

В.Н. Сакс

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЕ В НИЗОВЬЯХ ЕНИСЕЯ

Вечная мерзлота в северных частях Советского Союза изучена еще далеко недостаточно. Правда, за последние годы, по мере развертывания строительных, разведочных и горно-эксплуатационных работ, наши сведения о вечной мерзлоте значительно пополнились. Однако самый факт исключительно быстрого освоения районов Советского Севера настоятельно требует скорейшего разъяснения всех вопросов, связанных с вечной мерзлотой. Здесь нет надобности останавливаться на том, насколько практически важно изучение вечной мерзлоты, занимающей немногим менее половины площади СССР. Поэтому, по мнению автора, небезынтересным является приводимый ниже материал, освещающий некоторые явления вечной мерзлоты в районе Усть-Енисейского порта, где, начиная с 1936 г., Главным управлением Северного морского пути (и, в частности, Арктическим институтом) проводятся поисково-разведочные работы на нефть.

Усть-Енисейский порт расположен в южной части зоны типичных тундр; мощность деятельного слоя колеблется в пределах от 25-30 см (под сухими торфяниками) до 150 см (в песках). Геологическое строение окрестностей Усть-Порта более подробно освещено в специальной статье автора [*Сакс, 1939*]. Цель всех работ в районе Усть-Енисейского порта - поиски и разведка нефти - уже сама по себе должна была заставить заниматься изучением вечной мерзлоты. Было очевидно, что сколько-нибудь крупные скопления нефти могут быть встречены лишь вне пределов вечномерзлого слоя. Бурение скважин в породах, вообще говоря, рыхлых, но скованных мерзлотой, грозило рядом аварий, обусловленных то недостаточной соленостью раствора, то примерзанием снаряда, то, наконец, оттаиванием и обвалом стенок скважины.

Многие геофизические методы разведки натолкнулись в зоне вечной мерзлоты на большие трудности, вызванные, с одной стороны, наличием линз погребенных льдов и, с другой, резким различием физических свойств одних и тех же пород в пределах мерзлоты и вне ее. Так, сейсморазведка, ведущаяся в районе Усть-Порта непрерывно с 1936 г., из-за присутствия мерзлоты до сих пор не дала положительных результатов ни методом преломленных, ни методом отраженных волн.

Наконец, многие явления на поверхности, в действительности связанные лишь с мерзлотой, долгое время рассматривались в связи с нефтеносностью данного района. Только недоучетом роли мерзлотных процессов можно объяснить находки близ Усть-Порта «грязевых вулканов», на самом деле оказавшихся мерзлотными буграми, или установление в ряде пунктов «тектонических нарушений», фактически обусловленных явлениями выпучивания пород при замерзании, протаивании ледяных линз, иногда оползнями. В свете всего этого остается лишь пожалеть о том, что специально изучением вечной мерзлоты в Усть-Порту никто не занимался и что собранный материал далеко не исчерпывает всех возможностей, которые здесь были при проведении обширных разведочных работ.

1. МЕРЗЛОТНЫЕ БУГРЫ

Мерзлотные бугры, или, как их называет Н.И. Толстихин, гидролакколиты, имеют очень широкое распространение во всех районах, где присутствует вечная мерзлота и где встречаются рыхлые породы, в которых могут проявиться процессы выпучивания. Однако было бы неправильно думать, что происхождение мерзлотных бугров всюду одинаково и

не зависит от характера мерзлоты, ее мощности и температурных условий. Если в Забайкалье гидролакколиты, описываемые Н.И. Толатиным [1932], могут быть связаны с выходами подмерзлотных и мерзлотных вод, то на севере Сибири, где мощность мерзлоты измеряется несколькими сотнями метров, на протяжении которых господствуют температуры значительно ниже нуля, такое предположение не выдерживает серьезной критики. Поэтому нельзя механически переносить в зону тундр теорию образования гидролакколитов Н.И. Толстихина, очевидно применимую лишь на южных окраинах области развития вечной мерзлоты. В настоящей работе автор во избежание недоразумений сознательно отказался от употребления термина «гидролакколит», заменив его более общим - «мерзлотный бугор».

В районе Усть-Енисейского порта решение вопроса о происхождении мерзлотных бугров имело серьезное практическое значение. Наличие здесь сплошного четвертичного покрова, основание которого находится на 65-75 м ниже уровня р. Енисей, лишает возможности выявить на поверхности структуру подстилающего четвертичные отложения нефтесодержащего мезозоя. Поэтому установление связи мерзлотных бугров с подмерзлотными водоносными горизонтами, приуроченными к мезозойским породам, могло бы в значительной степени облегчить задачу прослеживания структуры мезозойских свит и тем самым способствовать проведению разведки на нефть. Однако, как показали наблюдения над многочисленными мерзлотными буграми, разбросанными в окрестностях Усть-Порта на обоих берегах р. Енисей, их распределение, во многом зависящее от характера четвертичных образований, и особенно от характера рельефа, не обнаруживает никакой связи с глубинными породами и структурами.

Прежде всего следует указать, что мерзлотные бугры в районе Усть-Енисейского порта отнюдь не являются однотипными. Среди них могут быть выделены бугры депрессий (булгунняхы), бугры склонов, бугры возвышенностей и, наконец, торфяные бугры. Причины их образования были, очевидно, различными для отдельных типов, хотя в основе возникновения лежит общее явление выпучивания, обусловленное увеличением объема при замерзании насыщенных водой пород.

Булгунняхы. Наибольшими размерами облагают мерзлотные бугры типа, известного в литературе под якутским названием булгунняхов. В окрестностях Усть-Порта булгунняхы встречаются довольно часто и всегда приурочены к плоским, изобилующим озерами депрессиям на водораздельных плато. Ни разу не приходилось наблюдать сколько-нибудь крупные мерзлотные бугры, приближающиеся к типу булгунняхов, на возвышенных участках плато, а также в пределах долины р. Енисей, как на его первой - пойменной террасе, так и на второй - надпойменной. Как правило, в непосредственной близости к булгунняхам находятся озера, разделяющиеся между собою заболоченными и заторфованными участками тундры. Сами булгунняхы представляют холмы округлой или продолговатой формы, имеющие высоту над окружающей местностью от 10 до 15 м (в отдельных случаях до 25 м).

Породы, слагающие с поверхности эти холмы, стоят в тесной связи с породами, развитыми на поверхности плато, в пределах которых, как только что указывалось, сосредоточены все виденные автором булгунняхы. В прилегающих к Усть-Порту участках плато сплошным распространением пользуются флювиогляциальные отложения, относящиеся к последнему оледенению и перекрытые во многих случаях, особенно в депрессиях, озерно-ледниковыми и озерными образованиями, а также торфяниками.

Поскольку булгунняхы всегда приурочены к пониженным участкам плато, в их строении должны принимать участие прежде всего озерные и озерно-ледниковые осадки в виде слоистых суглинков и супесей с галькой. Наблюдения автора над рядом булгунняхов, лежащих в обширной лаиде севернее фактории Малышевка (на правом берегу Енисей), действительно подтвердили это, одновременно показав, что, ко всем вероятностям, в состав наиболее крупных булгунняхов входят и флювиогляциальные пески, подстилающие озерно-ледниковые слои.

