.

[3]) Günther. Geophysik. 2-te Aufl. II Bd. S. 542.

[4]) Обручевъ, В. А. Обручевъ даетъ почти дословный переводъ статьи Horner'а и имъ сдѣлана сводка свѣдѣній о донномъ льдѣ въ русской литературѣ. Изв. Вост. Сиб. Отд. Импер. Русск. Геогр. Общ. Т. XXIII.

[5]) Стефановичъ. Изв. Вост. Сибир. Отд. Импер. Русск. Геогр. Общ. Т. XXXII.

жающая его со всѣхъ сторонъ среда обладаетъ тоже температурою въ 0⁰, такъ что въ водѣ не имѣетъ мѣста никакой обмѣнъ теплоты, т.-е. вода находится въ безразличномъ термическомъ равновѣсіи. Брошенный въ такую воду кусокъ льда во всякомъ ея мѣстѣ и на всякомъ уровнѣ сохранитъ свой первоначальный вѣсъ, т.-е. не можетъ имѣть мѣсто ни наростаніе льда, ни его таяніе. Такое состояніе обусловливается тѣмъ общеизвѣстнымъ фактомъ, что наростаніе новаго слоя льда вызвало бы выдѣленіе тепла, а слѣдовательно, повышеніе температуры окружающей воды, что, въ свою очередь, должно бы вызвать таяніе такого же количества льда. Съ другой стороны, таяніе брошеннаго куска льда вызвало бы поглощеніе тепла, охлажденіе прилегающаго слоя воды и замерзаніе ея. Вполнѣ точно такъ же понятно, что вода при температурѣ 0⁰, поставленная въ условія термическаго равновѣсія, замерзнуть не можетъ. Замерзаніе воды, находящейся при 0⁰, можетъ произойти только тогда, когда тѣмъ или инымъ путемъ будетъ отнято то количество скрытой теплоты, какое необходимо для превращенія воды въ ледъ съ температурою въ 0⁰. Ясно, слѣдовательно, что въ какомъ-нибудь водномъ бассейнѣ образованіе льда является возможнымъ только тогда, когда заключающаяся въ немъ вода достигнетъ температуры 0⁰ и когда выдѣленіе теплоты изъ воды на этомъ не остановится, а будетъ продолжаться дальше. Такъ какъ скрытая температура таянія льда равна 80 калоріямъ, то образованіе одного грамма льда способно повысить температуру 80 кубическихъ сантиметровъ прилегающей воды на одинъ градусъ. Изъ этого сопоставленія явствуетъ, что привычка оцѣнивать тепловые эффекты градусами термометра, а не количествомъ участвующей въ явленіи тепловой энергіи, влечетъ за собою нѣкоторую односторонность сужденій. Такъ, напримѣръ, неоднократно поражала и поражаетъ наблюдателей Ангара, остающаяся свободною отъ ледяного покрова при температурѣ воздуха — 30⁰ С.

О тепловыхъ процессахъ по показаніямъ термометра мы можемъ дѣлать правильныя заключенія только въ томъ случаѣ, когда имѣемъ дѣло со средами, обладающими одинаковыми термическими постоянными.

Если мы теперь вновь представимъ себѣ сосудъ или бассейнъ съ водою при температурѣ 0⁰, то въ такомъ бассейнѣ образованіе кристалловъ льда можетъ быть вызвано въ любомъ его мѣстѣ, если мы съумѣемъ устроить искусственно въ этомъ мѣстѣ сильное поглащеніе тепла.

Опыты H. Meier'а [1]), произведенные въ 1892 году, хотя и недостаточно хорошо обставленные, вполнѣ подтверждаютъ правильность нашихъ разсужденій. Считая вышеприведенныя разсужденія закономѣрными, мы можемъ допустить образованіе льда на днѣ водоема только при условіи охлажденія дна его ниже 0⁰.

Необходимость охлаждепія дна признаютъ нѣкоторые изслѣдователи доннаго льда. Геденштромъ, напримѣръ, полагалъ, что охлажденіе дна происходитъ вслѣдствіе проникновенія холода изъ слоевъ, не покрытыхъ водою, въ почвенный слой, образующій дно рѣки, другіе ставили явленіе въ зависимость съ наличностью вѣчной мерзлоты. И одно и другое объяспеніе не могутъ быть сочтены удовлетворительными — теплопроводность почвъ чрезвычайно ничтожна (напр., по опредѣленію Беккереля [2]) въ Парижѣ она = 0,0040), и донный ледъ образуется въ рѣкахъ малыхъ широтъ, какъ, наприм., Днѣпръ, Сена и др., т.-е. въ мѣстностяхъ, въ которыхъ нѣтъ мерзлаго слоя.

---

[1]) Meier, H. Annalen der Hydrographie. Bd. XIX.

[2]) R. Assmann. Die Fortschritte der Kosmischen Physik im Jahre 1894. S. 525.

Нѣкоторые изслѣдователи допускаютъ переохлажденіе быстро текущей рѣчной воды и возможность образованія въ массѣ воды кристалловъ льда, которые, въ силу тѣхъ или иныхъ причинъ, при соприкосновеніи съ дномъ наростаютъ главнымъ образомъ на выдающихся его частяхъ. Вопросъ о переохлажденіи движущейся воды разрѣшенъ въ настоящее время экспериментально въ положительномъ смыслѣ. По словамъ Хвольсона [1]), это доказано опытами Despretz'а и Monti, изъ которыхъ послѣдній охлаждалъ прокипяченую воду до -7^0, подвергая ее все время сильному перемѣшиванію. W. Kochs [2]) при своихъ физіологическихъ опытахъ охлаждалъ воду, въ которой плавали піявки и улитки до -4^0. При такой температурѣ эти животныя двигались въ водѣ, а слѣдовательно, и переохлажденная, но недистилированная вода оставалась жидкою [3]).

Относительно температуръ рѣчныхъ водъ мы имѣемъ чрезвычайно малое число наблюденій, а въ особенности мало наблюденій, безукоризненно обставленныхъ [4]).

---

[1]) Хвольсонъ. Курсъ физики, т. III, стр. 426.

[2]) Бахметьевъ, П. Переохлажденіе жидкостей. Журн. Физико-Химич. Общ. Т. XXXII. 1900 г. Часть физич., стр. 218.

[3]) Стефановичъ.

[4]) Разыскивая литературу по вопросу о температурѣ проточныхъ водъ, я могъ найти только одну сводную работу, именно статью A. Forster'а. Die Temperatur fliessender Gewässer Mitteleuropas. Wien, 1894, отдѣльный оттискъ изъ Geographische Mittheilungen, Bd V. Въ этой статьѣ нашелъ между прочимъ указаніе, что первыя по времени наблюденія надъ температурою воды въ рѣкѣ были сдѣланы еще въ 1734 году въ Петербургѣ на Невѣ академикомъ I. Weitbrecht'омъ. Forster признаетъ работу Weitbrecht'а образцовою и сожалѣетъ, что его наблюденія обнимаютъ незначительный промежутокъ времени, и что переводъ его термометрической шкалы на одну изъ современныхъ потребовалъ бы сложныхъ вычисленій. Непосредственное ознакомленіе съ работою Weitbrecht'а, носящей названіе: „De mutationibus caloris et frigori aquae fluentis observationes“ (Commentarii Academiae scientiarum Imperialis Petropolitanae. Tomus V, p. 235–270) убѣждаетъ въ полной правильности заключенія For-

Мы можемъ привести только три факта, гдѣ наблюдалась температура воды ниже 0^0, именно наблюденія Meier'а на Эльбѣ и наблюденія Стефановича на Бодайбо и Штеллинга въ Иркутскѣ. Наблюденія Meier'а [1]) не могутъ быть признаны убѣдительными, такъ какъ они производились въ Гамбургѣ, гдѣ рѣка подвергается вліянію прилива, и останется безъ возраженія допущеніе, что температура ниже 0^0 получилась въ слоѣ морской воды. Стефановичъ [2]) для Бодайбо въ 1896 году въ своихъ таблицахъ пять разъ отмѣчаетъ температуру воды ниже 0^0, именно $-0{,}2^0$ до $-0{,}3^0$. Въ текстѣ же указываетъ, что 1 апрѣля поверхностный слой воды обнаружилъ температуру $-0{,}5^0$. Это указаніе Стефановичъ сопровождаетъ выноскою, въ которой отмѣчаетъ, что въ его распоряженіи былъ термометръ Müller'а; въ иномъ мѣстѣ (стр. 232) узнаемъ, что термометръ происходилъ изъ Иркутской Магнитно-Метеорологической Обсерваторіи, и что опредѣленія температуръ производились или въ самомъ водоемѣ, или у самаго водоема въ только-что зачерпнутой въ сосудъ водѣ. Дробность дѣленія шкалы термометра не указана. Методъ опредѣленія температуры воды въ сосудѣ нельзя признать надежнымъ. Forster въ

---

ster'а. Термометръ для Weitbrecht'а былъ приготовленъ De'Lisle'емъ, занимавшимся, между прочимъ, изслѣдованіями надъ установленіемъ постоянныхъ точекъ этого прибора (см. Kramsztyk, Historya termometru. Biblioteka Warszawska. 1904, I, str. 60), и на этомъ термометрѣ единица была поставлена на точкѣ кипѣнія воды. Наша точка 0^0, соотвѣтствовала приблизительно 152^0. Ежедневныя записи Weitbrecht'а поражаютъ своею обстоятельностью. Среди выводовъ Weitbrecht'а нужно отмѣтить, что имъ установлено, что подъ льдомъ температура воды „per totam hyemen idem permansit, et quidem ita, ut mercurius in Termometro, quo usus eram, semper haeserit circa gradum 152^0“. Дальше имъ отмѣчено, что наибольшій дневной приростъ температуры не превышалъ 2^0 по термометру и что какъ бы великъ ни былъ приростъ температуры за день, температура воды за ночь падала по крайней мѣрѣ на половину этого прироста, только короткія ночи въ іюнѣ не вызывали замѣтныхъ измѣненій температуры.

[1]) Meier, H. Annalen der Hydrographie. Bd. XIX. S. 137.

[2]) L. c.

своихъ таблицахъ всѣ показанія температуръ воды ниже 0^0 счелъ ошибочными и замѣнилъ ихъ 0^0 [1]).

Нельзя не пожалѣть, что Стефановичъ, точный наблюдатель, давшій интересный рядъ наблюденій надъ образованіемъ доннаго льда и называющій гипотезу о переохлажденіи рѣчной воды заманчивою, не имѣлъ, повидимому, возможности обставить свои наблюденія надъ температурою воды болѣе доказательно.

Безупречнымъ, а слѣдовательно и чрезвычайно важнымъ является наблюденіе Штеллинга [2]), отмѣтившаго для Ангары температуру воды на ея поверхности $-0,05^0$ С.

Такимъ образомъ гипотеза объ образованіи доннаго льда вслѣдствіе переохлажденія всей массы воды, послѣ указанныхъ выше опытовъ не является съ теоретической точки зрѣнія лишенной будущности и она главнѣйше можетъ послужить къ объясненію образованія игольчатыхъ кристалловъ льда, наблюдавшихся Э. В. Штеллингомъ и мною на Ангарѣ. Миддендорфъ, кажется, первый подмѣтилъ значеніе лучеиспусканія, какъ фактора, способствующаго образованію доннаго льда, но только Krieg [3]) поставилъ ясно образованіе доннаго льда въ зависимость отъ состоянія неба и болѣе прочно установилъ, что донный ледъ образуется только въ ясныя холодныя ночи, и что послѣ ночей съ облачнымъ небомъ наростанія льда не наблюдается.

Конечно, вопросъ объ условіяхъ образованія доннаго льда можетъ быть разрѣшенъ только путемъ надлежащаго изслѣдованія явленія, и попытки въ этомъ отношеніи уже имѣются.

---

[1]) Forster, l. c. Этимъ авторомъ обработаны, между прочимъ, наблюденія австрійскихъ военныхъ станцій, на которыхъ температура воды измѣрялась въ сосудѣ, въ который зачерпывали воду. Зимою оказались записанными показанія до -5^0 С.

[2]) Stelling, E. Repertorium f. Meteorologie. Bd. XII. № 1. S. 3.

[3]) Krieg. l. c.

Среди этихъ попытокъ на первомъ мѣстѣ нужно поставить наблюденія Bubendey'а [1]), произведенныя въ 1892 году на Эльбѣ у Гамбурга отъ 16 января до 26 февраля, въ періодъ образованія льда. Безспорнымъ достоинствомъ этихъ наблюденій является точность отчетовъ показаній термометра до $0,01^0$ Реомюра. Температура воды измѣрялась на двухъ горизонтахъ: на самомъ днѣ рѣки и на глубинѣ 1 метра отъ поверхности воды. Въ виду колебанія уровня воды подъ вліяніемъ прилива и отлива, второй термометръ былъ прикрѣпленъ къ понтону моста. Рядъ наблюденій Бубендейа совпалъ съ періодомъ погоды, неособенно благопріятнымъ для непосредственной конечной цѣли наблюденій, но тѣмъ не менѣе онъ даетъ нѣсколько чрезвычайно важныхъ указаній для облегченія пониманія образованія доннаго льда. Данныя наблюденій приводятъ къ заключенію, что въ періодъ образованія льда температура во всей массѣ воды близка къ нулю и колеблется въ предѣлахъ отъ $0,13^0$ до $0,00^0$. При безоблачномъ небѣ минимумъ температуры наблюдается на днѣ и эта разница достигаетъ $0,1^0$ (наблюденіе 19 января, 3 часа дня). Въ облачные дни, но морозные, верхній слой воды холоднѣе нижняго. Донный ледъ наблюдался только одинъ разъ, именно въ 9 часовъ утра, 20 января, когда сѣтка, въ которой помѣщалась бутыль съ термометромъ, оказалась наполненною кристаллами доннаго льда. Ближайшія данныя, сопровождающія появленіе доннаго льда, состоятъ въ слѣдующемъ. До 10 января было облачно, температура воздуха для этого дня была отмѣчена $-8,2^0$ и $-4,6^0$ С. [2]), на рѣкѣ утромъ небольшая шуга—

---

[1]) Bubendey, I. F. Die Temperatur des fliessenden Wasser zur Zeit der Eisbildung. Annalen der Hydrographie. 1893.

[2]) Наблюденія производились въ 9 час. утра и въ 3 часа пополудни. Для сравненія температуры воздуха даны среднія: утромъ за время съ 3 ч. дня до 9 час. утра, и въ 3 часа среднія за время съ 9 ч. утра до 3 ч.

забереги, въ 3 часа дня забереги смѣнила шуга (am Ufer auch loses Eis). Температура воды на поверхности 0,5^0 и 0,04^0, а на днѣ 0,02^0 С. 19-го стало ясно, безоблачно утромъ, температура воздуха была—7,7^0, а температура воды какъ на днѣ, такъ и на глубинѣ одного метра стала одинаковая 0,02^0, шуга покрыла всю рѣку.

За время съ 9 час. утра до 3 час. дня температура воздуха повысилась, въ среднемъ получено—5,0^0, температура воды точно такъ же поднялась и на поверхности стала 0,13^0, а на днѣ 0,03^0. На слѣдующій день утромъ при такомъ же совершенно ясномъ небѣ, при температурѣ воздуха—7,6^0 и при температурѣ воды на поверхности 0,03^0, со дна былъ поднятъ донный ледъ и термометръ на днѣ показалъ 0,00^0.

Къ 3 час. дня температура воздуха отмѣчена —6,4^0, температура поверхностнаго слоя воды 0,08^0, а на днѣ 0,02^0, въ сѣткѣ немного доннаго льда. Здѣсь мы встрѣчаемся съ крайне непріятнымъ пробѣломъ въ отчетѣ. Въ немъ не говорится была ли сѣтка очищена утромъ отъ доннаго льда или же вмѣстѣ съ нимъ вновь опущена на дно[1]). Имѣя въ виду, что въ сѣткѣ былъ найденъ ледъ при температурѣ выше нуля, нужно полагать, что это остатокъ неуспѣвшаго всплыть или растаять образовавшагося ночью доннаго льда.

21 числа утромъ небо было покрыто облаками, температура воздуха —9,4^0, температура воды какъ на днѣ, такъ и на поверхности 0,00^0, въ сѣткѣ доннаго льда больше не оказалось. Къ 3 час. температура воздуха понизилась до —10,7^0 и при ясномъ небѣ температура воды на поверхности поднялась до 0,08^0, и на днѣ осталась прежняя, т.-е. 0,00^0.

дня. Хотя наблюденія производились термометрами Реомюра, но они перечислены на градусы Цельсія.

[1]) Въ примѣчаніи къ 21 января сказано: „Kein Grundeis mehr im Netz“—это примѣчаніе заставляетъ думать, что сѣтка не была очищена отъ доннаго льда.

На слѣдующій день въ 9 ч. утра было облачно, средняя температура воздуха—13,1^0. Температура воды на поверхности 0,00^0, а на днѣ 0,01^0, шуга у берега образовала ледъ, а въ бутылкахъ съ водою, въ которыхъ были погружены резервуары термометровъ, появились игольчатые кристаллы льда[1]). Въ тотъ же день, т.-е. 22 января, пополудни небо покрылось облаками, наступило сильное повышеніе температуры, и дальнѣйшій рядъ наблюденій теряетъ для насъ значеніе.

Кромѣ тѣхъ заключеній, какія были сдѣланы авторомъ, мы должны отмѣтить, что единственный фактъ образованія доннаго льда имѣлъ мѣсто при условіи отсутствія облаковъ въ теченіе 24 часовъ.

Довольно подробная передача наблюденій Bubendey'а освобождаетъ насъ отъ необходимости входить въ подробный разборъ фактовъ, приводимыхъ Словиковскимъ[2]), Meier'омъ[3]) и др. У всѣхъ этихъ авторовъ, независимо отъ ихъ теоретическихъ воззрѣній, мы найдемъ достаточное число данныхъ, свидѣтельствующихъ, что прозрачность воды и ясность неба главнѣйшія условія образованія доннаго льда.

На основаніи вышеприведенныхъ разсужденій мы должны установить, что донный ледъ можетъ образоваться только при томъ условіи, когда температура воды достигнетъ 0^0. На ряду съ этимъ мы должны предположить, что на днѣ появятся точки съ температурою ниже нуля. Естественно, и переохлажденіе дна до температуры ниже 0^0 поставить въ зависимость отъ лучеиспусканія, а величина этого послѣдняго, въ свою

---

[1]) Считаю необходимымъ обратить вниманіе на это единственное пока наблюденіе. Отсутствіе доннаго льда въ сѣткѣ можно объяснить тѣмъ, что быть можетъ на днѣ рѣки, вслѣдствіе прилива, появилась соленая вода.

[2]) Slowikowski. Pamietnik Fizyograficzny. Warzawa. 1882.

[3]) Meier, H. Annalen der Hydrographie. 1891 und 1892.

очередь, будетъ зависѣть отъ степени ясности неба. Опредѣленно выражаясь, наше предположеніе должно быть формулировано такъ: при ясномъ небѣ, вслѣдствіе сильнаго лучеиспусканія, дно рѣки можетъ охлаждаться до температуры ниже 0^0, и потому на немъ начинаетъ кристаллизоваться вода.

VI.

Такое предположеніе, вытекающее изъ ряда логическихъ, физическаго характера, посылокъ находитъ себѣ подтвержденіе и въ нѣкоторыхъ фактахъ, добытыхъ наукою въ послѣднее время.

Эгими повыми фактами, а отчасти и новымъ сопоставленіемъ ранѣе извѣстныхъ мы обязаны Homén'у [1]).

Толчокъ къ работамъ Homén'а дали заморозки, нерѣдко появляющіеся въ Финляндіи въ вегетаціонный періодъ, и бѣдственно отражающіеся на земледѣліи края.

Homén путемъ непосредственныхъ наблюденій изучилъ обмѣнъ теплоты между землею и видимымъ небосклономъ. Съ этою цѣлью, помимо обычныхъ метеорологическихъ наблюденій, онъ организовалъ рядъ наблюденій надъ температурою почвы, какъ по методу, такъ и по обстановкѣ единственныхъ въ своемъ родѣ. Его термометры были опущены не въ вертикальныя скважины, а въ скважины наклонныя, слѣдовательно измѣрялась дѣйствительная температура почвы на данной вертикальной глубинѣ, далѣе термометры были такъ устроены, что вся ихъ шкала была на поверхности, и термометры во все время наблюденій не вынимались, т.-е. находились въ абсолютномъ покоѣ.

Наблюденія производились не въ одной какой-нибудь точкѣ, а на пространствѣ четырехъ квадратныхъ километровъ. Отчеты производились ежечасно, и понятно поэтому сколько труда было положено въ это дѣло.

Наблюденія относятся къ различнымъ родамъ почвъ: къ гранитной скалѣ, къ песчаной и торфяниковой почвамъ. Всѣ роды почвы были тщательно изучены какъ въ отношеніи ихъ состава, такъ и въ отношеніи ихъ физическихъ свойствъ.

Наблюденія, какъ сказано выше, преслѣдовали опредѣленную цѣль, вызванную жизненными потребностями, а потому обнимали маленькіе періоды въ августѣ и въ сентябрѣ.

Не имѣя возможности въ настоящей статьѣ входить въ подробности [1]), возьмемъ изъ нея только то, что намъ необходимо для нашей непосредственной цѣли. Изучая на основаніи своихъ наблюденій сильные заморозки, имѣвшіе мѣсто въ 1892 году, Homén приводитъ интересныя таблицы для ночей съ 12 на 13 августа и съ 6 на 7 и съ 7 на 8 сентября. Въ эти ночи поверхность земли отдала больше тепла, чѣмъ она успѣла получить въ теченіе предшествующихъ дней, а именно на квадратный метръ поверхности [2]).

Вересковый лугъ отдалъ .	850—900	килгр. калорій.
Торфяной лугъ	450—540	„

---

[1]) Homén T. a) Der tägliche Wärmeumsatz im Boden und die Wärmestrahlung zwischen Himmel und Erde. Helsingfors 1897. b) Bodenphysikalische und meteorologische Beobachtungen mit besonderer Berücksichtigung des Nachtfrostphaenomens. Bidrag till kännadom af Finlands natur och folk. Heft 54. 1894.

Работы Homén'а даютъ намъ ключъ къ разрѣшенію вопроса о причинахъ существованія и образованія вѣчно мерзлой почвы. Вѣчно мерзлая почва есть результатъ излученія теплоты земною поверхностью. Взглядъ этотъ былъ развитъ мною въ октябрѣ 1903 года въ сообщеніи въ Минералогическомъ Обществѣ, а подробнѣе въ апрѣлѣ 1904 г.

---

[1]) А. И. Воейковъ въ своей метеорологіи (1903 г.) воспользовался работами Homén'а. Въ Метеорологическомъ Вѣстникѣ своевременно было дано обстоятельное изъ нихъ извлеченіе. Метеор. Вѣстникъ 1898 г., т. VIII.

[2]) Bidrag, S. 274.

Пашня на глинистой почвѣ	425	килгр. калорій.
„ „ торфяников. „	290	„
Лугъ, поросшій лѣсомъ. .	200—300	„
Торфяникъ, поросшій лѣсомъ	140—250	„

Поверхность земли получаетъ теплоту вслѣдствіе лучеиспусканія солнца, въ количествахъ, зависящихъ отъ относительнаго положенія земли и солнца — слѣдовательно, эти количества тепла представляютъ функцію какъ времени дня, такъ и времени года.

Теплота, доставляемая солнцемъ земной поверхности, получаетъ на ней различныя назначенія. Часть ея идетъ на нагрѣваніе почвы до извѣстной ея глубины, другая идетъ на испареніе воды, заключающейся въ почвѣ, третья часть на конвекцію и на нагрѣваніе воздуха вслѣдствіе теплопроводности, дальше на химическія реакціи и, наконецъ, остатокъ передается небосклону путемъ излученія.

Если немногочисленныя данныя, выражающія количества теплоты, получающей то или иное назначеніе, выразить въ процентныхъ отношеніяхъ, то окажется, что въ дни наблюденія Хомена на нагрѣваніе почвы уходила сравнительно незначительная часть теплоты, доставляемой инсоляціей, причемъ эти количества находятся въ тѣсной зависимости отъ свойства почвъ [1]).

Гранитъ собиралъ въ себѣ . .	39,8$^0/_0$
Песчаная пашня	15,7 „
Торфяной лугъ	8,2 „

---

[1]) Разсчетъ сдѣланъ на основаніи таблицъ Homén'a. Der tägliche Wärmeumsatz im Boden. S. 143. Въ таблицѣ сведены данныя для трехъ паръ дней августа, сентября и октября. Конечно, незначительное число данныхъ не позволяетъ считать приведенныя величины имѣющими непосредственное количественное значеніе, но онѣ ясно обрисовываютъ механизмъ явленія.

Если мы, зная эти цифры, вернемся къ вышеуказаннымъ днямъ заморозковъ, то для насъ станетъ ясно, что ночная потеря почвою теплоты не вознаграждалась дневною ея прибылью, и что эта потеря въ весьма значительной степени произошла за счетъ запаса теплоты, накопленной въ предшествующіе дни.

Непосредственный ближайшій интересъ представляютъ наблюденія Homén'a на озерѣ Лойо, произведенныя имъ въ 1893 году, но въ окончательной обработкѣ, насколько извѣстно, еще не опубликованныя. Hann [1]) приводитъ слѣдующую выдержку изъ письма Homén'a.

„Озеро Лойо расположено подъ 60^0 сѣв. шир., длина его 11 километровъ, ширина 2,5 километра и глубина 40 метровъ. Льдомъ оно бываетъ покрыто со средины или конца декабря до конца апрѣля или начала мая. Съ момента вскрытія температура воды въ озерѣ неизмѣнно возрастаетъ и черезъ 10—15 дней вся масса воды получаетъ температуру 4^0. Въ теплый солнечный день каждый квадратный дециметръ поверхности озера получаетъ отъ 70 до 80 килограммъ калорій тепла. Съ начала іюня до конца августа дневной притокъ тепла больше, чѣмъ отдача его въ короткія ночи. Въ обыкновенный теплый лѣтній день квадратный дециметръ поверхности поглощаетъ отъ 40 до 50 большихъ калорій, а ночью отдаетъ отъ 15 до 30. Въ концѣ августа или въ началѣ сентября (а въ мелкихъ озерахъ еще раньше) начинается возрастаніе отдачи теплоты и она постепенно становится больше притока тепла. Въ октябрѣ возрастаютъ постепенно колебанія температуры озера, въ то же время количества отдаваемаго тепла въ холодные дни ноября и декабря достигаютъ 80—100 килограмъ калорій и въ исключительные дни превы-

---

[1]) Hann J. Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig, 1901, S. 58.

шаютъ и крайнюю цифру. Болѣе мелкія озера нагромождаютъ въ себѣ въ теченіе лѣта меньшій запасъ тепла и замерзаютъ скорѣе. Суточныя колебанія температуры, превышающія 0,1° C, достигаютъ въ слабо вѣтренный день глубины 5—6 метровъ, а въ штилевые—глубины 3—5 метр.“

Если мы примемъ за среднюю отдачу 50 килограммъ калорій на каждый дециметръ и произведемъ разсчетъ только на слой воды въ 5 метровъ, то такая отдача способна понизить температуру за одну ночь на 0,1° C, и для того, чтобы довести температуру этого слоя отъ 4° до 0°, нужно было бы 40 одинаково ясныхъ ночей; для того, чтобы на такой охлажденной водѣ получить слой льда въ 1 сантиметръ толщиною, необходимо еще отъ каждаго дециметра поверхности воды отнять 80 килограммъ калорій.

Homén, Lemström и многіе другіе изслѣдователи замѣтили, что главнѣйшею причиною пониженія температуры въ ясныя ночи является лучеиспусканіе почвы и покрывающаго ее растительнаго покрова. Большая или меньшая прозрачность атмосферы играетъ въ этомъ отношеніи первенствующую роль и нагляднымъ мѣриломъ этого послѣдняго обстоятельства является синева или сѣрый тонъ видимаго небосклона.

Hann[1], резюмируя все извѣстное намъ о роли облачности, приходитъ къ заключенію, что она, т.-е. облачность, является наиболѣе могучимъ изъ числа всѣхъ факторовъ, обусловливающихъ суточныя амплитуды температуры.

VII.

Всѣ приведенныя литературныя справки заставляютъ насъ высказать предположеніе, что процессъ образованія доннаго

льда представляетъ одно изъ проявленій охлажденія черезъ лучеиспусканіе, и что сравненіе доннаго льда съ инеемъ представляетъ и правильное и остроумное сопоставленіе. Хотя мое внутреннее убѣжденіе, основанное на рядѣ фактовъ и точномъ разумѣніи связи между ними, даетъ право допустить, какъ это уже сказано выше, переохлажденіе дна водныхъ бассейновъ до температуры ниже 0°, тѣмъ не менѣе это убѣжденіе является только предположеніемъ, нуждающимся въ опытной провѣркѣ. Эта провѣрка должна состоять въ производствѣ наблюденій надъ температурою дна водныхъ бассейновъ и надъ температурою воды, а программа соотвѣтственныхъ наблюденій вытекаетъ изъ суммы нашихъ наличныхъ свѣдѣній о донномъ льдѣ.

На первомъ мѣстѣ программы нужно поставить вопросъ о томъ, можетъ ли донный ледъ образоваться въ равной мѣрѣ какъ въ бассейнахъ съ проточной водой, т.-е. въ рѣкахъ, такъ и въ бассейнахъ со стоячею водою, т.-е. въ озерахъ. Непосредственными и безспорными наблюденіями до сихъ поръ не установленъ фактъ образованія доннаго льда въ озерахъ[1]. Съ теоретической точки зрѣнія образованіе доннаго льда допустимо только или въ очень неглубокихъ озерахъ, или въ прибрежныхъ, отмелыхъ частяхъ большихъ озеръ.

Такое заключеніе находитъ себѣ основаніе прежде всего въ максимальной плотности воды при 4° C., въ ея малой теплопрозрачности, въ ея большой теплоемкости. Тѣмъ не менѣе наблюденія надъ температурою дна въ ночное время неглубокихъ озеръ являются весьма желательными.

---

[1] Hann, J. Lehrbuch der Meteorologie. S. 66.

[1] Предположеніе объ образованіи доннаго льда въ озерахъ высказано между прочимъ въ монографіи J. Birkenmajer'a. O stosunkach temperatury jezior tatrzanskich. Rozprawy Akademii umiejetnosci. Ser. II. T. XIX. Kraków 1901.

Вторымъ вопросомъ является вопросъ о глубинѣ, на которой можетъ образоваться донный ледъ въ проточныхъ водахъ. Наибольшая глубина, на которой непосредственно повидимому наблюдался донный ледъ, не превышаетъ 30—35 футовъ, т.-е. она не превышаетъ глубины прозрачности для свѣта, въ озерныхъ водахъ, какая дается Forel'емъ [1]).

Нѣкоторые авторы склонны глубину образованія доннаго льда не ограничивать какою-нибудь цифрою и полагаютъ, что донный ледъ можетъ образоваться на всякихъ глубинахъ. Но это заключеніе, насколько намъ кажется, имѣетъ своимъ источникомъ недоразумѣніе, состоящее въ томъ, что въ моряхъ и на устьяхъ рѣкъ съ доннымъ льдомъ смѣшиваютъ и тотъ ледъ, какой можетъ образоваться въ водѣ на любомъ ея горизонтѣ при встрѣчѣ двухъ потоковъ воды съ различною температурой и различною степенью насыщенія. То обстоятельство, что теплопрозрачность воды очень невелика и что теплоемкость ея, напротивъ того, очень большая, заставляетъ думать, что долженъ существовать предѣлъ глубины, на которой происходитъ наростаніе доннаго льда.

На количество и скорость образованія доннаго льда оказываетъ, повидимому, вліяніе физическая природа дна. Но въ этомъ отношеніи показанія различныхъ авторовъ достаточно разнорѣчивы, чтобы не считать желательнымъ производство контрольныхъ наблюденій.

Полагаютъ, наприм., что для устраненія возможности образованія доннаго льда на р. Св. Лаврентія необходимо выровнять дно ея, устранить выступающія надъ его поверхностью камни. **Brauns** замѣчаетъ, что донный ледъ легче всего образуется на тѣлахъ съ волокнообразною структурою, какъ наприм., на шерсти, паклѣ, что онъ наростаетъ на камняхъ съ шероховатою поверхностью, на металлахъ и т. д. Смолы, канифоль, кожа, обстроганное дерево оказываются въ этомъ отношеніи менѣе благопріятными.

Какъ извѣстно, количества отдаваемой помощью лучеиспусканія теплоты находятся въ тѣсной зависимости отъ свойствъ поверхности; конечно, это же обстоятельство должно сохранить свою силу и по отношенію къ поверхностямъ, покрытымъ водою. Для разрѣшенія относящихся сюда сомнѣній необходимы количественныя наблюденія. Извѣстны факты образованія льда на хорошо отполированныхъ поверхностяхъ (Словиковскій), съ другой стороны, отсутствіе образованія его на поверхностяхъ шероховатыхъ (Стефановичъ). Во всѣхъ этихъ случаяхъ, принимаемыхъ отчасти какъ бы за правило, намъ недостаетъ элемента количества. Нужно полагать, что донный ледъ будетъ образовываться на всѣхъ безъ различія тѣлахъ и только природа самихъ тѣлъ и ихъ поверхности обусловливаетъ скорость его наростанія.

Разрѣшенія всѣхъ относящихся сюда вопросовъ можно ожидать только отъ изученія температуры воды въ проточныхъ водахъ на различныхъ горизонтахъ и главнѣйше на самомъ днѣ.

Опредѣленіе температуры у дна хотя и является на первый взглядъ довольно затруднительнымъ, но и оно при соблюденіи извѣстныхъ предосторожностей и особыми пріемами вполнѣ возможно.

Для этой цѣли редакція журнала Das Wetter рекомендуетъ опускать въ дно рѣки металлическія трубки съ жидкостями, температура замерзанія которыхъ ниже температуры замерзанія воды. Если металлическія трубки замѣнить эбонитовыми и только нижнія ихъ части на 2—3 сантиметра сдѣлать металлическими, то пріемъ этотъ, несмотря на его примитивность, могъ бы оказать значительныя услуги.

---

[1]) **Assmann**. Die Fortschritte d. kosm. Physik im Jahre 1894. S. 525.