Насколько можно судить, булгунняхы района Малышевки, как и все другие крупные булгунняхы в окрестностях Усть-Порта, в настоящее время не обнаруживают признаков роста, представляя безжизненные холмы, подвергающиеся вследствие своего изолированного положения усиленной эрозии. На них нет свежих глубоких трещин, но едва ли можно, не допуская существования таковых в прошлом, объяснить своеобразную форму этих холмов с рядом отдельных вершинок, разделенных впадинами. На вершинах подавляющего большинства булгунняхов, осмотренных автором, не было никаких признаков существования торфяного покрова, как известно, по мнению В.Н. Андреева [1936], являющегося непременным условием для образования булгунняхы. Лишь на немногих булгунняхых удалось встретить торф в виде прослоев среди песков и суглинков, хотя низменные пространства вокруг почти всех булгунняхов покрыты довольно мощным слоем торфа.

На вершинах некоторых холмов можно наблюдать провальные воронки, в большинстве случаев, вероятно, разрушенные. На одном из булгунняхов такая воронка оказалась выполненной водою. Кроме того, встречаются остатки почти полностью разрушенных булгунняхов, представляющих небольшие озера, окруженные со всех сторон как бы валом высотой в несколько метров. В строении этого вала участвуют слоистые пески с растительными остатками, очевидно некогда лежавшие на склоне булгунняхы и перекрытые маломощным покровом торфа. Уровень срединного озера несколько выше уровня прилегающей равнины.

Некоторые исследователи высказали предположение о том, что в каждом булгунняхе имеется ледяное ядро, рост которого и ведет к поднятию булгунняхы. Однако, насколько известно автору, никто еще не видел это ледяное ядро в природе. В описаниях В.Н. Андреева указывается лишь, что на Ямале в трещинах булгунняхов бывает виден лед до 0,5 м видимой мощности. Под ним, по мнению В.Н. Андреева, должна находиться вода и, возможно, даже сжатый воздух (по аналогии с гидролакколитами Забайкалья, описанными Н.И. Толстихиным). Все попытки обнажить ледяное ядро с помощью взрывных работ в булгунняхых Усть-Порта не увенчались успехом.

Особенно тщательно был изучен крупный булгуннях в бассейне р. Большой Хеты (на левобережье Енисея), принятый Д.К. Александровым за старый грязевой вулкан. Осмотр этого булгунняхы был осуществлен специальной комиссией во главе с геологом Г.Е. Рябухиным, описавшим и результаты осмотра [Рябухин, 1939]. К сожалению, ни один булгуннях в районе Усть-Енисейского порта не был расчищен до основания, почему достаточным фактическим материалом для суждения о строении ядра булгунняхов автор не располагает. Однако в северных частях Аляски, как сообщает А.Э. Порсильд [Porsild, 1938], при устройстве холодильников внутри мерзлотных бугров оказалось возможным детально ознакомиться с их разрезом. Описываемые А.Э. Порсильдом мерзлотные бугры, носящие в Америке название «пинго», по всем признакам совершенно аналогичны булгунняхам арктической зоны Евразии. Как показал осмотр холодильников, «пинго» Аляски состоят из тонкого ила, пронизанного многочисленными ледяными жилами. После протаивания и просушки образцы ила теряли в объеме до 60-75%. Вверху и по склонам «пинго» этот ил прикрыт слоем торфа или органического ила, 3-4 м мощностью. По-видимому, таково же строение наших булгунняхов.

Образование булгунняхов наилучшим образом освещено в работах С.Г. Пархоменко [1928], В.Н. Андреева и вышеупомянутого А.Э. Порсильда. Учитывая высказанные этими исследователями взгляды и одновременно опираясь на наблюдения в районе Усть-Порта, можно представить образование булгунняхов следующим образом (рис. 1). Необходимым условием для появления булгунняхы нужно считать наличие озера. Вначале оно не промерзало до дна, благодаря чему под ним залегал слой талых пород. Позднее вследствие обмеления и зарастания озеро в зимнее время начало замерзать целиком. Полное промерзание озера, а также появление на дне его ежегодно замерзающего верхнего слоя породы ведет к тому, что зимой под дном озера образуется обособленный

талик, насыщенный водой. Замерзание даже верхних частей последнего должно сопровождаться некоторым увеличением объема, а следовательно и развитием большого давления, что обуславливает начало выпучивания. Последнее естественно произойдет в точке наименьшего сопротивления - скорее всего в центральной части озера, где мощность мерзлой корки дна будет минимальной.

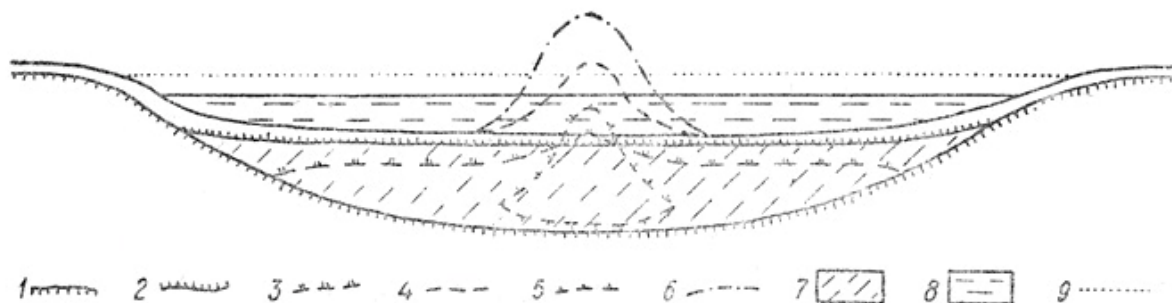


Рис. 1. Схема образования булгуньяха.

1—верхняя граница вечной мерзлоты до обледенения озера; 2—верхняя граница образующегося обособленного талика; 3—верхняя граница талика в первые стадии формирования булгуньяха; 4—булгуньях в первые стадии своего формирования; 5 — граница талика в последние стадии формирования булгуньяха; 6 — булгуньях в последние стадии своего развития; 7 — талик в момент зарождения булгуньяха; 8—вода в озере после его обмеления; 9—первоначальный уровень озера.

Постепенно между дном озера и таликом появится слой мерзлых пород, не оттаивающих и летом, а в центре озера поднимется мерзлотный бугор, который, по мере появления из-под уровня воды, в еще большей степени будет подвергаться действию мороза. На этой первой стадии формирования проникновение холода в область талика осуществляется именно через булгуньях, тогда как в дальнейшем, по мере роста холма, все возрастающая мощность мерзлых образований предохранит талик от поступления холода через бугор. Тем не менее, замерзание не прекратится, так как охлаждение талика будет продолжаться, правда, несколько медленнее. Но в этот период наибольшая потеря тепла будет в тех частях талика, которые не находятся под булгуньяхом, почему произойдет некоторое выпучивание талых пород под бугром, как наименее устойчивым участком над таликом.

Естественно, чем выше станет булгуньях, тем больший слой мерзлых пород будет защищать талик от действия мороза и тем медленнее будет происходить рост бугра. Поскольку талик занят насыщенной водой породой, то и в строении булгуньяха будет участвовать не чистый лед, а минеральный грунт с большим содержанием льда. Однако возможно появление и сплошного льда, но только в том случае, если в талике находились породы с большим коэффициентом фильтрации, например пески или породы с высокой капиллярной способностью (глины). Существенное значение капиллярных свойств пород было установлено С. Табером [Taber, 1930] опытным путем, причем выявилось также в свойство льда притягивать капиллярно поднимающуюся воду из еще незамерзших частей талика. В то же время опыты М.И. Сумгина [1930] показали, что иловатые грунты типа пльвунов при достаточной степени насыщенности водой могут вести себя как жидкость и, следовательно, при поднятии бугра внедряться в освобождающееся под ним пространство, не выделяя из себя воды.