Лучшихъ, конечно, результатовъ можно ожидать отъ примѣненія термоэлектрическихъ регистрирующихъ приборовъ.

Имѣя однако въ виду слабую теплопроводность почвы, на первое время можно было бы ограничиться измѣреніями температуръ на поверхности дна рѣчныхъ бассейновъ. Эти наблюденія будутъ поставлены въ такія же условія, какъ измѣренія температуры поверхностнаго слоя почвы, неудовлетворяющія однако по многимъ причинамъ метеорологовъ. Измѣренія не могутъ быть произведены минимальными термометрами, и единственнымъ, повидимому, надежнымъ средствомъ было бы опусканіе на дно термометровъ, шарики которыхъ должны быть заключены въ стеклянные резервуары (хотя бы обыкновенныя баночки), наполненные рѣчною водою съ прибавленіемъ глицерина или какой-нибудь соли, понижающей температуру замерзанія. Для незначительныхъ глубинъ можно бы было каждый разъ передъ опусканіемъ термометра въ днѣ посредствомъ кола или лома дѣлать небольшія углубленія, такъ чтобы резервуаръ термометра болѣе или менѣе приходился на уровнѣ дна. Шкала термометра должна имѣть достаточно большія дѣленія, чтобы этимъ гарантировать точность дробныхъ отсчетовъ.

Такъ какъ употребленіе минимальныхъ термометровъ здѣсь должно быть исключено, то само собою отсчеты должны быть производимы довольно часто и главное они должны обнимать ночное время сутокъ.

Въ виду этого крайне желательно, какъ отмѣчено выше, примѣненіе самопишущихъ приборовъ.

Что касается измѣреній на разныхъ глубинахъ, то для производства ихъ можно было бы воспользоваться или какою-нибудь мостовою сваею или быкомъ, что все-таки можетъ повести къ нѣкоторымъ погрѣшностямъ, или же, что, конечно, было бы лучше, термометры съ большими водяными резервуарами должны быть прикрѣпляемы соотвѣтственнымъ образомъ къ канатамъ, снабженнымъ на одномъ концѣ якоремъ, а на другомъ поплавкомъ.

Въ полномъ своемъ объемѣ и въ обстановкѣ, удовлетворяющей строгимъ научнымъ требованіямъ, подобнаго рода изслѣдованія могутъ быть организованы и проведены только такимъ учрежденіемъ, какимъ является Николаевская Главная Физическая Обсерваторія и ея филіальныя отдѣленія въ Екатеринбургѣ, Иркутскѣ, Тифлисѣ и Ташкентѣ. Важность наблюденій надъ температурою проточныхъ водъ Обсерваторія давно сознавала, и въ ея лѣтописяхъ мы находимъ наблюденія надъ температурою Невы за нѣсколько лѣтъ.

Если эти наблюденія въ настоящее время оставлены, то это обстоятельство находитъ себѣ объясненіе въ географическомъ положеніи нашихъ обсерваторій. Петербургская обсерваторія и Иркутская расположены на рѣкахъ ненормальнаго типа и наблюденія на нихъ не обѣщаютъ дать результаты достаточно широкаго значенія. Екатеринбургская обсерваторія имѣетъ въ своемъ распоряженіи рѣку очень небольшого живого сѣченія. Тифлисская и Ташкентская обсерваторіи не могутъ лать особенно для насъ интересныхъ наблюденій, такъ какъ онѣ расположены за предѣлами господства низкихъ температуръ.

Единственными пунктами, въ которыхъ въ виду наличности и научныхъ средствъ и научнаго персонала могли бы быть у насъ организованы надлежащія въ этомъ направленіи наблюденія, являются Казань на Волгѣ, Кіевъ и Екатеринославъ на Днѣпрѣ, Варшава на Вислѣ и Томскъ на Томи.

Волга и Висла со своими относительно мутными водами, а первая изъ нихъ съ постоянно плавающею на ней пленкой нефти представляютъ меньше удобствъ чѣмъ Томь и Днѣпръ. Идеальныя условія представляетъ Ангара въ ея низовьяхъ, Енисей, хотя бы у Красноярска, и вообще всѣ большія сибирскія рѣки.

Постановка наблюденій въ вышеуказанномъ направленіи должна составить заботу нашей Главной Физической Обсерваторіи, къ сожалѣнію, не располагающей достаточными матеріальными средствами, чтобы обнять весь циклъ работъ, входящихъ въ кругъ ея обязанностей. Но на ряду съ систематическими работами обсерваторіи и наукѣ, и практической жизни всегда приносили и будутъ приносить большую пользу и наблюденія отдѣльныхъ лицъ, хотя бы эти наблюденія и не отличались абсолютною точностью и систематичностью. Къ такимъ наблюденіямъ мы прежде всего призываемъ лицъ, причастныхъ къ золотому промыслу, какъ лицъ, въ дѣлѣ которыхъ, какъ сказано выше, все связанное съ процессомъ замерзанія рѣкъ играетъ существенную роль. Наблюденія надъ температурою воды рѣкъ на разныхъ глубинахъ во всякое время года представляютъ сами по себѣ большой интересъ 1), но для рѣшенія вопросовъ, относящихся до ихъ замерзанія, наиболѣе важнымъ является циклъ времени, предшествующій рѣкоставу.

Для производства наблюденій надъ температурою нужно имѣть въ своемъ распоряженіи хорошій вывѣренный термометръ. Для данной цѣли весьма удобнымъ можно признать термометръ-пращъ съ дѣленіями на 0,5° С. 1).

Термометръ пропускаютъ черезъ отверстіе въ пробкѣ, закрывающей плотно небольшую коническую или цилиндрическую склянку, наполненную предварительно водою, смѣшанною пополамъ съ глицериномъ. Если нужно измѣрить температуру воды въ рѣкѣ со значительною скоростію теченія, то въ такомъ случаѣ на дно склянки слѣдуетъ насыпать нѣкоторое количество дроби, чтобы этимъ путемъ заставить термометръ принять болѣе или менѣе вертикальное положеніе.

Склянку заключаютъ въ обоймицу изъ тонкой проволоки и привязываютъ къ бичевкѣ, на которой дѣлаютъ какія-нибудь мѣтки, позволяющія опредѣлять глубину, на которую былъ опущенъ термометръ. Отчетъ термометра производятъ не ранѣе, какъ послѣ часового пребыванія его въ водѣ.

VIII

Важнымъ элементомъ, обусловливающимъ размѣры и характеръ дѣйствія льда на берега рѣкъ, является его масса, зависящая, въ свою очередь, отъ толщины ледяного покрова. Данныя о толщинѣ льда на нашихъ рѣкахъ стали подвергаться регистровкѣ только въ самое послѣднее время 2). Толщина льда на рѣкахъ крайняго сѣвера Сибири и на рѣкахъ Забайкалья можетъ достигать 2,35 метра. На Енисеѣ и Ангарѣ,

---

1) Е. Renou, приписывая нагрѣваніе воды въ рѣкахъ инсоляціи, указываетъ на большое значеніе наблюденій надъ температурою воды въ рѣкахъ и указываетъ, что средняя годовая температура воды въ рѣкахъ на 2° выше средней температуры воздуха. Исключеніе изъ этого общаго правила составляютъ рѣки жаркихъ пустынь, какъ, напр., Нилъ, для котораго, по наблюденіямъ Guppy, температура воды ниже средней годовой воздуха— это объясняется усиленнымъ испареніемъ. Температуру воды Renou считаетъ факторомъ прямого значенія для сельскозяйственной промышленности. На основаніи наблюденій надъ температурою рѣкъ, нѣкоторые изслѣдователи желаютъ установить возможность дѣлать предположенія о времени ихъ замерзанія и этимъ оказать существенную услугу судоходству.

---

1) Для производства научныхъ наблюденій инструменты лучше всего пріобрѣтать по указаніямъ Главной Физической Обсерваторіи, ея филіальныхъ отдѣленій или по указаніямъ Императорскаго Русскаго Географическаго Общества и его отдѣловъ. Въ университетскихъ городахъ физическіе кабинеты никогда не откажутъ или въ нужныхъ указаніяхъ или въ провѣркѣ инструментовъ. Цѣна термометра для указанной нами цѣли не болѣе 5 рублей.

2) В. Б. Шостаковичъ. Толщина льда на водоемахъ Восточной Сибири. Изв. Импер. Акад. Наукъ, т. XVII, № 5, 1902 г.

насколько теперь извѣстно, колеблется въ предѣлахъ отъ 0,45 до 1,05 метра. Мои личныя наблюденія надъ льдомъ сибирскихъ рѣкъ весьма немногочисленны и сводятся къ слѣдующему.

Въ 1886 году въ Иркутскѣ послѣ вскрытія Ангары на правомъ берегу, на набережной, въ предѣлахъ самаго города образовались значительныя скопленія льда, представлявшаго раздробленныя льдины, какъ бы обсыпанныя осколками льда, среди которыхъ не послѣднее мѣсто занимали осколки столбчатой формы. Масса льда представлялась съ поверхности снѣжнобѣлой, чтò обусловливалось ея раздробленностью. Льдинъ, заключавшихъ твердыя примѣси, я въ этотъ день не замѣтилъ. Черезъ три дня я въ своемъ дневникѣ записалъ, что сильно растаявшій ледъ сталъ темно-сѣрымъ, покрытымъ пескомъ и дресвою, а въ нѣкоторыхъ мѣстахъ почти черными сажистыми пятнами, изъ одной льдины торчала небольшая вѣтка. Къ сожалѣнію, я тогда не обратилъ вниманіе на природу сажистаго вещества, покрывавшаго тающія массы льда.

Въ томъ же 1886 году, 17 октября я въ 9 часовъ вечера переправлялся на лодкѣ черезъ р. Ингоду ниже впаденія въ нее р. Онона. Ночь была морозная и очень ясная, вся рѣка была покрыта шугою. Въ мелкихъ прибрежныхъ мѣстахъ галька дна была закрыта сѣрою массою доннаго льда и на низовой части рѣки, гдѣ вода была защищена отъ шуги лодкою, я молоткомъ нащупывалъ и отрывалъ донный ледъ. Природы льда я тогда не могъ разсмотрѣть обстоятельно, но тѣ комья, какіе отрывались отъ гальки при скобленіи ихъ молоткомъ, всплывая на поверхность, независимо отъ губчатыхъ массъ давали и отдѣльныя иглы. Такой же губчатый ледъ я видѣлъ и на слѣдующій день на лѣвомъ берегу Ингоды, но уже, какъ мнѣ тогда показалось, не въ видѣ сплошной массы, покрывавшей всю гальку, а только въ видѣ отдѣльныхъ комьевъ.

Въ 1892 году мнѣ пришлось быть свидѣтелемъ вскрытія р. Томи у г. Томска. Вскрытіе рѣки сопровождалось значительнымъ наводненіемъ и вмѣстѣ съ этимъ нагроможденіемъ большихъ массъ льда на набережной ниже устья рч. Ушайки. Измѣренія мною произведено не было, но характеръ и масштабъ явленія довольно хорошо представлены на снятой и здѣсь приложенной фотографіи (рис. 1) [1]. Высота нагроможденныхъ

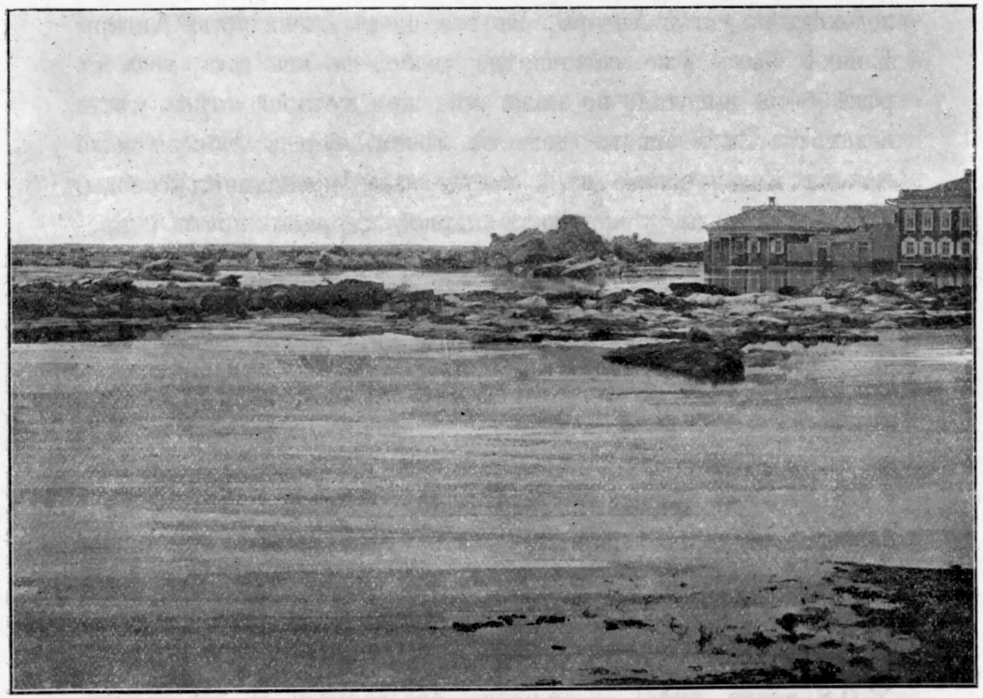

Рис. 1. Ледоходъ на р. Томи у г. Томска.

---

[1] Въ большомъ желѣзнодорожномъ путеводителѣ по Сибирской линіи помѣщена фотографія ледохода на Енисеѣ у Красноярска. Несмотря на незначительные размѣры рисунка, она даетъ хорошее представленіе о мощи явленія. Путеводитель по великой Сибирской жел. дорогѣ. Изданіе Министер. Пут. Сообщ. С.-Петербургъ, 1900 г., стр. 13.

рѣкою массъ льда не была меньше 4 — 5 метровъ. Ледъ во всей своей массѣ былъ очень не чистый.

Въ 1893 г. я выѣхалъ на работы изъ Томска 9 апрѣля и на Енисеѣ засталъ еще массы льда на берегу. Въ Енисейскѣ въ этомъ году первая подвижка льда имѣла мѣсто 7—8 апрѣля. 18 апрѣля въ с. Казачинскомъ мнѣ сообщили, что начался ледоходъ на устьѣ Ангары. Въ это время выше устья Ангары Енисей былъ уже совершенно свободенъ отъ льда, вода въ рѣкѣ была высокая, но ниже той, при которой имѣлъ мѣсто ледоходъ. Въ этотъ же день на лѣвомъ берегу Енисея ниже селенія Казачинскаго на 1 метръ надъ поверхностью воды, вдали отъ воды, у подножія первой террасы почти непрерывно простирался валъ глыбъ льда, вышиною до 2 метровъ и шириною до 4—5 и до 8 метровъ. Въ одномъ мѣстѣ валъ превращался почти въ поле льда шириною около 20 метровъ. Ледъ въ общемъ на поверхности казался почти снѣжно-бѣлымъ, въ отдѣльныхъ глыбахъ при яркомъ солнечномъ освѣщеніи голубоватымъ. 11 мая, т.-е. черезъ мѣсяцъ послѣ вскрытія Енисея, на лѣвомъ его берегу выше селенія Каргино, приблизительно въ 15 верстахъ, были найдены большія еще глыбы льда, лежащія на террасѣ на высотѣ около 3 метровъ надъ уровнемъ воды въ рѣкѣ. Ледъ сильно обтаялъ и представлялъ въ отдѣльныхъ глыбахъ, достигавшихъ размѣромъ 3 × 1,2 × 0,8 метра, смѣсь совершенно прозрачнаго съ синеватымъ отливомъ льда со льдомъ бѣлымъ, какъ бы представлявшимъ конгломератъ спаянныхъ кусковъ льда. Повидимому, при таяніи верхней части льда, просачивающаяся внизъ вода вновь замерзала и связывала сплошною массою обломки и осколки льда, образовавшіеся при наступленіи ледяныхъ массъ на берегъ. На обтаявшихъ поверхностяхъ льда было замѣтно, что онъ заключаетъ въ своей массѣ комки глины, песчинки, отдѣльныя гальки, вѣтки и даже кусокъ древесной коры, длиною

около 0,7 метра. Въ нѣкоторыхъ частяхъ ледъ былъ окрашенъ этими примѣсями въ буровато-сѣрый цвѣтъ, и эти грязныя массы выступали на поверхности чистаго льда въ видѣ неправильныхъ пятенъ и разводовъ, иногда какъ бы струекъ, внѣдрившихся въ чистую массу льда. Около глыбъ льда привлекли мое вниманіе кучки и валики неправильной формы рыхлаго песчаноглинистаго матеріала съ гальками и мусоромъ, состоящимъ изъ обломковъ вѣтокъ, соломинокъ, иголъ хвойныхъ растеній и т. п. Прослѣдивъ полосу берега, на которой залегалъ ледяной валъ, можно было отчетливо убѣдиться, что эти валики и кучки представляютъ ничто иное, какъ скопленіе примѣсей, находившихся въ массѣ уже растаявшаго льда. Масса матеріала, оставленнаго растаявшимъ льдомъ, занимала въ отдѣльныхъ мѣстахъ объемъ около кубическаго метра. Бывшіе со мною рабочіе, замѣтивъ, что я обращаю вниманіе на примѣси во льду, сообщили мнѣ, что ледъ Енисея чистый ледъ, а что ледъ Ангары, напротивъ того, весьма грязный и что онъ заключаетъ въ себѣ не только песокъ, но и цѣлые камни; они вмѣстѣ съ этимъ отмѣтили тотъ странный для нихъ фактъ, что вода въ Ангарѣ очень чистая, какъ они выражались, почти черная, а въ Енисеѣ, напротивъ того, вода мутная, между тѣмъ ледъ этихъ двухъ рѣкъ обладаетъ какъ разъ противоположными свойствами.

Заинтересовавшись сообщеніемъ рабочихъ, я поплылъ въ Стрѣлку и поднялся по Ангарѣ. Правый высокій ея берегъ въ бывшую тогда высокую воду былъ недоступенъ для наблюденій, и только на лѣвомъ берегу выше селенія и ниже порога я нашелъ еще небольшія глыбы льда, но уже въ такомъ состояніи, что непосредственнаго впаянія въ нихъ болѣе значительныхъ галекъ я не могъ отмѣтить, но зато тѣ кучки мусора, какія наблюдались на Енисеѣ, здѣсь можно было наблюдать въ несравненно большемъ развитіи и состоящими изъ болѣе крупнаго матеріала. Въ кучкахъ галька и острые обломки въ 1 дециметръ въ поперечникѣ не составляли рѣдкости. Кромѣ того въ моемъ дневникѣ отмѣчено три валуна, діаметромъ въ 25 сант., въ 32 сант. и острая плоская глыба краснаго песчаника толщиною въ 15 сант. и длиною 0,5 метровъ, при ширинѣ около 30 сант. Кромѣ того, здѣсь же около Стрѣлки, около того мѣста, гдѣ обыкновенно лѣтомъ устраиваютъ перевозъ, замѣчена борозда въ песчаногалечныхъ образованіяхъ, выпаханная льдомъ, до глубины около ½ метра и шириною въ 1,5 метра; длина ея около 3 метровъ и въ своей верхней части она заканчивалась нагроможденіемъ песчаногалечнаго матеріала, по своему объему болѣе или менѣе соотвѣтствующаго выемкѣ изъ борозды.

IX.

Чтобы пополнить свои незначительныя наблюденія надъ льдомъ рѣкъ, я зимою 1903—1904 года неоднократно осматривалъ ломки льда на Невѣ между Дворцовымъ мостомъ и Горнымъ Институтомъ. Эти наблюденія дали возможность существенно расширить мои свѣдѣнія относительно качества льда.

Нева у Петербурга покрывается льдомъ, когда по ней въ достаточномъ количествѣ, густою массою пойдетъ ледъ изъ ея верхнихъ частей и изъ Ладожскаго озера[1]. Въ томъ льдѣ, который образуетъ шугу на Невѣ, нетрудно замѣтить нѣсколько разновидностей. Прежде всего въ холодныя, но ясныя ночи на Невѣ наблюдаются небольшія сѣрыя губчатыя массы льда. Такія губчатыя массы еще удобнѣе наблюдать на гладкой поверхности водъ Мойки, Екатерининскаго канала и Фонтанки, причемъ на этихъ послѣднихъ мнѣ неоднократно удавалось замѣчать внезапныя ихъ появленія на чистой поверхности воды, т.-е. всплываніе ихъ. Эти губчатыя массы — донный ледъ. Донный ледъ, вѣроятно, составляетъ довольно значительную составную часть шуги. Дальше среди льда шуги нетрудно отличить гладкія пластины льда, представляющія, вѣроятно, отчасти ледъ забереговъ верхнихъ частей Невы и отчасти пластины ладожскаго льда.

Какъ бы, однако, ни былъ густъ осеннiй ледоходъ, но онъ, все-таки, не представляетъ непрерывной ледяной коры, а напротивъ того, наблюдая ледоходъ хотя бы съ Николаевскаго моста, мы нерѣдко, какъ выше моста, такъ и ниже его замѣчаемъ болѣе или менѣе обширныя полыньи. Эти полыньи остаются свободными отъ льда и нѣкоторое время послѣ того когда движеніе льда прекратится. Когда же рѣка окончательно замерзнетъ, тогда слѣды полыньи остаются въ видѣ гладкихъ участковъ среди сильно изборожденной поверхности ледяного покрова.

Промышленники, занимающіеся добычею льда на Невѣ, различаютъ двѣ его разновидности. Тотъ ледъ, который образовался отъ смерзанія льдинъ, принесенныхъ теченіемъ, зовутъ „плиточнымъ“ или „набойнымъ“ льдомъ, ледъ же, образовавшійся на полыньяхъ, настоящимъ „невскимъ“ льдомъ. Обѣ эти разновидности льда весьма сильно различаются другъ отъ друга. Набойнаго льда въ хорошихъ образцахъ мнѣ, какъ полагаю, не удалось видѣть, его добываютъ немногіе, даже избѣгаютъ. Набойный ледъ въ разрѣзѣ представляетъ брекчіевидную массу, состоящую изъ различно расположенныхъ плитокъ льда, сцементованныхъ въ свою очередь тоже льдомъ. Плитки льда имѣютъ весьма разнообразные размѣры и разнообразную форму. Кромѣ плитокъ, можно отличить и неправильные обломки льда. Плитки представляютъ или бѣлый, или желто-

---

[1] Бѣлявскій. Ладожское озеро. Энциклоп. слов. Брокгауза, т. XVII, стр. 241.

ватый ледъ, богатый пузырьками воздуха. Въ немъ въ большомъ количествѣ встрѣчается песокъ, стебли растеній и различные посторонніе предметы. Среди бѣлыхъ и грязныхъ плитокъ встрѣчаются и плитки водяно-прозрачнаго льда. Ледъ, цементирующій плитки, кажется большею частью болѣе свѣтлымъ и болѣе чистымъ, но онъ все-таки заключаетъ много песку и глины. Въ общемъ, вся масса плиточнаго льда представляетъ ледъ не прозрачный, бѣлый, непригодный для употребленія.

Невскій ледъ, образовавшійся на полыньяхъ, представляетъ, на первый взглядъ, довольно чистый, стекловидный ледъ. Тотъ ледъ, который употребляется жителями Петербурга, только въ одной части является „набойнымъ“ льдомъ и „невскимъ“ льдомъ. Онъ составляетъ низкіе сорта льда, употребляемаго для набивки ледниковъ для охлажденія.

Ледъ, употребляемый болѣе взыскательными жителями Петербурга, есть невскій ледъ, образовавшійся при искусственныхъ условіяхъ.

Промышленники, занимающіеся добычею льда, поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Какъ только рѣка станетъ, они отмѣряютъ на ея поверхности прямоугольные участки, шириною 7—10 до 12 саж. и длиною, вдоль теченія рѣки, 30—40 до 50 саж. На этихъ участкахъ они раскалываютъ ледъ на небольшія глыбы и, затопляя ихъ при помощи плахъ, пододвигаютъ подъ обыкновенный ледъ. Такимъ образомъ они приготовляютъ прямоугольныя полыньи, на которыхъ долженъ наростать чистый невскій ледъ. Но работа ледоколовъ не ограничивается приготовленіемъ полыньи и очисткою поверхности воды отъ кусковъ льда.

Какъ только полынья покроется сплошною корою ровнаго льда и онъ достигнетъ толщины, выдерживающей вѣсъ человѣка, поверхность льда начинаютъ обметать отъ снѣга и кругомъ всей полыньи около ея краевъ пробиваютъ борозду.

Этимъ достигаютъ того, что громадная плита льда становится совершенно независимою отъ остального ледяного покрова, слѣдуетъ колебаніямъ уровня воды въ рѣкѣ, что способствуетъ равномѣрному наростанію толщины льда. По показаніямъ людей, работающихъ на колкѣ льда, въ суровую зиму при тщательномъ соблюденіи всѣхъ выработанныхъ практикою пріемовъ получается совершенно чистый, стекловидный ледъ. Въ настоящемъ году при осмотрѣ цѣлой массы ледяныхъ кабановъ выше и ниже Николаевскаго моста я въ первую половину зимы почти совершенно не видѣлъ глыбъ льда, во всей своей массѣ однородно стекловатыхъ; только во второй половинѣ февраля и въ началѣ марта (по старому стилю) на ломкахъ, расположенныхъ сейчасъ ниже Николаевскаго моста, можно было наблюдать кабаны почти совершенно чистаго, прозрачнаго, стекловиднаго льда.

Что касается толщины льда, то въ предѣлахъ одного участка она остается постоянною, но на различныхъ участкахъ, расположенныхъ въ одномъ и томъ же сѣченіи рѣки или въ различныхъ мѣстахъ по ея теченію, она бываетъ различною. Такъ напр., 21 января (ст. стиля) на ломкѣ, расположенной противъ Морского Кадетскаго Корпуса, почти на срединѣ рѣки, толщина льда была 40—45 сант. Ближе къ лѣвому берегу она достигала 60 сант. Въ этотъ же день на ломкахъ нѣсколько ниже Горнаго Института она была 62 сант. 27 февраля на ломкѣ почти у самаго Николаевскаго моста, въ нѣсколькихъ саженяхъ ниже него, она составляла 61 сант. [1]).

---

[1]) Въ зиму 1903—4 года по даннымъ Главной Физической Обсерваторіи среднія мѣсячныя были.

	Декабрь 1903 г.	Январь 1904 г.	Февраль 1904 г.
Температура . . .	—3,7°	—3,1°	—7,5° С.
Облачность	7,6	9,0	8,7

Выше неоднократно, когда шла рѣчь объ охлажденіи и излученіи теплоты, явленія эти ставились въ связь съ облачностью. — Во избѣжаніе

По словамъ рабочихъ, занимавшихся колкою льда, наиболѣе толстымъ, является ледъ у лѣваго берега выше Новаго Адмиралтейства, гдѣ, благодаря преградѣ, образуемой военными судами, нагромождается много плиточнаго льда. Въ такихъ мѣстахъ толщина льда достигаетъ, какъ говорятъ, до сажени [1]).

Въ общемъ на искусственно приготовленныхъ полыньяхъ и при тщательномъ за ними уходѣ, въ хорошую морозную зиму, въ теченіе приблизительно 2 недѣль образуется толща льда мощностью въ 8—9 вершковъ. Наибольшая толщина, какой достигаетъ ледъ на искусственныхъ полыньяхъ, немногимъ болѣе одного аршина.

Что касается свойствъ льда, то въ данномъ случаѣ меня не интересовала его структура, хотя я не могъ не обратить вниманія, что многія особенности льда, столь мастерски описанныя Дригальскимъ, выражены на невскомъ льдѣ чрезвычайно отчетливо; мое вниманіе привлекали исключительно тѣ структурныя особенности, въ которыхъ отражался процессъ роста льда.

недоразумѣній будетъ, быть можетъ, не лишне напомнить, что изъ числа законовъ излученія, какъ-то: законъ Ньютона, Дюлонга и Пти, Фереля и др. въ настоящее время наиболѣе близкою къ истинѣ и потому наиболѣе употребительною является формулировка, данная Стефаномъ, состоящая въ томъ, что количество тепла, отдаваемаго охлаждающимся тѣломъ, прямо пропорціонально разности четвертыхъ степеней температуръ охлаждающагося тѣла и среды.—Пасмурность или ясность неба, т.-е. степень облачности, зависитъ отъ относительнаго при данной температурѣ количества водяныхъ паровъ въ воздухѣ. — При значительномъ количествѣ водяныхъ паровъ, т.-е. при высокой облачности, водяной паръ т.-е. тѣло съ большою теплоемкостію не только поглощаетъ тепло, излучаемое землею, но и обратно, излучаетъ по направленію къ землѣ заключающееся въ немъ тепло. — При ясномъ небѣ, т.-е. при малой облачности, отсутствіе въ воздухѣ водяныхъ паровъ, т.-е. среды съ большою теплоемкостію, прямо способствуетъ болѣе значительному охлажденію поверхности земли и уменьшенію излученія отъ небосклона по направленію къ землѣ.

[1]) Въ предѣлахъ Невы отъ Николаевскаго моста до Горнаго Института, на правомъ берегу рѣки много сточныхъ канавъ, подающихъ сравнительно теплую воду, что конечно не можетъ не отразиться на толщинѣ льда.

Съ нѣсколькихъ глыбъ льда были сняты фотографіи; онѣ передаютъ свойства его довольно отчетливо. Рис. 2-й представляетъ глыбу льда, въ которой достаточно замѣтно рисуется его слоистое сложеніе. Правая сторона на рисункѣ—поверхностная часть льда, толщиною около 1 дециметра, состоитъ изъ непрозрачнаго желтоватаго льда, образующаго слой, рѣзко отдѣляющійся отъ нижней части стекловатаго прозрачнаго льда. Нерѣдко этотъ верхній слой льда состоитъ изъ нѣсколькихъ, болѣе тонкихъ, подчиненныхъ слоевъ. Постороннія примѣси въ этомъ слоѣ состоятъ изъ песку, глины, а также изъ

Рис. 2. Глыба слоистаго невскаго льда со включеніями. Правая сторона рисунка—верхняя поверхность льда.

угольной пыли. Тонкая слоистость его въ верхней части обусловливается, повидимому, смѣною періодовъ оттепели и морозовъ.

Нижняя часть глыбъ льда въ общей своей массѣ состоитъ изъ стекловатаго льда, въ которомъ всегда въ незначительномъ, а иногда въ громадномъ количествѣ вмерзли постороннія примѣси. Эти примѣси состоятъ изъ мелкой дресвы, песку, глины, вѣтвей деревьевъ, соломы и всякаго мусора, не исключая и кухонныхъ отбросовъ. Расположеніе ихъ является чрезвычайно характернымъ. Оно весьма отчетливо представлено на рисункѣ 3. Примѣси, сосредоточиваясь главнымъ образомъ въ

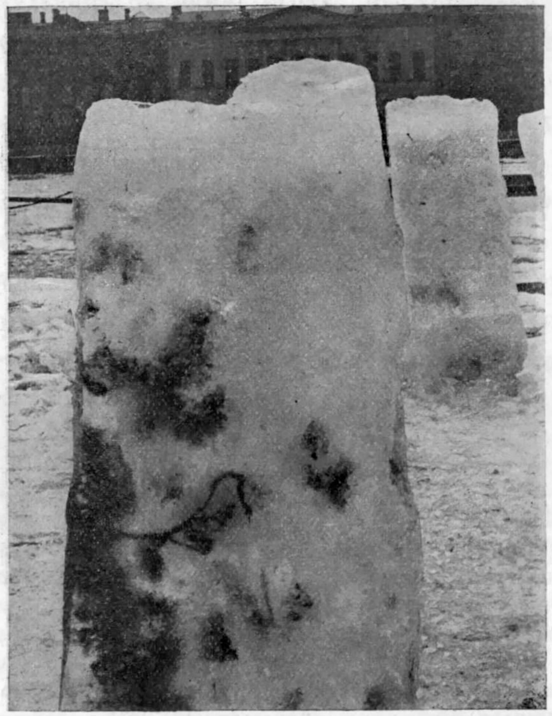

Рис. 3. Глыба льда на Невѣ со включеніями, преимущественно песчаными и глинистыми.—Правая сторона рисунка—нижняя поверхность льда.

верхней части этого прозрачнаго льда, расположены въ немъ крайне безпорядочно. Если же примѣси состоятъ изъ песку или глины, то они не представляютъ компактныхъ включеній, а являются какъ бы облачками, состоящими изъ большаго или меньшаго числа крупинокъ. Въ рѣдкихъ сравнительно случаяхъ песокъ или глина образуютъ незначительные по толщинѣ (не болѣе 2 мм.) и по протяженію прослойки. Песчаныя и глинистыя включенія въ совершенствѣ напоминаютъ намъ комья грунтоваго льда, въ которомъ зерна песку и глины расположены именно безъ всякой правильности. Очевидно, что комья грязнаго доннаго льда, оторванныя отъ дна рѣки, достигнувъ ледяного покрова, примерзаютъ къ нему и съ теченіемъ времени, утрачивая совершенно свою первоначальную структуру, превращаются въ сплошной стекловатый ледъ. Включенія болѣе значительныхъ предметовъ, вѣтокъ, соломы и т. д. расположены безъ всякой видимой правильности.

Включенія галекъ, хотя бы и незначительныхъ размѣровъ, въ невскомъ льдѣ замѣчены не были. Наибольшій діаметръ зеренъ дресвы не превышалъ 2 мм.

Наибольшее количество включеній приходится на слой стекловатаго льда, толщиною около 15—20 сант., подъ слоемъ слоистаго льда. Такимъ образомъ, при общей толщинѣ льда въ 40—45 сант. только самый нижній слой, толщиною въ 10—15 или 20 сант., можетъ быть названъ льдомъ почти совершенно чистымъ, хотя и этотъ ледъ, послѣ таянія, оставляетъ въ фарфоровой чашкѣ болѣе чѣмъ замѣтное количество глинистаго вещества. Количественныхъ опредѣленій примѣсей во льдѣ произведено не было, такъ какъ сама природа явленія указывала на отсутствіе всякаго значенія такихъ опредѣленій. Микроскопическое изслѣдованіе песчаноглинистыхъ примѣсей показало, что онѣ состоятъ изъ окатанныхъ или изъ острыхъ зеренъ кварца, зеренъ полевого шпата, магнитнаго желѣзняка, блестокъ слюды и незначительнаго количества панцырей какихъ то организмовъ[1].