Нельзя не задаться вопросом о том, каких же размеров нужен талик для образования булгуньяха. Если принять максимальную достоверно известную по литературным данным высоту булгуньяха в 40 м и допустить, что булгуньях представляет правильный конус с крутизной склонов в 45° , то, считая, что талик сложен суглинками, влагоемкость которых составляет 46% от их объема, и что вода при замерзании расширяется на 0,1 своего объема, - необходимый объем талика окажется равным около $1,4 \cdot 10^6 \text{ м}^3$. В случае же, если

в талике находятся пески, даже мелкозернистые, имеющие влагоемкость порядка 36%, объем талика придется увеличить до $1,8 \cdot 10^6 \text{ м}^3$.

В действительности для образования булгуньяха высотой в 40 м потребуется талик, имеющий в объеме не менее 2-2,5 млн. куб. м. Нельзя забывать о том, что, во-первых, за время роста булгуньяха известная часть пород будет снесена с его вершины и, во-вторых, что далеко не все расширение объема талика при замерзании передается на булгуньях, так как несомненно произойдет сжатие окружающих мерзлых пород и даже некоторое поднятие всей мерзлой корки над таликом. Можно предполагать, что талик имеет форму сплющенного эллипсоида, вертикальная ось которого может быть порядка 20 м (о значительной мощности таликов, за счет которых образуются булгуньяхи, говорит присутствие в разрезе булгуньяхов не только лежащих непосредственно у поверхности озерных и озерно-ледниковых осадков, но и подстилающих их флювиогляциальных песков).

При указанной мощности и при объеме в 2-2,5 млн. куб. м талик должен иметь длину около 1000-1100 м и ширину около 200-220 м. Несомненно, талики таких размеров образуются очень редко, но и булгуньяхи по 40 м высотой встречаются лишь как исключение. В большинстве случаев чрезмерно крупные талики дают питание не одному, а нескольким булгуньяхам, почему последние нередко встречаются целыми группами. Наиболее часто попадаются булгуньяхи высотой около 20 м, для формирования которых достаточны талики объемом, в восемь раз меньше, чем в вышеуказанном случае, т.е. при мощности около 10 м обладающие длиной порядка 500-550 м и шириной порядка 100-110 м. Эти соотношения между размерами талика и высотой булгуньяха могут быть нарушены в сторону значительного уменьшения объема талика в том случае, если последний, состоящий из водопроницаемых пород, каждое лето сообщается с каким-либо поверхностным водоемом (озером), откуда к нему поступает вода, зимой вымерзающая у основания булгуньяха. В дальнейшем, еще задолго до полного замерзания талика, такая связь должна прекратиться, так как увеличение слоя мерзлых пород над таликом поведет к тому, что часть их летом не будет оттаивать.

Нельзя согласиться с предположением В.Н. Андреева о том, что условия для формирования булгуньяха появляются только после осушения озера и развития на нем торфяного покрова. Автор как в районе Усть-Енисейского порта, так и в пределах Колымской низменности видел булгуньяхи, обычно невысокие и, вероятно, недавно зародившиеся, расположенные посреди озер. Явление это легко объяснимо, так как все данные, необходимые для возникновения булгуньяха, имеются налицо с того момента, когда озеро начало целиком промерзать. Что же касается торфяного покрова, то он никакой существенной роли не играет, наблюдается далеко не на всех булгуньяхах, и если иногда и встречается, то лишь потому, что в последних фазах осушения озерного бассейна весьма обычно формирование органических осадков и торфа.

Точно так же кажется сомнительным и другое предположение В.Н. Андреева о нахождении внутри растущего булгуньяха воды и даже сжатого воздуха. К сожалению, отсутствие в настоящее время в районе Усть-Порта булгуньяхов с признаками роста не позволяет высказаться по данному вопросу с должной уверенностью. Самый факт выпучивания за счет намерзания снизу все новых слоев насыщенной водой породы или льда заставляет думать, что булгуньяхи даже в период роста целиком (или почти целиком) состоят из замерзших образований. По мере все большего поднятия булгуньяха несоответствие между его увеличивающейся поверхностью и той площадью, на которой он зародился, резко возрастает и в конечном счете ведет к разрывам в слагающих его мерзлых породах, особенно и его оболочке, к образованию трещин, а в некоторых случаях - к излиянию разжиженной породы талика в виде наземной наледи.

Эти разрывы, сопровождающиеся, как указывает В.Н. Андреев, сильными звуковыми эффектами, и дали повод последнему предполагать наличие воды и газа в ядре булгуньяха, хотя они легко объяснимы и без такого допущения. Развитие в булгуньяхе

системы трещин способствует скорейшему его разрушению поверхностными агентами, что может происходить одновременно с продолжающимся его ростом. Рост булгуньяха прекращается только после окончательного замерзания питавшего его талика, но фактически может прекратиться и раньше, вследствие вскрытия эрозией ядра булгуньяха, состоящего из пород с большим содержанием льда. Быстрое таяние последних поведет сначала к образованию на вершине булгуньяха воронки, а затем к появлению внутри холма озера, что, как уже указывалось, можно наблюдать и в природе.

Далеко не всякое деградирующее озеро обуславливает возникновение булгуньяха. Талик под озером может промерзнуть раньше, чем будет потеряна его постоянная связь с наиболее глубокими участками озера, которая даст выход избытку объема талика при его замерзании. Далее, талик может быть вскрыт в русле водного потока, осушавшего данное озеро, что повлечет за собою те же последствия. Наконец, даже в случае создания обособленного талика, напряжения в нем при промерзании могут повести к прорыву верхней мерзлой корки и излиянию избыточных масс на поверхность.

Как уже указывалось, булгуньяхи не встречаются на террасах Енисея и его притоков, что, очевидно, может объясняться двояко: либо для образования булгуньяхов требуется отрезок времени больше того, в течение которого сформировались пойма и надпойменная терраса Енисея, либо же со времени возникновения надпойменной террасы Енисея не было условий, необходимых для появления булгуньяхов. Обратимся сначала к первому предположению. По-видимому, пойменная терраса Енисея начала формироваться после эпохи послеледниковых трансгрессий, т.е. не более 4000 лет тому назад (по аналогии с Северной Европой). За это же время, судя по скважинам, отложения на пойменной террасе в наиболее удаленных от Енисея точках промерзли на глубину около 125 м (подробнее об этом смотри ниже); другими словами - на промерзание 1 м в глубину потребовалось в среднем до 32 лет. Талики, питающие булгуньяхи, находятся в несколько иных условиях, так как со всех сторон окружены мерзлотой и лежат на небольших глубинах, где промерзание должно происходить быстрее. Но если даже мы примем для них ту же скорость промерзания как минимальную, то для исчезновения талика толщиной 10-20 м понадобится от 320 до 640 лет, т.е. ежегодный прирост булгуньяха составит около 6 см. Следовательно, надо обратиться ко второму предположению о том, что начиная с эпохи образования надпойменной террасы Енисея в районе Усть-Порта не возникали условия, необходимые для возникновения булгуньяхов.