Разсматривая рѣчной ледъ, нельзя не прійти къ заключенію, что ростъ его въ весьма значительной мѣрѣ происходитъ не только путемъ кристаллизаціи воды на нижней поверхности уже образовавшейся ледяной коры, но и на счетъ скопленія подъ этою корою доннаго льда, заключающаго постороннія примѣси. — Но мы знаемъ, что донный ледъ представляетъ губчатую массу, состоящую изъ скопленія пластинчатыхъ кристалловъ льда, и потому, казалось бы, что сплошной ледъ, образовавшійся изъ доннаго, долженъ бы сохранять признаки структуры этого послѣдняго. — Между тѣмъ мы видимъ, что ледъ, заключающій постороннія примѣси во всей своей массѣ, превратился въ сплошной стекловатый ледъ, т.-е. такой же ледъ, какой получается при намерзаніи воды. Имѣя это въ виду, мы должны прійти къ заключенію, что донный ледъ, давая начало образованію сплошного льда, претерпѣваетъ перекристаллизацію. Tammann[2] доказалъ, что при высокихъ давленіяхъ и низкихъ температурахъ (2400 килогр. и —30 и —80^0) вода даетъ, кромѣ обыкновеннаго льда, еще двѣ другія твердыя фазы, ледъ II и ледъ III. — На основаніи этихъ данныхъ Tammann'а, можно допустить, что донный ледъ представляетъ быть можетъ четвертую фазу твердой воды, устойчивую только при тѣхъ своеобразныхъ условіяхъ, какія господствуютъ на днѣ водоема.

---

[1] Довольно обстоятельное изслѣдованіе невскаго льда невольно заставляетъ сдѣлать замѣчаніе относительно пригодности его для тѣхъ цѣлей, для какихъ онъ употребляется жителями Петербурга. Я не берусь судить, насколько температура замерзанія воды способна прекратить жизненность различныхъ микроорганизмовъ, но я не могу не отмѣтить, что ближайшее ознакомленіе съ льдомъ Невы заставляетъ признать его не пригоднымъ для внутренняго употребленія.

[2] Tammann, G. Kristallisiren und Schmelzen. Leipzig. 1903. S. 320.

X.

Механическое дѣйствіе льда выражается на рѣкахъ его дѣйствіемъ на ихъ тальвеги, причемъ подъ тальвегомъ нужно подразумѣвать ту часть долины, на которой могутъ отражаться годовыя амплитуды уровня воды. Механическіе эфекты, производимые льдомъ на рѣкахъ, весьма разнообразны и прежде всего выражаются дѣйствіемъ на самое дно рѣки. Въ этомъ отношеніи донный ледъ играетъ существенную роль.

На многихъ рѣкахъ, правыхъ притокахъ Енисея, мнѣ пришлось наблюдать, что русло самой рѣки представляетъ чистую совершенно поверхность горной породы, почти лишенную галечныхъ отложеній. Это я наблюдалъ на Кутукасѣ, на Нижней Сурнихѣ, на Вороговкѣ, и даже на такой громадной рѣкѣ, какою является Подкаменная Тунгузка—рѣка, обладающая удивительно прозрачною водою. Наблюденія были сдѣланы не въ порожистыхъ частяхъ рѣки, гдѣ галька могла быть унесена силою теченія, а напротивъ того, на тихихъ совершенно плесахъ. Во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, гдѣ дно было свободно отъ гальки, оно состояло изъ устойчивыхъ сравнительно породъ, какъ-то: метаморфическихъ глинистыхъ сланцевъ, известняковъ, кварцитовъ, а на Подкаменной Тунгузкѣ изъ трапповъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, какъ, наприм., на Нижней Сурнихѣ, рѣкою пересѣкаются круто приподнятые сланцы и известняки, образующіе своими головами удобныя преграды, какъ бы трафареты, для скопленія гальки, приносимой съ верхней части рѣки. Отсутствіе гальки и вообще детритоваго матеріала можно объяснить тѣмъ, что въ этихъ мѣстахъ рѣки донный ледъ образуется въ такихъ количествахъ, что онъ поднимаетъ, а вслѣдъ за этимъ и уноситъ весь детритовый матеріалъ, какой успѣваетъ накопиться въ рѣкѣ въ теченіе лѣта. Непосредственныхъ наблюденій надъ льдомъ названныхъ рѣкъ я не имѣлъ возможности сдѣлать, но какъ будетъ указано ниже, мы на берегахъ находимъ достаточно доказательствъ мощнаго развитія на нихъ доннаго льда.

Движущійся по рѣкѣ въ весеннее время ледъ производитъ на берега ея механическое дѣйствіе двоякимъ путемъ, именно, онъ является посредникомъ въ образованіи отложеній и могучимъ средствомъ разрушенія ихъ и этимъ придаетъ имъ своеобразныя скульптурныя формы.

Каждая глыба льда, заключающаго постороннія примѣси, будучи выброшенною на берегъ и растаявъ, оставляетъ на немъ весь твердый, заключающійся въ ней матеріалъ.

Такія отложенія иногда являются весьма примѣтными. Они выражаются двоякимъ образомъ: или въ видѣ валиковъ гальки, дресвы, песку, или въ видѣ болѣе или менѣе значительныхъ кучъ тѣхъ же матеріаловъ. Валики замѣчаются прежде всего на крутыхъ окраинахъ древней, размываемой нынѣ, террасы. Ширина такихъ валиковъ въ рѣдкихъ случаяхъ болѣе 1 метра, а вышина въ 5—10—15 сант. Очень часто такая валикоподобная выпуклость можетъ быть отличена только при условіи спеціальнаго направленія на нее вниманія, а нерѣдко о томъ, что въ данномъ мѣстѣ ледъ производитъ свою отлагающую работу, свидѣтельствуютъ только отдѣльныя гальки, несвойственныя отложеніямъ, образующимъ террасу. Какъ сказано выше, валики указаннаго происхожденія замѣчаются на окраинахъ террасовыхъ отложеній, въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ террасы подвергаются размыву, а потому они не могутъ наростать болѣе замѣтно.

Отложенный въ теченіе весны валикъ можетъ обрушиться въ теченіе лѣта или при новомъ весеннемъ паводкѣ.

Но есть случаи, когда отлагающее дѣйствіе льда оставляетъ крупные слѣды на конфигураціи береговъ рѣки и

служитъ источникомъ ихъ наращиванія. Такой случай имѣется, между прочимъ, на лѣвомъ берегу Енисея ниже впаденія въ него р. Сима. Здѣсь какъ склонъ берега, такъ и терраса усѣяны массою стволовъ деревьевъ, занесенныхъ весеннимъ половодьемъ. Берега не подвергаются въ настоящее время размыву, а напротивъ того, наращиванію на счетъ того матеріала, какой оставляется на нихъ льдомъ и весеннимъ половодьемъ. Такія же условія имѣются на лѣвомъ берегу Енисея ниже деревни Тонковой, и нивеллировка берега въ этомъ мѣстѣ, изображенная графикомъ на рис. 4-мъ, указываетъ на существованіе нѣкоторой выпуклости на краю террасы, выпуклости, правда, очень незначительной, но такая выпуклость и не можетъ быть особенно рѣзкою, такъ какъ размѣръ ея зависитъ отъ амплитуды въ колебаніяхъ уровня воды въ весеннее время.

Такой же характеръ береговъ наблюдается и на другихъ рѣкахъ.— Рис. 5 даетъ нивеллировку лѣваго берега Подкаменной Тунгузки ниже стараго, нынѣ брошеннаго Тунгузкою стойбища, а для наглядности и сравненія на рис. 6 данъ профиль

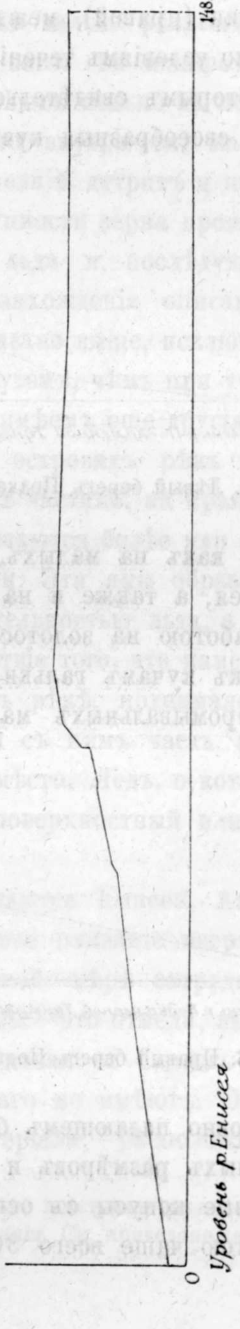

Рис. 4. Лѣвый берегъ Енисея ниже деревни Тонковой.

стрѣлки (правой), между Енисеемъ и Подкаменной Тунгузкой, гдѣ, по условіямъ теченія рѣки, глыбы льда не нагромождаются.

Вторымъ свидѣтельствомъ отлагающаго дѣйствія льда служатъ своеобразныя кучи гальки и детрита, встрѣчаемыя очень часто какъ на малыхъ, такъ и на незначительныхъ притокахъ Енисея, а также и на немъ самомъ. Мои рабочіе, знакомые съ работою на золотосодержащихъ розсыпяхъ, приравнивали ихъ къ кучамъ гальки, отвозимой изъ галечныхъ люковъ золотопромывальныхъ машинъ. Эти кучи, рѣзко выдѣлявшіяся на ровно падающемъ берегу рѣки, достигаютъ иногда значительныхъ размѣровъ и представляютъ болѣе или менѣе правильные конусы съ основаніемъ до 3 метровъ въ діаметрѣ и высотою чаще всего 30—50 сант.

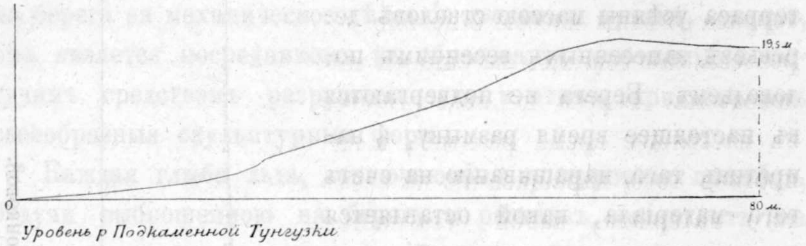

Рис. 5. Лѣвый берегъ Подкаменной Тунгузки ниже Тунгузскаго стойбища.

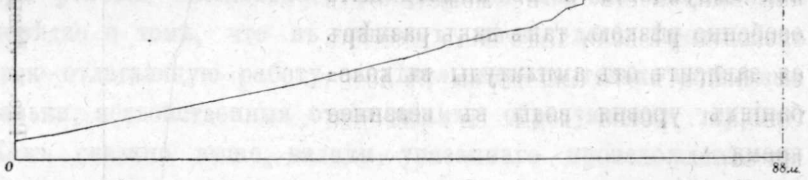

Рис. 6. Правый берегъ Подкаменной Тунгузки при впаденіи ея въ Енисей.

Матеріалъ кучъ главнымъ образомъ галька разныхъ размѣровъ, а иногда и валуны, до 35 сант. въ поперечникѣ. Галечно-валунный характеръ кучи имѣютъ только на поверхности, и если такую кучу разрыть, то внутри ея, на ряду съ галькою, найдемъ въ изобиліи и мелкій детритъ и песокъ. Очевидно, что такая сортировка по крупности зерна произошла вслѣдствіе размыва водою тающаго льда и послѣдующихъ дождей. Уже одна форма и условія нахожденія описанныхъ кучъ, въ связи съ тѣмъ, что было сказано выше, исключаютъ возможность ихъ образованія инымъ путемъ, чѣмъ при участіи льда [1]). Но независимо отъ этого мы имѣемъ еще другія тому доказательства. На галечнопесчаныхъ островахъ рѣкъ и рѣчекъ, въ особенности въ верхнихъ ихъ частяхъ, на правильно полого выпуклой ихъ поверхности замѣчаются болѣе или менѣе значительныя ямы съ рѣзкими краями. Эти ямы образованы далеко не всегда выпахивающею дѣятельностью льда, а представляютъ ямы, образовавшіяся вслѣдствіе того, что намерзшій на берегу ледъ, при подъемѣ воды въ рѣкѣ, поднимаясь на ея поверхность, вырвалъ смерзшуюся съ нимъ часть галечнаго поля и перенесъ его на другое мѣсто. Ледъ, о которомъ здѣсь идетъ рѣчь, не донный, а ледъ поверхностный или ледъ наледей.

На большихъ рѣкахъ, какими являются Енисей, Ангара, Тасѣева, Подкаменная Тунгузка, осеннее плаваніе вверхъ по рѣкѣ на бичевѣ въ весьма значительной мѣрѣ затрудняютъ такъ-называемыя косы и „опечки“. Косы—это отмели, вызванныя особенностями теченія рѣки. Опечки съ самымъ теченіемъ рѣки, повидимому, ничего общаго не имѣютъ. Опечки представляютъ бугры наноснаго матеріала, расположенные

---

[1]) Т.-е. онѣ представляютъ накопленія гальки и детрита, заключенныхъ въ рѣчномъ льдѣ и остающихся при его таяніи. Ср. приведенныя выше наблюденія на Енисеѣ и на Ангарѣ.

вдоль берега рѣки. При изученіи ихъ, насколько конечно это возможно безъ детальныхъ промѣровъ, опечки представляютъ неправильные конусы, для которыхъ нельзя установить никакого общаго правила, ни относительно ихъ расположенія, ни относительно крутизны паденія ихъ образующихъ. Наблюдая очень часто опечки на Енисеѣ на протяженіи болѣе 500 верстъ между Енисейскомъ и селомъ Вороговскимъ, я не могъ установить никакой зависимости между угломъ паденія образующей и направленіемъ теченія воды. Очевидно, форма опечка только въ малой степени зависитъ отъ этого послѣдняго фактора; основною причиной своеобразной ихъ формы является, какъ думается, донный ледъ. Наростая въ болѣе приглубыхъ мѣстахъ въ большихъ количествахъ, чѣмъ въ болѣе мелкихъ, онъ способствуетъ образованію ямъ между опечками.

Каждый опечекъ, взятый въ отдѣльности, не представляетъ абсолютно устойчивой формы рельефа дна, но въ массѣ опечки свойственны только тѣмъ частямъ рѣки, гдѣ берега неглубоки, гдѣ теченіе слабѣе.

Такимъ образомъ, промежутки между опечками представляютъ мѣста рѣки, въ которыхъ донный ледъ можетъ образоваться въ сравнительно значительныхъ количествахъ и доставлять въ изобиліи твердый галечно-валунный матеріалъ для образованія вышеописанныхъ галечныхъ кучъ на берегахъ рѣкъ бассейна Енисея. Если данное выше объясненіе будетъ подтверждено непосредственными наблюденіями, то это покажетъ, что не образованіе доннаго льда зависитъ отъ очертанія дна рѣки, а напротивъ того рельефъ дна зависитъ отъ доннаго льда.

XI.

Механическое дѣйствіе рѣчного льда въ періодъ весенняго движенія зависитъ отъ его живой силы и направленія дѣйствія ея. Живая же сила прямо пропорціональна массѣ и квадрату скорости, а слѣдовательно механическая работа, производимая движущимся льдомъ, зависитъ въ частности отъ толщины льда, отъ его удѣльнаго вѣса, т.-е. отъ количества тяжелыхъ твердыхъ примѣсей, а также высоты уровня воды въ рѣкѣ, обусловливающаго скорость теченія.

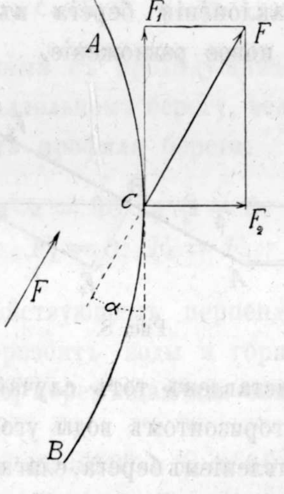

Рис. 7.

Величину механической работы, производимой движущейся массой льда, можно выразить численнымъ образомъ.

Предположимъ, что кривая AB (рис. 7) представляетъ берегъ рѣки, а стрѣлка F направленіе теченія, т.-е. направленіе дѣйствія силы.

Перенося дѣйствіе силы F въ точку берега C, мы должны разложить ее на двѣ, одну дѣйствующую по направленію касательной къ элементу кривизны берега въ точкѣ C, другую по направленію перпендикулярной къ этой касательной.

Величина слагающей F_1 прямо пропорціональна Cs угла α, т.-е. угла, образуемаго направленіемъ теченія съ касательною къ элементу береговой линіи, величина же F_2 прямо пропорціональна Sn того же угла. Слагающая F_1, будетъ стремиться переносить частицы, находящіяся на берегу, вдоль этого берега—это сила, размывающая берегъ. Слагающая F_2 должна быть поглощена сопротивленіемъ берега. Но поглощеніе слагающей F_2 сопротивленіемъ берега произойдетъ только въ томъ случаѣ, если берегъ будетъ представлять отвѣсную стѣну. При нѣкоторомъ наклоненіи берега къ горизонту сила F_2 должна претерпѣть новое разложеніе.

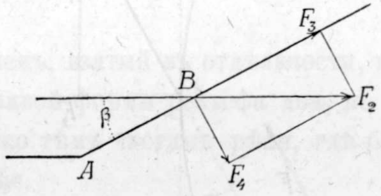

Рис. 8.

На рис. 8 представленъ тотъ случай, когда профиль берега образуетъ съ горизонтомъ воды уголъ β. Слагающая F_4 поглощается сопротивленіемъ берега, слагающая же F_3 стремится перемѣщать частицы профили берега вверхъ по этой профили.

$F_3 = F_2\ Cs\beta$, подставляя въ эту формулу на мѣсто F_2 его величину изъ предыдущаго построенія, т.-е. $F_2 = F\,.\,Sn\alpha$ получимъ

$$F_3 = F\,.\,Sn\alpha\ \ Cs\beta.$$

Сила F_3, стремящаяся приподнять частицы, расположенныя по профили берега, будетъ производить выпахивающую работу, и, какъ мы видимъ, она прямо пропорціональна силѣ

теченія, или его скорости, прямо пропорціональна Cs угла уклона берега и прямо пропорціональна Sn угла, образуемаго направленіемъ теченія и направленіемъ береговой линіи. Анализъ найденныхъ формулъ показываетъ, что

$$\text{при } \alpha = 0^0 \text{ и } \beta = 0^0.$$
$$F_1 = F;\ F_3 = 0,$$

это значитъ, что при берегѣ горизонтальномъ и при теченіи, параллельномъ берегу, дѣйствуетъ только размывающая сила, равная живой силѣ теченія рѣки. При $\alpha = 0$ и $\beta = 90^0$.

$$F_1 = F;\ F_3 = 0$$

Случай, аналогичный съ предыдущимъ. Онъ показываетъ, что при теченіи, параллельномъ берегу, величина размывающей силы не зависитъ отъ профиля берега.

$$\text{При } \alpha = 90^0 \text{ и } \beta = 0.$$
$$F_1 = 0;\ F_3 = F.$$

При теченіи, дѣйствующемъ перпендикулярно берегу, и при условіи, что горизонтъ воды и горизонтъ берега образуютъ одну плоскость, перемѣщающая сила достигаетъ своего максимума.

$$\text{При } \alpha = 90^0 \text{ и } \beta = 90^0.$$
$$F_1 = 0;\ F_3 = 0,$$

т.-е. при отвѣсномъ берегѣ и при теченіи, направленномъ перпендикулярно къ нему, какъ размывающая, такъ и перемѣщающая, слагающія силы поглощаются сопротивленіемъ берега.

Если въ нашей формулѣ вмѣсто F подставить $\frac{mv^2}{2}$, гдѣ m масса направленнаго на берегъ льда, и v скорость теченія, и кромѣ того ввести коэфиціентъ тренія льда на соприкосновеніи съ породами берега и коэфиціентъ тренія передвигаемыхъ поверхостныхъ частичекъ породъ о подлежащія, то мы получимъ возможность въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ, зная массу льда (т.-е. его толщину и удѣльный вѣсъ), силу и направленіе теченія и конфигурацію берега, вычислить работу, какую ледъ произведетъ на берегу рѣки.

Такія вычисленія имѣли бы не только научный, но и большой практическій интересъ, но, къ сожалѣнію, мы въ настоящее время еще не располагаемъ величинами коэфиціентовъ тренія.

Какъ бы то ни было, выведенная формула даетъ намъ возможность впередъ, зная характеръ теченія рѣки и характеръ береговъ, опредѣлить характеръ того эфекта, какой на берегъ рѣки произведетъ весенній ледъ.

XII.

Внѣшнія проявленія механической дѣятельности движущагося льда обусловлены петрографическимъ характеромъ береговъ.

Если берегъ состоитъ изъ глинистыхъ, песчаныхъ или галечныхъ отложеній, то на тѣхъ частяхъ его, на которыя наступала вешняя вода, несшая ледъ, наиболѣе обыденнымъ является выпахиваніе бороздъ, иногда довольно значительныхъ, но во всякомъ случаѣ легко замѣтныхъ. Борозды наблюдались длиною до 5 метровъ, глубиною до 50 сантиметровъ. Ширина бываетъ весьма различна, иногда до 50 сант. и болѣе, причемъ какъ ширина, такъ отчасти и глубина на протяженіи борозды не остаются одинаковы. На пологихъ галечныхъ берегахъ на ряду съ бороздами замѣчались и небольшие галечные валики, расположенные подъ различными углами къ береговой линіи. Такія незначительныя измѣненія въ конфигураціи береговъ производитъ ледъ въ томъ случаѣ, если уголъ, образуемый направленіемъ теченія съ направленіемъ береговой линіи, является незначительнымъ.

Въ томъ случаѣ, когда теченіе рѣки ударяетъ въ берегъ подъ угломъ значительной величины, движущійся по рѣкѣ ледъ производитъ несравненно болѣе замѣтныя измѣненія.

Такой случай въ отчетливомъ развитіи наблюдается на правомъ берегу Енисея, сейчасъ же при впаденіи въ него р. Гаревки.

Берегъ Енисея, какъ и правый высокій берегъ Гаревки, состоятъ на стрѣлкѣ изъ песчанистыхъ валунно-галечныхъ отложеній. Въ основѣ этихъ отложеній и несомнѣнно на незначительной глубинѣ залегаютъ грубослоистые гнейсы, выходы которыхъ наблюдаются какъ по Енисею, такъ и по Гаревкѣ въ 200—300 метрахъ отъ ихъ сліянія.

Гора, вѣнчающая стрѣлку и отстоящая отъ точки впаденія Гаревки въ Енисей менѣе чѣмъ на 350 метровъ, состоитъ тоже изъ гнейса. Такимъ образомъ гнейсовая гора является окруженною серповидною массою валунно-галечныхъ отложеній, ширина которыхъ не превосходитъ 300 метровъ.

Еслибы мы мощность этихъ отложеній стали мѣрить на берегу Енисея, по крутому ихъ склону, то оказалось бы, что при среднемъ стояніи воды въ рѣкѣ она составляетъ около 16 метровъ надъ уровнемъ воды.

Но взойдя на верхній край крутого склона, мы замѣчаемъ, что этотъ край не представляетъ обрѣза террасы, а представляетъ гребень вала, спускающагося въ довольно глубокую ложбину. Подробный осмотръ ложбины, а затѣмъ и нивеллировка убѣждаютъ, что наносныя рѣчныя образованія, окружающія гнейсовую гору, представляютъ террасу, окруженную мощнымъ наноснымъ валомъ. Нивеллировка, произведенная вкрестъ террасы съ S на N и представленная на рис. 9, показываетъ, что терраса надъ уровнемъ рѣки въ день нивеллировки поднималась на 8 метровъ, и что остальные 8 метровъ откоса принадлежали уже береговому валу, отложенному и выпаханному ледяными массами, приносимыми весенними водами. Этимъ береговымъ валомъ жители низовьевъ Енисея даютъ названіе кекуровъ.

Разсматривая профиль на рисункѣ 9, мы видимъ, что отъ гнейсовой горы, основаніе которой занимаетъ правую сторону рисунка, идетъ терраса, шириною около 100 метр., а дальше къ югу и вмѣстѣ съ тѣмъ къ берегу рѣки направляется ломаная линія профили, представляющая какъ бы слѣды отдѣльныхъ періодовъ жизни рѣки,—періодовъ, зависящихъ, какъ нужно полагать, отъ колебанія уровня воды. Общій характеръ профили указываетъ на то, что уровень рѣки какъ бы постоянно повышается, что вешнія воды, съ несомымъ ими льдомъ, все выше и выше наращиваютъ береговой валъ. Значительная, сравнительно, выемка въ лѣвой части профили указываетъ, повидимому, на то, что существовалъ періодъ, когда наращиваніе берега было смѣнено его размывомъ.

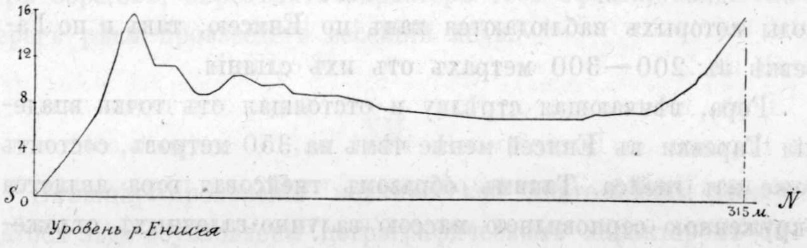

Рис. 9. Нивеллировка стрѣлки при впаденіи р. Гаревки въ Енисей.

Что касается петрографической характеристики валуновъ и гальки, образующихъ склоны, обращенные какъ къ Енисею, такъ и къ Гаревкѣ, то нужно сказать, что это галька и валуны верховьевъ Гаревки и всего верхняго бассейна Енисея. Если мы и находимъ здѣсь валуны гнейса гнейсовой горы,

то они ничуть не являются сколько-нибудь важною составною частью. Если принять во вниманіе низменный характеръ лѣваго берега Гаревки, и такой же характеръ берега Енисея выше устья этой рѣки, то станетъ ясно, что древняя долина Енисея—его живое русло—подходила до гнейсовой горы на стрѣлкѣ при впаденіи Гаревки, и что кайма наносныхъ отложеній образовалась уже впослѣдствіи, по мѣрѣ развитія долины Гаревки и Енисея, при взаимодѣйствіи двухъ встрѣчныхъ теченій и при условіи отложенія ледяными массами защемленныхъ въ нихъ скопленій валуновъ и гальки.

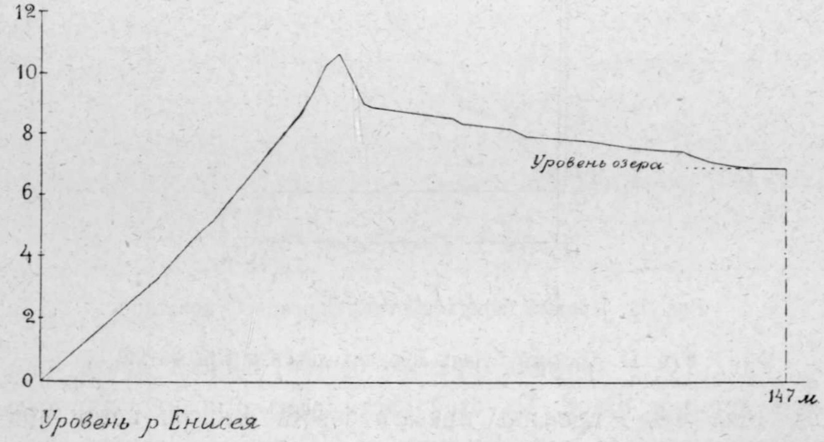

Рис. 10. Правый берегъ Енисея противъ дер. Суковатки.

Остается еще замѣтить, что береговой валъ въ настоящее время все больше наростаетъ. Доказательствомъ тому служитъ то, что стволы растущихъ на немъ деревьевъ являются на нѣкоторую высоту обсыпанными галькою. Быть можетъ, что еслибы заняться обстоятельнымъ изслѣдованіемъ этихъ береговыхъ валовъ и покрывающей ихъ растительности, то эти изслѣдованія могли бы послужить основаніемъ для нѣкотораго абсолютнаго геологическаго лѣтосчисленія.

Береговые валы или кукуры развиты преимущественно на правомъ берегу Енисея, но они встрѣчаются и на лѣвомъ, вообще испытывающемъ меньшій напоръ воды и льда.

Рис. 10, 11 и 12 представляютъ частныя своеобразныя формы крутого берега рѣки, увѣнчаннаго валомъ.

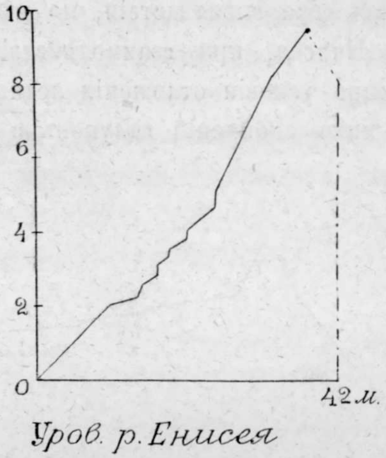

Рис. 11. Правый берегъ противъ деревни Суковатки.

Рис. 10 — профиль праваго берега Енисея почти противъ устья р. Касъ. Въ этой части рѣка огибаетъ широкую наносную террасу, пересѣченную на NO окраинѣ крайне извилистымъ русломъ рч. Проклятой, во многихъ отношеніяхъ оправдывающей свое названіе. Терраса оказывается неровной; ее со стороны рѣки сопровождаетъ береговой валъ, за которымъ простирается лугъ, плавно спускающійся къ довольно значительному озеру. На лугу въ изобиліи разбросаны десяти-двадцати метровыя деревья плавника, занесенныя сюда весеннимъ половодьемъ[1]).

---

[1]) Экскурсія по рч. Проклятой дала мнѣ возможнось изучить строеніе наносныхъ террасъ, сопровождающихъ въ нѣкоторыхъ частяхъ коренной, утесистый правый берегъ Енисея. Въ строеніи террасъ въ громадномъ количествѣ принимаютъ участіе безпорядочно перепутанные стволы плавника, образующіе какъ бы скелетъ, какъ бы стропила, на которыхъ легли небольшія количества ила, давшія основаніе для новой растительности. Верхній

Детали профили на рис. 10, 11 и 12 заставляютъ насъ обратить вниманіе на то, что на ряду съ отлагающею и нагромождающею дѣятельностью льда ясно наблюдаются и

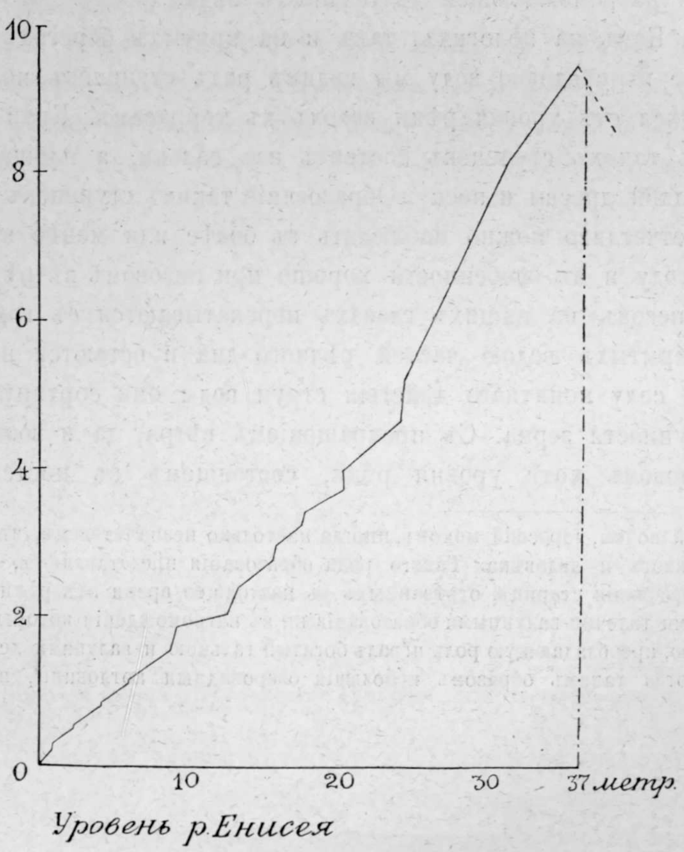

Рис. 12. Правый берегъ Енисея противъ устья р. Каса.

признаки такой же дѣятельности проточной воды, т.-е. на дѣятельности, способствующей наращиванію берега. Это замѣтно по той части профили, которая обращена непосредственно къ рѣкѣ. Обойти эту дѣятельность воды не слѣдуетъ уже хотя бы только потому, что она подготовляетъ матеріалъ для нагромождающей дѣятельности льда.

Какъ на пологихъ, такъ и на крутыхъ берегахъ Енисея уже въ среднюю воду мы видимъ рядъ ступенекъ, поднимающихся отъ уровня рѣки вверхъ къ террасамъ. Край каждой изъ такихъ ступенекъ состоитъ изъ гальки, а площадка изъ мелкой дресвы и песку. Образованіе такихъ ступенекъ отлично и отчетливо можно наблюдать въ болѣе или менѣе вѣтреную погоду и въ особенности хорошо при низовомъ вѣтрѣ. Галька и песокъ на нашихъ глазахъ перекатываются съ глубокихъ, покрытыхъ водою частей рѣчного дна и остаются на сушѣ. Въ силу понятнаго дѣйствія струи воды они сортируются по крупности зерна. Съ прекращеніемъ вѣтра, да и вообще при годовомъ ходѣ уровня рѣки, состоящемъ въ постепенномъ пониженіи его отъ начала весны до конца осени, идетъ непрерывное нагроможденіе гальки и песку на берегу рѣки. Въ нѣкоторыхъ однако случаяхъ, при временномъ подъемѣ воды, такія награможденія подвергаются и частичному размыву. Передать детали рельефа такой береговой линіи на рисункѣ малаго масштаба совершенно невозможно, но и рис. 10 и 11, представляющіе результаты тщательной при помощи рейки и уровня нивеллировки праваго берега Енисея нѣсколько ниже деревни Суковатки, даютъ правдивое и вѣрное представленіе о характерѣ явленія. Въ масштабъ чертежа вошла только часть ступеней, и читатель долженъ представить себѣ, что на каждой ступени чертежа расположено еще нѣсколько болѣе мелкихъ. На чертежахъ обращаютъ на себя вниманіе нѣкоторыя болѣе значительныя вертикальныя стѣнки. Онѣ особенно замѣтны на рисункѣ 11 и именно на высотѣ около 5 метровъ и на высотѣ около 2 метровъ. Эти уступы вызваны, какъ это позволяетъ заключить ихъ характеръ, размывомъ, вызваннымъ временнымъ повышеніемъ уровня воды.