Некоторые исследователи, в частности В.Н. Андреев, полагали, что булгуньяхи образуются лишь в южных частях зоны тундр и что в районах с более суровым климатом, где мощность ежегодно оттаивающего слоя меньше 1 м, они образоваться не могут, а если и существуют, то только как реликты эпохи послеледникового климатического оптимума. Однако по существу нет оснований предполагать, что при климатических условиях, господствующих сейчас в низовьях Енисея, не могут происходить процессы формирования таликов под осушающимися озерами и процессы выпучивания мерзлотных бугров. По мнению автора, более вероятно искать объяснения в том, что появление булгуньяхов связано с осушением озерных бассейнов и, следовательно, может иметь место только в эпохи деградации озер.

В окрестностях Усть-Енисейского порта в период отступления последнего оледенения существовали крупные озерные водоемы, питавшиеся за счет талых вод ледника и после его окончательного исчезновения постепенно мельчавшие и зараставшие. На месте этих озер на водораздельных пространствах сохранились до настоящего времени плоские депрессии - лайды, изобилующие болотами и озерами - остатками некогда бывших здесь обширных водных бассейнов. С такими именно депрессиями и связаны булгуньяхи. Очевидно, что процессы осушения депрессий наиболее интенсивно протекали в начале послеледникового периода, тогда как сейчас деградация озер происходит в значительно меньших масштабах. Поэтому и булгуньяхи в настоящее время образуются в исключительно редких случаях. Только в одном месте, в лайде к северу от Малышевки,

автору удалось видеть один молодой булгуннях высотой 5-6 м, поднимающийся посредине озера. В 1936-1937 гг. автор имел возможность наблюдать ряд молодых булгунняхов в Колымской низменности, где как раз происходит врезание рек в свои русла и, в связи с этим, интенсивное осушение озер.

Мерзлотные бугры склонов. Совершенно иной тип мерзлотных бугров можно видеть на склонах речных долин. Это холмы чаще всего комической формы, иногда вытянутые по направлению склона и располагающиеся у подножья склонов или в их нижней части. С поверхности холмы всегда сложены песками, вследствие размывания и развевания обогащенными валунно-галечниковым материалом. Высота холмов варьирует от нескольких метров до 10-15 м, причем никогда не превышает высоты данного склона. В каждом отдельном случае появление бугра на склоне можно было бы объяснить расчленением склона эрозией, но обилие холмов почти на всех склонах в районе Усть-Порта заставляет искать иного объяснения. Попытки приурочить развитие бугров к склонам какой-либо определенной ориентации, например к склонам, обращенным к югу, не увенчались успехом. Холмы встречаются как на южных склонах, так и на восточных и западных; их нет, по-видимому, только на северных. Однако последнее может объясняться просто недостаточностью наблюдений, собранных, в основном на правом берегу Енисея, имеющего здесь в общем направление течения с востока на запад.

Характер склонов, на которых образуются бугры, по-видимому, довольно постоянный. Это - склоны речных долин, уже не подмываемые реками и обладающие средней крутизной порядка 8-15°.

В некоторых случаях склоны обращены к надпойменным террасам, чаще же у подошвы склонов находятся пойменные террасы. На склонах подмываемых реками, никогда не приходилось наблюдать образование холмов. Можно заметить, что в разрезе склона во всех случаях, когда образуются бугры, присутствуют водопроницаемые породы, в частности пески. Иногда они подстилаются и покрываются суглинками, иногда слагают целиком весь склон, будучи лишь сверху прикрыты маломощным покровом делювиальных суглинков.

К сожалению, автор не имел возможности ознакомиться с внутренним строением бугров склонов. На Аляске, по данным А.Э. Порсильда [*Porsild, 1938*], в ядрах подобных же бугров обнаружен чистый лед. Весьма возможно, что и бугры склонов района Усть-Порта выполнены внутри льдом, хотя, вероятно, это относится далеко не ко всем буграм.

Объясняя генезис бугров склонов, А.Э. Порсильд применил к ним теорию гидравлического давления, впервые выдвинутую А. Леффингуэллем. Согласно этой теории бугры на склонах возникли вследствие выпирания воды из обнажающихся здесь водоносных горизонтов при замерзании последних. Это могло произойти только в период появления в данном районе вечной мерзлоты, следовательно, надо полагать, до последнего оледенения в низовьях Енисея. Между тем бугры описываемого типа развиты на склонах именно послеледниковых речных долин и, кроме того, отмечаются свежестью, не оставляющей сомнения в их недавнем образовании. Поэтому теория А.Э. Порсильда в ее чистом виде неприменима к существующим сейчас мерзлотным буграм склонов в районе Усть-Порта. Если даже в эпоху появления мерзлоты бугры подобного происхождения возникали, то они уже давно уничтожены эрозией.

По мнению автора, появление мерзлотных бугров на склонах обусловлено наличием постоянного (в период оттаивания) движения надмерзлотных грунтовых вод вниз по склону, осуществимого, конечно, лишь в водопроницаемых породах, например в песках (рис. 2). Осенью, при замерзании деятельного слоя, нормальное движение грунтовых вод прекращается. На террасе у подошвы склона породы насыщены водой, и идущее сверху промерзание их ведет к развитию большого давления, под действием которого избыток воды начинает двигаться вверх по склону, навстречу продолжающему еще существовать постоянному направлению течения грунтовых вод, вследствие этого в нижней части склонов, иногда, у их основания, создаются особенно большие напряжения, вызывающие

куполовидные поднятия верхней, уже промерзшей корки, и замерзание под ней избыточных масс воды или насыщенной водой породы. Так как необходимой предпосылкой для такого явления следует считать наличие в деятельном слое склона пород со значительным коэффициентом фильтрации, то, очевидно, в ядре образующегося бугра может быть чистый лед. Возможно, однако, что выпучивание происходит за счет выпирания самой породы, насыщенной водой, и тогда бугор будет нацело сложен песками или супесями. Поскольку на склонах не наблюдались явления провалов, неизбежных при выстаивании ледяных ядер, можно допустить, что второй случай встречается в природе более часто. Очевидно, это зависит от механического состава породы, влияющего на наличие или отсутствие в ней плавунных свойств.

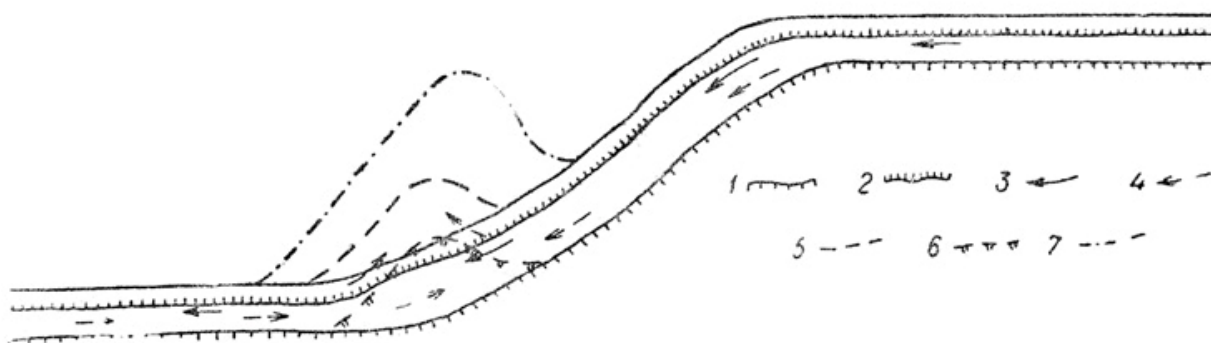


Рис. 2. Схема образования мерзлотного бугра склонов.