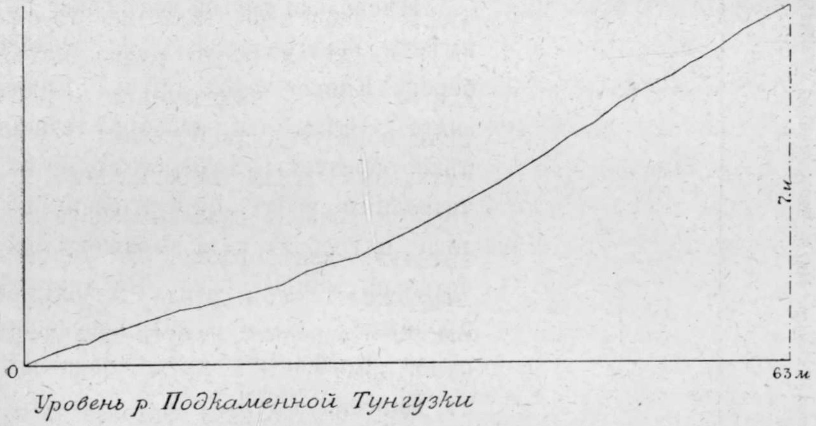

Рис. 14. Правый берегъ Подкаменной Тунгузки ниже Чернаго острова.

слой почвы, поросшій мохомъ, иногда настолько незначителенъ, что не сдерживаетъ и человѣка. Такого рода образованія представляютъ, вѣроятно, образованія старицъ, отрѣзанныхъ въ настоящее время отъ рѣки позднѣйшими галечно-валунными образованіями, въ нагроможденіи которыхъ, вѣроятно, преобладающую роль игралъ богатый галькою и валунами ледъ. Получаются такимъ образомъ небольшія озеровидныя котловины, придонныя отложенія которыхъ представляютъ не отложенія озера, а отложенія рѣки. Разрѣзъ такой террасы праваго берега Енисея наглядно представленъ на рисункѣ 13, на которомъ *a* порода первичнаго берега рѣки, *c* отложенія косы или острова, отдѣлившаго рѣчную протоку отъ главнаго русла, *b* рѣчныя отложенія старицы, *d* отложенія берегового вала, *e* детритъ, покрывшій край отложеній *b*.

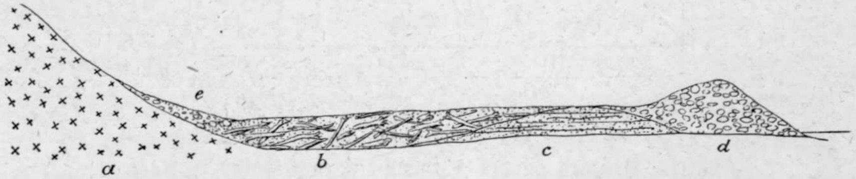

Рис. 13.

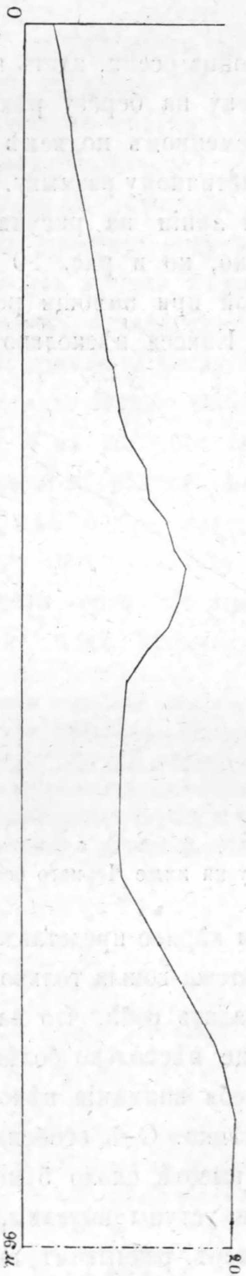

Рис. 15. Правый берегъ Енисея выше устья ручья Кожевнаго.

Въ тѣхъ условіяхъ, какія представляетъ берегъ Енисея противъ Суковатки и противъ устья Каса, размывъ съ избыткомъ покрывается наращивающею дѣятельностью воды и льда. Въ менѣе рѣзкой формѣ выражена отлагающая роль льда на Подкаменной Тунгузкѣ, какъ это видно изъ профили, рис. 14.

Нѣсколько другой видъ (рис. 15) имѣетъ береговой валъ на лѣвомъ берегу Енисея около ручья Кожевнаго. Здѣсь направленіе теченія рѣки образуетъ съ берегомъ незначительный уголъ. Берегъ очень пологій и гребень вала выраженъ значительно менѣе рѣзко. На террасѣ проложилъ себѣ русло небольшой ручей Кожевный, круто падающій въ Енисей.

На рис. 16 дана фотографія валуннаго вала, нагроможденнаго льдами Енисея на правомъ его берегу ниже Вороговки. — Одного взгляда на фотографію достаточно, чтобы прійти къ заключенію, что такой валъ валуновъ разнообразнаго петрографическаго состава не могъ образоваться подъ вліяніемъ дѣйствія одной проточной воды. — Онъ могъ бы представлять только результатъ переработки ледниковыхъ валунныхъ

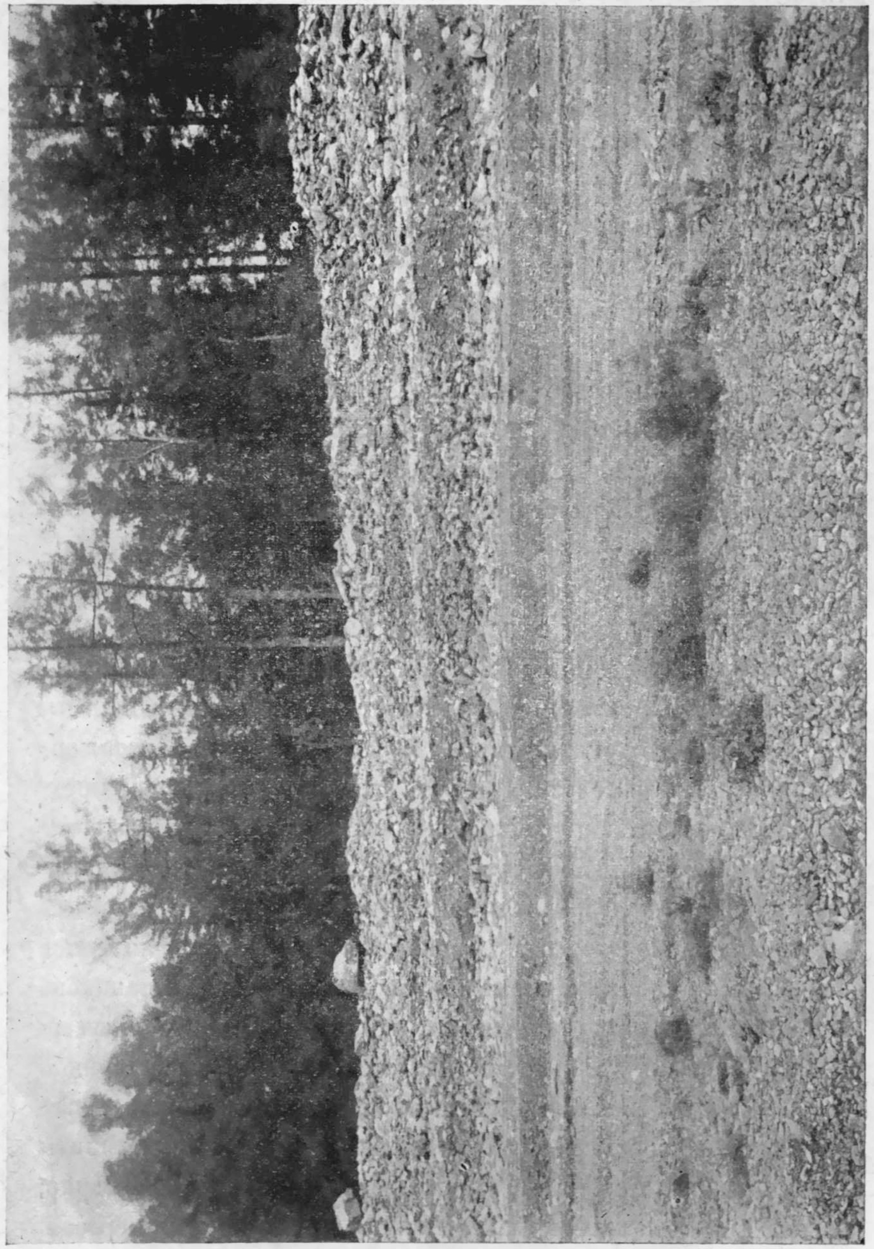

Рис. 16. Береговой валъ—кекуръ на правомъ берегу Енисея ниже Вороговки.

отложенiй, но такъ какъ ледниковыя образованiя нигдѣ въ этомъ краѣ замѣчены не были, то этотъ эфектный и мощный валъ представляетъ результатъ суммированныхъ кратковременныхъ и на первый взглядъ незначительныхъ дѣйствiй рѣчного льда.

XIV.

Въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ дѣйствiю движущихся массъ льда подвержены не рыхлыя, а устойчивыя горныя породы, т.-е. гдѣ берега состоятъ изъ непосредственныхъ утесистыхъ ихъ выходовъ, механическое дѣйствiе льда выражается различно, въ зависимости отъ петрографическихъ свойствъ породъ, отъ характера отдѣльности и главнѣйше отъ величины угла, образуемаго направленiемъ струи воды съ направленiемъ береговой линiи.

На утесахъ, непосредственно подмываемыхъ водою, дѣятельность какъ воды, такъ и льда прежде всего выражается общею сглаженностью ихъ поверхности. Степень сглаженности находится въ тѣсной зависимости отъ состава и структуры породы. Песчаники и кварциты даютъ болѣе или менѣе сглаженныя поверхности только въ тѣхъ случаяхъ, если они представляютъ пласты, мощностью не менѣе 5 сант.; если пласты ихъ тоньше, или если между болѣе мощными пластами встрѣчаются тонкiе прослойки, то они, независимо отъ того, лежатъ ли вкрестъ направленiя или по направленiю струи, являются обломанными, раздробленными. Такое отношенiе песчаниковъ и кварцитовъ можно наблюдать на Енисеѣ ниже устья р. Столбовой, а также во многихъ мѣстахъ на Подкаменной Тунгузкѣ и на р. Теѣ выше и ниже устья Енашимо. Известняки какъ сплошные, такъ и слоистые, а также доломиты и мраморовидные известняки сглажены довольно равномѣрно; исключенiе представляютъ кремнистые известняки и мергели, которымъ отчасти, вслѣдствiе дислокацiонныхъ процессовъ, или отчасти вслѣдствiе ихъ физическихъ и химическихъ свойствъ, свойственно распадаться на мелкiй детритъ.

Метаморфическiе сланцы тѣмъ лучше воспринимаютъ шлифовку, чѣмъ они плотнѣе и однороднѣе. Тонкослоистые глинистые сланцы, разбитые отдѣльностью, идущею болѣе или менѣе вкрестъ простиранiя, даютъ сглаженныя поверхности, усѣянныя небольшими остроугольными ямками. Зеленые сланцы, въ особенности богатые кварцемъ, даютъ шероховатыя на ощупь поверхности. Точно также шероховатость свойственна гранитамъ даже и довольно мелкозернистымъ. Тонкозернистыя горныя породы, какъ дiабазъ, сибирскiе траппы, а также отчасти змѣевики, даютъ нерѣдко совершенно гладкiя, какъ бы отполированныя поверхности.

Такимъ образомъ поверхности утесовъ, обработанныхъ при активномъ участiи льда, заключающаго постороннiя твердыя примѣси, являются для привычнаго наблюдателя достаточно примѣтно отличными отъ утесовъ, обработанныхъ дѣйствiемъ воды. Это отличiе, вѣроятно, вызвано тѣмъ обстоятельствомъ, что сглаживающая работа льда является кратковременной, а остальное время года утесъ обреченъ на дѣйствiе атмосферныхъ факторовъ. Но особенно отличительнымъ признакомъ сглаживающей дѣятельности рѣчного льда является штриховка, напоминающая ледниковую штриховку. Если такую штриховку разсматривать на штуфѣ, отбитомъ отъ утеса, или на валунѣ, то она не можетъ быть отличена отъ штриховки ледниковой. На самомъ утесѣ на берегу рѣки можно пожалуй замѣтить, что она болѣе тонка чѣмъ штриховка ледниковая, и что она не обладаетъ правильностью, свойственной штриховкѣ ледниковой. Затѣмъ на утесахъ, покрытыхъ штриховкою, обусловленной дѣйствiемъ рѣчного льда, никогда не замѣчаются борозды, сопровождающiя ледниковую штриховку.

Форму сглаженности и штриховку на утесахъ Енисея можно хорошо наблюдать въ воротахъ Енисея ниже Осиновки, что́ представлено на рисункѣ 17. На Подкаменной Тунгузкѣ, въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ рѣка пересѣкаетъ траппы, характеръ сглаженныхъ льдомъ утесовъ въ полной мѣрѣ зависитъ отъ столбчатой отдѣльности ихъ, комбинирующейся съ другой, горизонтальной. Получаемыя при этомъ формы рельефа лучше всякаго описанія ясны изъ рисунка 18.

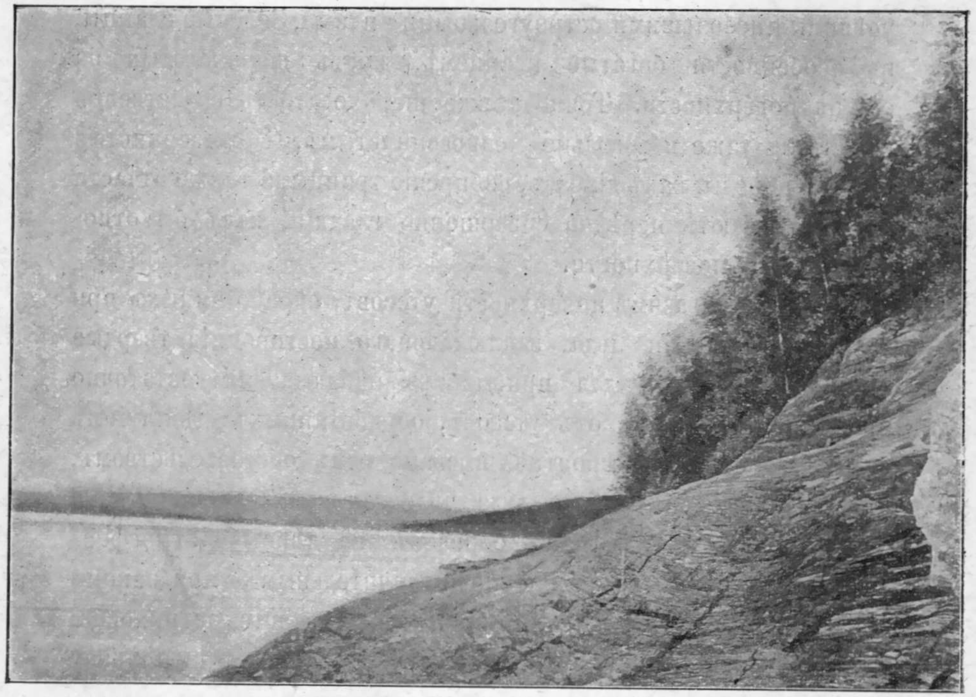

Рис. 17. Утесы метаморфическихъ сланцевъ, сглаженные льдомъ на правомъ берегу Енисея ниже Осиновки.