1—верхняя граница вечной мерзлоты; 2—верхняя часть деятельного слоя, промерзающая раньше всего; 3—направление движения грунтовых вод летом и в начале осени; 4—направление движения грунтовых вод при замерзании деятельного слоя; 5—мерзлотный бугор в первые стадии образования; 6—поднятие верхней границы вечной мерзлоты под мерзлотным бугром; 7—мерзлотный бугор в стадии зрелости.

Накопление льда или породы будет продолжаться из года в год, так как каждую осень будут повторяться явления встречных водотоков верховодки и, как результат этого, большие напряжения в нижней части склона, которые будут стремиться найти выход в точках наименьшего сопротивления. Однако рост бугра возможен до известного предела, обусловленного гидростатическим давлением грунтовых вод, спускающихся по склону. Как только высота бугра приблизится к высоте склона, циркуляция надмерзлотных вод на вершине и в верхних частях склонов прекратится, почему исчезнут и предпосылки для его дальнейшего роста. Бугор склона превратится как бы в самостоятельную возвышенность, на вершине которой может появиться новый мерзлотный бугор иного уже типа - типа возвышенности.

Мерзлотные бугры возвышенностей. В качестве третьего типа мерзлотных бугров можно выделить мерзлотные бугры возвышенностей. В районе Усть-Енисейского порта почти все возвышенности в пределах водораздельных плато сложены флювиогляциальными песками. Лишь в редких случаях удается видеть более низкие и обычно более пологие возвышенности очевидно эрозионного происхождения, состоящие из озерно-ледниковых суглинков. Очень часто на вершинах песчаных возвышенностей и холмов встречаются чрезвычайно характерные холмики небольших размеров, высотой от 0,5-1 до 2-2,5, редко больше, метров. В то время как на поверхности самих возвышенностей растительность совершенно отсутствует и только на склонах появляется моховой покров, холмики покрыты густой травой (*Festuca ovina*, *Eriophorum vaginatum*). Поэтому они резко контрастируют с окружающей поверхностью возвышенностей, вследствие размывания и развевания песков почти сплошь усеянной галькой и мелкими валунами, хотя, казалось бы, холмики, представляя самые высокие точки возвышенностей, должны особенно усиленно подвергаться действию эрозии. Иногда на

возвышенностях встречается не несколько таких холмиков, причем некоторые располагаются и на склонах (в их верхней части).

Автор не мог наблюдать указанные холмики весной, но, согласно устному сообщению Е.Б. Гольцберга, они оттаивают раньше окружающей тундры и в это время насыщены водою, выступающей иногда даже на поверхность. Летом, как показали расчистки, холмики, состоящие из чистого песка, лишены мерзлоты, начинающейся лишь на глубине свыше 2 м от поверхности. Песок в холмиках сухой, что вполне объяснимо, если вспомнить о расположении их на вершинах песчаных возвышенностей, откуда легко осуществляется сток воды.

В очень редких случаях подобные же холмики, также состоящие из песка, попадают на вершинах пологих возвышенностей, сложенных с поверхности озерно-ледниковыми суглинками. Здесь они представляют еще более странное явление, поднимаясь среди пятнистых тундр, в медальонах которых выходят суглинки.

Кроме мелких, поросших травой холмиков иногда на песчаных возвышенностях встречаются и более крупные бугры, высотой до 5-6 м. Они лишены растительного покрова и усеяны с поверхности галькой и мелкими валунами, точно так же, как это наблюдается на поверхности самих возвышенностей. На вершинах некоторых из этих более крупных бугров имеются и мелкие, поросшие травой холмики вышеописанного типа. Иногда же трава сохраняется и на самих буграх в их верхней части, ниже по склонам сменяясь плащом гальки.

Связь мелких холмиков с явлениями мерзлоты и с циркуляцией подземных вод не вызывает сомнения. Наличие на них травяного покрова, развивающегося в самых неблагоприятных в отношении рельефа условиях, является лучшим доказательством этого. По-видимому, образование холмиков следует связывать с особенностями ежегодного промерзания деятельного слоя в районах с холмистым рельефом (рис. 3). Летом наибольшая глубина оттаивания приурочена к вершинам холмов, особенно песчаных, в максимальной степени подвергающихся действию солнца и теплого воздуха. Воды надмерзлотного водоносного горизонта естественно скопляется во впадинах между холмами и у их подножья, тогда как на холмах оттаявшие слои песка к осени потеряют большую часть содержащейся в них при оттаивании воды.

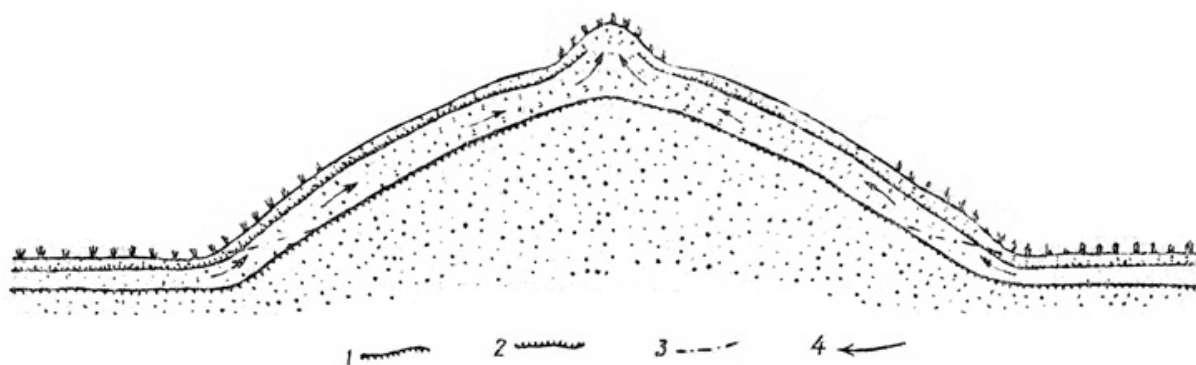


Рис. 3. Схема образования мерзлотного бугра возвышенностей.

1—верхняя граница вечной мерзлоты; 2—верхняя часть деятельного слоя, промерзающая раньше всего; 3—уровень грунтовых вод в деятельном слое в начале осени; 4—направление движения грунтовых вод при замерзании деятельного слоя.

При замерзании деятельного слоя воды, заключенные между верхней, замерзающей в первую очередь коркой и вечной мерзлотой, испытывая сильное давление вследствие изменения объема при переходе из жидкого состояния в твердое, устремляются в незамерзшие еще и не насыщенные водою части деятельного слоя холмов, постепенно поднимаясь к их вершинам. У вершин холмов полное промерзание деятельного слоя, также идущее сверху вниз, произойдет позже всего, почему там образуется талик, со всех

сторон окруженный мерзлыми породами. Скопившиеся в этом талике воды при замерзании должны стремиться к выходу на поверхность, фильтруясь сквозь верхнюю мерзлую оболочку, замерзая внутри ее и частично выступая наружу. Одновременно происходит и выпучивание, сопровождающееся некоторым перемещением насыщенных водою песчаных масс талика в сторону растущего бугра. Таким образом, постепенно образуется холмик, который весной при оттаивании будет всегда насыщен водою, вследствие чего создаются условия для развития на нем растительности.

Этот же процесс может происходить и на возвышенностях, сложенных с поверхности суглинками, но лишь в том случае, если в пределах деятельного слоя будут водопроницаемые породы, в частности пески. В самих суглинках (ввиду меньшего коэффициента фильтрации) приток вод от подножья холмов к вершинам вероятно очень ничтожен. Холмики, состоящие из гравия, гальки и крупного песка, нигде не встречались. Однако можно полагать, что в этих породах вследствие отсутствия плавунных свойств рост бугра при замерзании талика не произойдет. Избыток воды либо распределится в верхних ненасыщенных водою слоях, либо выступит на поверхность. По мере продолжающегося из года в год роста песчаных холмиков несомненно наступит такой момент, когда поднимающиеся при замерзании талика воды уже не достигнут поверхности, распределяясь внутри среди верхних сравнительно сухих его слоев, хотя рост холмика за счет притока плавунных масс к середине ежегодно образующегося талика и будет продолжаться. Тогда, очевидно, исчезнут предпосылки для существования на поверхности холмика растительности. Возможно, что именно на этой стадии развития находятся более высокие бугры.

Нельзя, однако, исключить и другое предположение о том, что приток подземных вод к вершине возвышенности постепенно вызовет появление ледяного ядра под холмиком и что именно наличие и рост такового объясняют образование более крупных бугров. Со временем летнее оттаивание не будет доходить до центра (все увеличивающегося в объеме бугра, и тогда, по всем вероятностям, рост бугра остановится и наступит стадия его быстрого разрушения эрозией. К сожалению, крупные бугры не расчищались на большую глубину. В литературе автор также не нашел определенных указаний об их природе, так как, по-видимому, мерзлотные бугры возвышенностей никем еще не описывались.

Торфяные бугры. На участках, занятых торфяниками, как на водораздельных плато, так и на террасах Енисея, нередко встречаются бугорки высотой от 0,5 до 2-3 м, сложенные с поверхности торфом, оттаивающим летом на глубину порядка 0,3-0,5 м. Ввиду своего чрезвычайно широкого распространения в северных областях Союза торфяные бугры уже неоднократно описывались рядом исследователей, и поэтому подробнее на них останавливаться было бы нецелесообразно. Происхождение торфяных бугров освещено в работах В.Н. Сукачева [1911] и Д.А. Драницына [1914], причем вероятно в зависимости от характера пород, подстилающих торфяник, и мощности торфа образование бугров может происходить в соответствии с той или иной из двух теорий, предложенных названными исследователями.

Вышеописанные четыре типа мерзлотных бугров едва ли исчерпывают все многообразие их форм, которое имеет место в природе. Особенности рельефа каждого отдельного участка, характер пород в пределах деятельного слоя, их водопроницаемость, условия циркуляции грунтовых и поверхностных вод, геологические и геоморфологические данные и климат являются решающими факторами при возникновении мерзлотного бугра того или иного типа. Наблюдения же в районе Усть-Енисейского порта позволили выявить лишь некоторые их формы, возникающие в местных природных условиях. В других районах, отличающихся от Усть-Порта геологическим строением, рельефом или климатом, могут быть отмечены мерзлотные бугры иных типов.

То обстоятельство, что наблюдения автора в окрестностях Усть-Порта позволили выявить такие типы мерзлотных бугров, которые еще не описывались в литературе, достаточно наглядно показывает, как мало внимания уделялось до сих пор их изучению. Между тем внесение ясности в этот вопрос может во многом помочь при инженерно-геологических изысканиях на Крайнем Севере, когда правильное понимание природы мерзлотных бугров даст возможность правильно подойти к ряду практических проблем - строительству различного рода сооружений, горнопроходческим работам и т.п.

2. ПОГРЕБЕННЫЕ ЛЬДЫ

Еще в начале 1939 г. Г.Е. Рябухи и счел возможным говорить об очень слабом развитии погребенных льдов в районе Усть-Енисейского порта, основываясь преимущественно на данных, полученных при исследовании енисейских террас. Сейчас, когда мы ближе познакомились со строением прилетающих к Усть-Порту водораздельных пространств, приходится признать, что погребенные льды в верхних горизонтах четвертичных отложений развиты достаточно широко.

В скважине № 6, пробуренной на склоне плато, прослой льда в супесях с галькой начались с глубины 25 м, а на 28 м был вскрыт сплошной лед с редкими прослойками суглинка, подстилавшийся супесями и окончившийся лишь на глубине 43 м. Линзы погребенных льдов видимой мощности до 4 м нередко встречались и в обнажениях, обычно образуя здесь тела куполовидной формы, залегающие на глубине 10-15 м от поверхности и всегда приуроченные к озерно-ледниковым суглинкам. Очень часто среди суглинков попадаются мелкие включения, прожилки и прослойки льда, до нескольких сантиметров толщиной.

Наконец, пластообразные залежи погребенных льдов удалось обнаружить под некоторыми торфяниками. Кроме этих прямых доказательств существования погребенных льдов, можно еще указать на наличие на водораздельных пространствах многочисленных озер, возникновение которых может объясняться лишь вытаяванием крупных ледяных линз. Эти озера расположены в глубоких замкнутых котловинах среди плоских равнинных участков, имеют крутые, нередко обрывистые берега и отличаются большими глубинами. О размерах ледяных тел, обусловивших появление озер, можно судить по озеру Электрик к северо-востоку от Усть-Порта, уровень которого лежит на 34 м ниже поверхности окружающих плато, глубины достигают 15 м, а длина превышает 2 км. При проведении геофизической разведки нефтеносных структур столкнулись с рядом явлений, объяснить которые было невозможно без допущения наличия многочисленных включений льда в верхних слоях четвертичных пород. За это говорят чрезмерно высокие сопротивления, обнаруженные в ряде пунктов электроразведкой, местные отклонения в гравитационном и магнитном полях, выявившиеся при вариометрических и магниторазведочных работах.

Едва ли можно сомневаться в том, что происхождение, а равно и возраст погребенных льдов не всегда одинаковы. И в настоящее время за счет проникновения надмерзлотных вод происходит образование мелких включений, прожилков и пропластков льда в породах, лежащих в непосредственной близости к поверхности. Иногда же возникают, как было указано выше, при описании мерзлотных бугров, и довольно большие ледяные тела, выраженные всегда в рельефе. Между тем, крупные ледяные залежи водораздельных плато не связаны с морфологией местности. Кроме того, они отсутствуют на террасах Енисея, где по данным буровых, геологосъемочных и геофизических работ встречаются лишь мелкие включения погребенных льдов. Все это заставляет относить время появления основной массы погребенных льдов Усть-Порта к эпохе, предшествовавшей периоду формирования надпойменной террасы Енисея, т.е. к эпохе последнего оледенения.