Но если рѣка отступила отъ утеса, что̀ обусловливается уменьшеніемъ угла, образуемаго направленіемъ теченія съ направленіемъ береговой линіи, то нагроможденные у основанія

утеса отторженцы отъ него испытываютъ особенную механическую обработку. Подвергаясь поперемѣнному воздѣйствію атмосферныхъ факторовъ и механическому дѣйствію льда, отдѣльныя глыбы растрескиваются, разрушаются и обтачиваются по острымъ краямъ и постепенно принимаютъ видъ валуновъ. Движущіяся массы льда перемѣщаютъ ихъ, выравниваютъ поверхность, уносятъ сильно выдающіяся надъ среднимъ уровнемъ отдѣльныя глыбы, и мало-по-малу такой склонъ утеса превращается въ нагроможденіе валунообразныхъ глыбъ, съ поверхности совершенно сглаженныхъ и въ совокупности образующихъ какъ бы мостовую, вымощенную крупными булыжни-

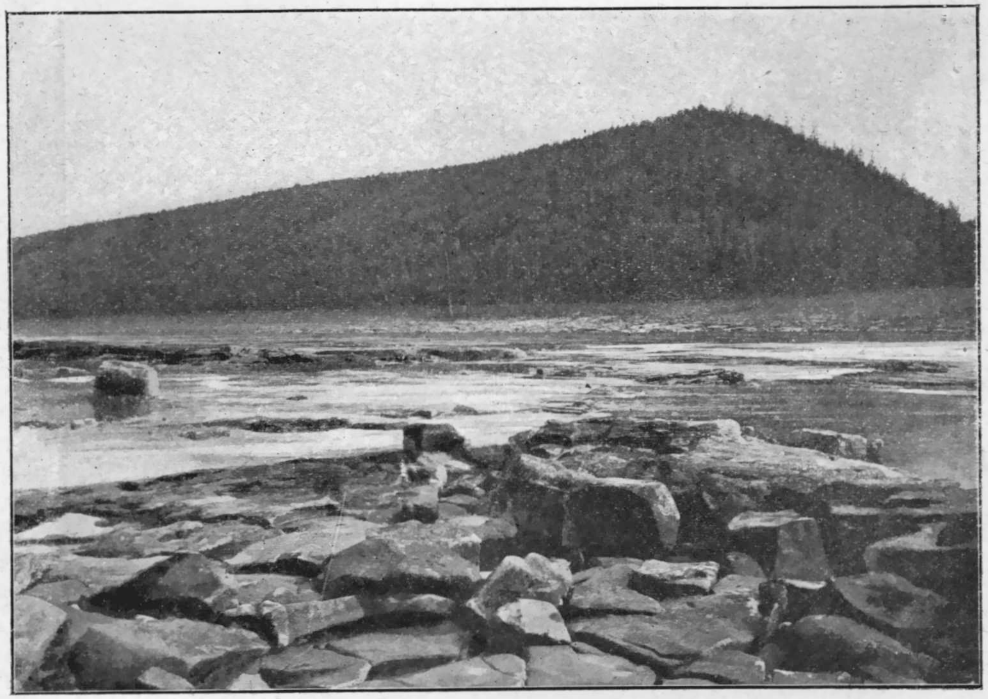

Рис. 18. Подкаменная Тунгузка у южной окраины второго порога.

ками, наклоненную къ рѣкѣ подъ различными, но вообще не превышающими 8 — 10^0 углами. Эти естественныя мостовыя напоминаютъ искусственныя закрѣпленія береговъ рѣкъ, какія между прочимъ пришлось мнѣ видѣть на Некарѣ у Гейдельберга.

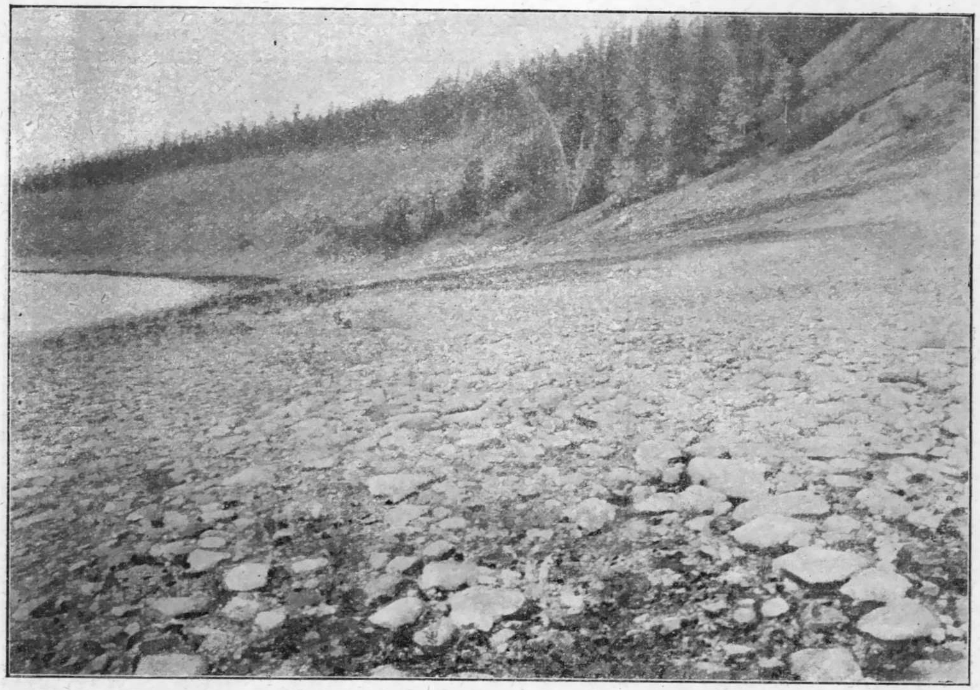

Рис. 19. Естественная мостовая на правомъ берегу Подкаменной Тунгузки.

Естественныя мостовыя образуются, однако, не только у самыхъ основаній утесовъ, но пожалуй болѣе совершенныхъ формъ достигаютъ въ частяхъ берега, расположенныхъ нѣсколько ниже ихъ. Иногда такія же мостовыя видны на наносныхъ берегахъ.

Валуны и галька такихъ мостовыхъ обладаютъ верхнею плоско сглаженною поверхностью, и эта поверхность обыкновенно покрыта многочисленными тонкими штрихами, слѣдующими общему направленію теченія рѣки и они, очевидно, вызваны тою механическою работою, какую производятъ на твердый береговой матеріалъ твердыя посторонні частицы, заключающіяся въ рѣчномъ льдѣ, въ значительной своей части образовавшемся за счетъ доннаго льда.

На рис. 19 представлена мостовая, сопровождающая правый берегъ Подкаменной Тунгузки у обнаженія 18 на планшетѣ Я—2. Матеріалъ для мостовой доставили перемежающіеся пласты известняка и песчаника утеса.

XV.

Если теперь однимъ ретроспективнымъ взглядомъ обнять берега рѣкъ бассейна Енисея въ предѣлахъ отъ Ангары до Подкаменной Тунгузки, то окажется, что детали скульптуры ихъ тальвеговъ въ качественномъ отношеніи повторяются на всѣхъ рѣкахъ и рѣчкахъ и количественныя различія зависятъ какъ отъ размѣровъ рѣки, такъ и отчасти и отъ направленія теченія рѣки, т.-е. дѣйствіе движущихся массъ льда подчинено закону Бэра.

Это послѣднее обстоятельство находитъ себѣ подтвержденіе въ томъ, что береговые валы особенно рѣзко развиты на правомъ берегу Енисея, а отчетливо образованныя береговыя мостовыя—на Ангарѣ, на Подкаменной Тунгузкѣ, на Вороговкѣ и др. рѣкахъ, текущихъ приблизительно въ широтномъ направленіи.

Этимъ я и заканчиваю статью, посвященную вопросамъ жизни береговъ рѣкъ подъ вліяніемъ тѣхъ факторовъ, какіе обусловливаются господствомъ низкихъ температуръ, а слѣдовательно и образованіемъ ледяного покрова.

Мнѣ остается еще отмѣтить, что, разсуждая теоретически, нужно придти къ заключенію, что очертанія береговъ рѣкъ, покрывающихся льдомъ, должны замѣтно отличаться отъ береговъ рѣкъ, не испытывающихъ дѣйствія ледяныхъ оковъ. Конечно, это отличіе можетъ быть съ полною ясностью подмѣчено только тамъ, гдѣ человѣческая культура не измѣнила направленіе дѣйствія естественныхъ силъ. Рѣкъ, никогда не покрывавшихся льдомъ, мнѣ лично не приходилось наблюдать, и въ моей памяти не сохранилось ни одного описанія, которое могло бы дать картину деталей очертанія тальвега. Къ описанію французской Гвіаны (Guyane) Levat [1]) приложено нѣсколько фотографій рѣкъ еще дѣвственныхъ, только рѣдко посѣщаемыхъ человѣкомъ; изъ этихъ фотографій можно заключить, что въ рѣкахъ малыхъ широтъ даже при скалистыхъ берегахъ мощная растительность достигаетъ урѣза воды. На рѣкахъ съ ледянымъ покровомъ древесная и кустарная растительность держится только на нависшихъ, подверженныхъ размыву окраинахъ террасъ. Постепенный переходъ отъ древесной къ кустарной растительности, а въ бассейнѣ Енисея, въ частности, къ ивняку свидѣтельствуетъ о постепенномъ наращиваніи берега.

Но и въ суровыхъ климатическихъ условіяхъ Сибири можно наблюдать мощные горные потоки, на берегахъ которыхъ совершенно не замѣчается скульптурная работа льда. Къ такимъ потокамъ относятся рѣки восточнаго склона Алатау, какъ, напр., Черный Іюсъ, Сарала-Іюсъ и др.

Ничтожная или нулевая работа льда на ихъ тальвегахъ находитъ себѣ объясненіе въ процессѣ ихъ замерзанія, который, на основаніи разспросныхъ данныхъ, можно представить слѣдующимъ образомъ. Одновременно съ наступленіемъ первыхъ осеннихъ холодовъ выпадаютъ обильные снѣга. Охлаждая въ значительной мѣрѣ воду, они способствуютъ образованію тонкаго ледяного покрова, на которомъ вновь выпавшій снѣгъ образуетъ нѣчто вродѣ свода, подъ которымъ мощная ледяная кора не можетъ уже образоваться. Весною такія рѣки не испытываютъ ледохода, онѣ текутъ подъ снѣговыми полями, сохраняющимися въ болѣе высокихъ мѣстахъ до конца лѣта, а иногда сохраняющимися въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ.

Такимъ образомъ, изъ вышеизложеннаго явствуетъ, что кратковременная дѣятельность движущагося ледяного покрова является однимъ изъ факторовъ, работа котораго существеннымъ образомъ отражается на скульптурѣ береговъ рѣкъ.

* * *

Настоящая статья составила предметъ моего сообщенія Императорскому Минералогическому Обществу въ октябрѣ 1903 года.

Въ январѣ 1904 года въ Императорскомъ Русскомъ Географическомъ Обществѣ г. Владиміровымъ былъ сдѣланъ докладъ о донномъ льдѣ. Въ этомъ засѣданіи, по моему предложенію, Обществомъ была образована Коммиссія для составленія программы для изслѣдованія явленій доннаго льда. Коммиссія остановилась на необходимости изученія явленія въ территоріальномъ отношеніи и составила программу, доступную для выполненія даже мало подготовленными наблюдателями [1]). Въ апрѣлѣ въ томъ же Географическомъ Обществѣ инженеромъ Путей Сообщенія М. Ф. Ціонглинскимъ было сообщено объ его изслѣдованіяхъ надъ зажорами на Невѣ. Изслѣдованія его вполнѣ подтвердили тотъ фактъ, что обыкновенный ледъ на рѣкѣ въ значительной мѣрѣ образуется за счетъ льда доннаго, и его же наблюденія совершенно мнѣ

---

[1]) Levat. D. La Guyane française. Paris, 1902.

[1]) Программу желающіе могутъ получать въ Географическомъ Обществѣ и его провинціальныхъ отдѣлахъ.

разъясняютъ, почему ниже Николаевскаго моста ледъ, наросшій на искусственныхъ полыньяхъ, оказался наиболѣе чистымъ. Очевидно, до начала образованія полыньи донный ледъ успѣлъ достаточно закрѣпиться подъ сплошнымъ ледянымъ покровомъ, а съ другой стороны, увеличенная въ сферѣ дѣйствія мостовыхъ устоевъ скорость теченія, быть можетъ, препятствовала скопленію доннаго льда или шороха, какъ зовутъ его на Невѣ.

Считаю умѣстнымъ повторить и здѣсь то, что было сказано мною въ засѣданіи Географическаго Общества по поводу доклада г. Ціонглинскаго, что какъ въ интересахъ отвлеченной науки, такъ и практики желательно продолженіе изслѣдованій г. Ціонглинскаго и въ періодъ зимы 1904—1905 годовъ, конечно, при условіи введенія въ программу работъ нѣкоторыхъ дополненій.

A propos de la question de la formation de la glace dans les cours d'eau et de l'action sculpturale des glaçons charriés sur la structure des rives des fleuves.

Par **L. Jaczewski.**

(Résumé).

Comme l'indique le titre, l'article se divise en deux parties.

Dans la première, l'auteur donne un aperçu de nos connaissances sur le phénomène si commun de la formation de la glace dans les rivières et ajoute quelques observations qu'il a recueillies lui-même.

Dans la seconde, il décrit en détail la structure des rives de l'Iénisséi et de ses affluents, l'Angara, la Podkamennaïa Toungouzka, etc., structure due à l'action sculpturale des glaces charriées.

La glace de fond (bousin) jouant selon lui un rôle très important dans la formation du manteau glacé des rivières, il fait ensuite le sommaire de ce que l'on sait jusqu'ici sur le mode de formation de cette glace. Après avoir rappelé les expériences de Well faites déjà au début du 19-e siècle, ainsi que les travaux particulièrement importants de **Bubendey**, de **Homén**, etc., il arrive à la conclusion que la cause de la formation de la glace de fond doit être cherchée dans le refroidissement du lit du cours d'eau par suite de sa perte de chaleur par rayonnement, c'est-à-dire il confirme et justifie l'hypothèse émise par Middendorf il y a 50 ans[1]).

---

[1]) L'auteur regarde cette radiation de la chaleur comme la principale raison de la congélation persistante du sol et promet de consacrer à cette question un article à part.

L'auteur corrobore ses conclusions par des calculs démontrant d'une manière tout à fait convainquante que le refroidissement de l'eau par conductibilité de la chaleur au contact de l'air est trop insuffisant pour donner lieu à la formation de masses de glace aussi considérables que celles que l'on observe.

Partant des observations sur la glace des rivières de la Sibérie et des données recueillies par l'expédition de Drigalsky au Groënland, l'auteur a vérifié la formule de Stefan de la croissance de la glace et l'a trouvée insuffisante. La comparaison des données météorologiques de Drigalsky le conduit à la conclusion que la croissance de la glace en épaisseur dépend plutôt du degré de nébulosité du ciel que de la somme des températures au-dessous de zéro.

La glace de fond s'élève, en présence de certaines conditions, à la surface et participe plus au moins à la formation du manteau glacé. On peut juger du degré de cette participation d'après les qualités et les particularités de structure de la glace fluviale.

En étudiant la glace de la Néva, l'auteur a remarqué qu'elle est en grande partie fortement chargée de sable, d'argile, de branches et d'autres matières déposées au fond du fleuve. Comme le font voir les fig. 2 et 3, reproductions photographiques de blocs de glace venant de la Néva, la répartition particulière des matières étrangères indique que celles-ci ont été soulevées par la glace spongiforme du fond.

Attirant l'attention sur le nombre extrêmement restreint des observations faites jusqu'ici sur le régime thermal des rivières, l'auteur expose les traits fondamentaux du programme des observations qu'il conviendrait de recueillir; selon lui, les observations sur la température au fond des cours d'eau pendant la nuit seraient surtout instructives.

La puissance mécanique de la glace charriée dépend à la fois de la qualité de la glace, de sa masse et de la vitesse du courant, c'est-à-dire de la force vive et de l'angle que la direction du courant forme avec la ligne de la rive.

Des calculs correspondants amènent l'auteur à la conclusion que l'intensité du travail mécanique de la glace peut être approximativement déterminée et qu'elle est proportionnelle à la force vive de la glace, c'est-à-dire au sinus de l'angle formé par la direction du cours avec la tangente à l'élément de la courbe de rive et au cosinus de l'angle d'inclinaison de la rive.

Comme il est déjà dit plus haut, l'action de la glace charriée sur les rives est en rapport étroit avec la qualité de la glace. La glace des rivières formée avec le concours de la glace de fond renferme parfois des quantités si considérables de matières étrangères que, remplié sur les bords, elle laisse en fondant des traces visibles de son séjour. L'auteur décrit les petites collines, les convexités, les barrières formés de gravier et de galets plus ou moins volumineux, qu'il a observés sur les rives des cours d'eau. Les convexités à l'extrémité de terrasses, figurées aux profils 4 et 5, donnent une idée des dépôts provenant du séjour des glaces des rivières.

L'action purement mécanique de la glace s'exprime avant tout par la propriété de labourer les rives des cours d'eau. L'intensité de l'action labourante de la glace de fond se détermine par la dépendance mécanique mentionnée plus haut. Grâce à cette activité labourante de la glace de fond, les rives d'un grand nombre des rivières sibériennes sont accompagnées de remparts d'un caractère particulier que Lopatin a décrits sous le nom de „kekour". Les nivellements des rives (fig. 9, 10, 15) expliquent la forme et la disposition de ces remparts riverains et la photographie fig. 16 reproduit le cas particulier d'un rempart constitué par de gros galets.

Grâce à de nombreuses inclusions pierreuses, la glace des rivières polit la surface dure des berges rocheuses et y laisse des traces semblables aux stries glaciaires. Un pareil rocher poli et strié par la glace est représenté à la fig. 17.

Sur les rives peu inclinées, disposées au pied d'escarpements ou présentant des affleurements de roches primitives, l'action de la glace se traduit par la formation de chemins pavés naturels remarquablement réguliers. La fig. 19 reproduit une de ces routes.

La puissance mécanique de la glace est en relation intime avec la nature lithologique et le mode de clivage des roches; sur la fig. 18, par exemple, on peut voir le caractère des rives de la Podkamennaïa Toungouzka, constituées par des trapps et travaillées par les glaces.