Поскольку в районе Усть-Порта отложения этого оледенения представлены лишь флювиогляциальными и озерно-ледниковыми осадками, у нас есть основания думать, что

ледник не доходил до рассматриваемого участка, причем край его в момент максимального развития располагался очень близко отсюда. Считать погребенные льды остатками ледника не приходится, так как они связаны с породами, носящими все признаки отложения их водными потоками. По-видимому, в период наибольшей близости ледника к нашему району существовали условия, особенно благоприятствовавшие накоплению погребенных льдов. Климат в то время был, по всем вероятностям, более суровый, чем сейчас, и промерзшие на большую глубину озера, а также многочисленные скопления снега весной в период таяния, особенно бурного на поверхности ледника, могли заноситься осадками, приносимыми тальми ледниковыми водами раньше, чем успевали растаять. Возникавшие таким образом скопления льда и снега, погребенные под наносами, во многих случаях имели возможность сохраниться до наших дней.

Конечно, мощность подобных залежей погребенных льдов не должна быть особенно большой (не свыше нескольких метров). Лишь в отдельных случаях были возможны заносы забитых снегом глубоких промоин и оврагов, которые могли дать более крупные ледяные тела. Нельзя, однако, забывать о том, что и тогда происходили процессы формирования мерзлотных бугров, в результате которых могли возникнуть очень мощные, хотя и небольшие по площади скопления льда. Представим себе занос флювиогляциальными осадками озера, не успевшего вскрыться, но достаточно глубокого для того, чтобы в предшествующую зиму промерзание в нем не достигло дна. В таком случае в следующую зиму здесь под слоем промерзших наносов и закрытого ими льда озера будет замкнутый со всех сторон талик, наполненный водою, оставшейся в придонных частях озера, и внизу состоящий из насыщенных водою пород, слагавших дно озера и поэтому раньше не промерзавших. Толщина такого талика может быть невелика, так как трудно себе представить занос осадками в течение одного сезона сколько-нибудь крупного озерного водоема.

Тем не менее, при замерзании талика должны создаться условия, благоприятствующие возникновению мерзлотного бугра типа булгуньяха. При выпучивании произойдет концентрация погребенных масс воды, раньше в жидком состоянии располагавшихся в виде сравнительно тонкого слоя подо льдом озера, а теперь, при переходе в твердое состояние, образующих ледяное тело, мощность которого может доходить до нескольких десятков метров. Возможно, что именно таково образование наиболее мощных залежей погребенных льдов в районе Усть-Енисейского порта, сохранившихся даже после отмирания и занесения древних булгуньяхов более поздними флювиогляциальными осадками.

Кроме того, погребенные льды могли остаться на месте некогда бывших мерзлотных бугров склонов. Этому благоприятствовал намечающийся по данным стратиграфии глубокий размыв, имевший место между последним оледенением и эпохой формирования надпойменной террасы Енисея. Вполне возможно, что именно таково происхождение ледяного тела мощностью 18 м, вскрытого в скважине № 6 и находящегося на склоне коренного берега, обращенном к надпойменной террасе Енисея.

3. МОЩНОСТЬ МЕРЗЛОТЫ

До самого недавнего времени о мощности вечной мерзлоты в северных областях Советского Союза имелось довольно превратное представление, основанное исключительно на теоретических предположениях, поскольку фактического материала по этому вопросу не было вовсе. Еще в 1932 г. Н.А. Цытович высказал мнение о мощности вечномерзлого слоя в районе Усть-Порта порядка 112 м, а В.Н. Андреев четырьмя годами позже писал о мощности мерзлоты на Ямале, измеряемой, якобы, несколькими десятками метров. Сейчас, когда мы имеем в Усть-Енисейском порту ряд буровых скважин, вскрывших подмерзлотные горизонты, и, кроме того, в нашем распоряжении находятся

данные геофизических наблюдений, можно уже говорить о мощности вечной мерзлоты, опираясь на ряд фактов.

Первые буровые скважины, заложенные в районе Усть-Порта, на левобережье Енисея, в пределах его надпойменной террасы, показали, что здесь мощность мерзлоты достигает 265-270 м (скважина № 3), причем постоянные отрицательные температуры в верхних горизонтах мерзлоты исчислялись -5° , -6° , постепенно повышаясь книзу. Совершению иной результат дала скважина № 5, находящаяся в 800 м от скважины № 3, но расположенная на пойменной террасе Енисея. В ней постоянные отрицательные температуры не спускались ниже $-2,2^{\circ}$, а с глубины 126 м начались уже талые породы.

Это резкое различие в температурных условиях скважин, так близко лежащих друг к другу, сначала дало основание полагать, что здесь имеет место влияние восходящих потоков нефтяных газов, выходы которых в избытке встречаются в районе данных скважин. Однако нельзя объяснить, почему это влияние сказывается только на скважине № 5, где как раз не наблюдалось газирование, тогда как при проходке скважины № 3 на глубинах от 33,5 до 250 м были обнаружены крупные скопления газов. Поэтому скорее всего причину неравномерного распределения мерзлоты следует связывать с обогревающим влиянием Енисея, безусловно более действенным на его пойменной террасе, нежели на надпойменной, уже много тысячелетий не заливавшейся водой и постепенно промерзавшей на все большие глубины.

Такое предположение подтвердилось данными, полученными на правобережье Енисея. Скважина № 6, заложенная на обращенном к надпойменной террасе склоне правого коренного берега, не прошла вечную мерзлоту до глубины 350 м. Судя по неудавшейся попытке понизить уровень воды в этой скважине путем откачки, забой ее был очень близок от нижней границы вечной мерзлоты, откуда и осуществлялся постепенный приток воды в скважину. К сожалению, замеры температуры в скважине № 6 не производились.

Еще более интересные результаты дала скважина № 9, находящаяся на отмели Енисея, у подножья правого коренного берега, интенсивно подмываемого в этом месте рекой, почему береговая линия здесь, надо думать, быстро перемещается в сторону берега. Мерзлые породы были обнаружены в данной скважине на глубине 1,5 м и уже на 7 м закончились. Мерзлота появилась снова лишь на 77 м от поверхности, что наглядно показало, насколько велико обогревающее влияние Енисея, сказавшееся даже на его правом берегу, энергично подмываемом рекою. На какой глубине здесь закончится мерзлота, нам неизвестно. Кажется вполне вероятным, что на дне Енисея мерзлоты вовсе не будет и что вечная мерзлота на пойменной террасе левобережья появилась по мере перемещения русла Енисея, все время подмывавшего свой правый берег.

Непосредственно на водораздельных плато крелиусные буровые скважины не закладывались, вследствие чего окончательного заключения о мощности мерзлоты в этих местах сделать нельзя. Скважина № 6 находится на склоне плато, и поэтому мощность мерзлых пород в ней, насчитывающая немногим более 350 м, по-видимому, меньше, чем на участках плато, сколько-нибудь удаленных от края долины. Производившаяся на правобережье Енисея под руководством В.А. Шпака электроразведка показала, что толщина отличающихся высоким сопротивлением скованных вечной мерзлотой пород на плато должна быть в пределах от 400 до 500 м. Точно так же при проведении на правобережье Енисея сейсморазведки методом отраженных волн оказалось возможным предположительно фиксировать нижнюю границу вечной мерзлоты на 400 м от поверхности. По всем вероятностям, эта цифра для водораздельных пространств района Усть-Порта близка к действительности. На Нордвике, как мы знаем, мощность вечной мерзлоты доходит даже до 600 м, но там не сказывалось обогревающее влияние бореальной трансгрессии, роль которой для низовьев Енисея нельзя недооценивать.

Уменьшение мощности вечной мерзлоты в долине Енисея, в частности на его надпойменной террасе, подтвердилось данными, полученными электроразведкой и на

правобережье. Везде, где электроразведочные профили переходили с плато на террасу, сопротивления резко падали, позволяя предполагать уменьшение мощности мерзлых пород до 250-300 м. На отмелях Енисея, по заключению В.А. Шпака, слой мерзлых пород не превышает 10-30 м, что позволяет с еще большей уверенностью говорить об отсутствии мерзлоты на дне Енисея. Точно так же значительно меньшая скорость распространения упругих колебаний в пределах поймы по сравнению с надпойменной террасой установлена М.В. Абрашкевичем при проведении сейсморазведки. Это явление может объясняться только тем, что мерзлота на пойме имеет очень слабое развитие.

На основании всего изложенного можно построить мерзлотный профиль через окрестности Усть-Порта (рис. 4), в некоторых своих частях - еще предположительный и подлежащий уточнению и проверке при дальнейших исследованиях, но в основном, по-видимому, вполне правильно отражающий действительное положение вещей в районе Усть-Енисейского порта.

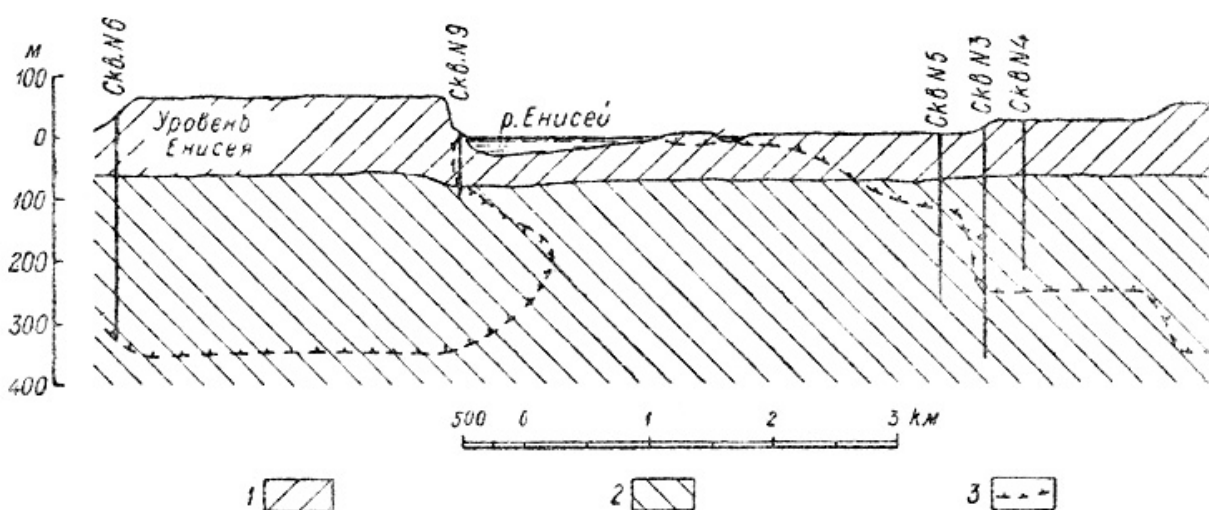


Рис. 4. Схематический мерзлотный профиль через долину р. Енисей в районе Усть-Енисейского порта.

1—четвертичные отложения; 2—меловые отложения; 3—нижняя граница вечной мерзлоты.

Выявившаяся зависимость мощности вечной мерзлоты от геоморфологических элементов позволяет впервые, опираясь на конкретные данные, поставить вопрос о возрасте вечной мерзлоты в этом районе и о скорости нарастания ее мощности. Едва ли можно сомневаться в том, что в эпоху бореальной трансгрессии район Усть-Порта, покрывавшийся тогда морем, с глубинами порядка 50-100 м, был лишен вечной мерзлоты. Примеры Нордвика и о. Вайгача, где мерзлота, обладающая мощностью до 500-600 м, совершенно сходит на нет на линии современного берега моря, достаточно наглядно показывают это.

Очевидно, и в Усть-Порту мерзлота появилась после окончания трансгрессии, скорее всего в эпоху последнего оледенения, по-видимому не достигавшего рассматриваемого нами района. Именно тогда произошло сохранившееся донине на водораздельном плато промерзание на большую глубину всего данного участка. При формировании послеледниковой долины р. Енисея мерзлота в ее пределах, по всем вероятностям, по аналогии с современным Енисеем и современными морскими бассейнами была сведена на нет отепляющим влиянием заходившего сюда в эпоху послеледниковой трансгрессии морского залива (эстуария), а также и тепловым воздействием вод самого Енисея, блуждавшего по своей долине. Поэтому можно думать, что на надпойменной террасе Енисея существующая сейчас вечная мерзлота появилась уже после отступления

последледникового моря, т.е., если сравнивать с Северной Европой, около десяти тысячелетий тому назад. Наконец, на пойменной террасе, в тех ее частях, которые дальше всего удалены от Енисея и, следовательно, раньше всего сформировались, вечная мерзлота начала развиваться очень недавно, по-видимому, не более трех или четырех тысячелетий до нашего времени (по аналогии с пойменными террасами рек Северной Европы).

К сожалению, мы не располагаем сейчас реальными возможностями для решения вопроса о том, отвечает ли мощность мерзлоты на водоразделах современным климатическим условиям, является ли она пережитком более сурового климата прошлого или же еще не достигла предельной величины, возможной при том климате, который имеется сейчас. Следует думать, что проникновение мерзлоты на глубину лимитируется средними годовыми температурами поверхности в данной точке и не должно превышать величины геотермического градиента на каждый градус отрицательной средней годовой температуры. В условиях Усть-Порта при средней годовой температуре $-10,8^{\circ}$ это составит около 370-390 м, что близко к действительной мощности мерзлоты на водоразделах. Однако данный подсчет можно рассматривать, лишь как первое приближение к истине, поскольку нельзя недооценивать роли снегового покрова, защищающего почву от мороза зимою.

В Усть-Порту из незначительного общего количества осадков за год (197 мм) большая часть выпадает в виде дождей (129 мм); кроме того, защитная роль снега ослаблена сильными зимними ветрами (средняя годовая сила ветра 6,8 м/сек). Поэтому приписывать очень большое значение снеговому покрову в районе Усть-Порта, по-видимому, нельзя. Все же можно быть уверенным в том, что в современных условиях мерзлота в Усть-Порту не должна проникать глубже 400 м. Отсутствие же температурных наблюдений над скважинами, в пределах плато не позволяет решить, имеется ли там внутри мерзлой зоны горизонт температурного минимума, кверху и книзу от которого температуры повышаются (что, как известно, характеризует участки с деградацией мерзлоты), или начиная от поверхности нулевой годовой амплитуды вглубь идет постепенное повышение температуры, свидетельствующее об отсутствии разрыва между современным климатом и мерзлотой.

В долине Енисея несомненно происходит нарастание мощности мерзлоты как на надпойменной террасе, так и на пойме. Об этом говорят и температурные условия во всех скважинах в пределах долины, сводящиеся к постепенному повышению температур вниз от поверхности нулевой годовой амплитуды. Весьма интересен тот факт, что проникновение мерзлоты вглубь идет чрезвычайно интенсивно (судя по пойме Енисея, свыше 100 м за три-четыре тысячи лет). Правда, в речной долине, которая с обеих сторон ограничена водораздельными плато, промерзшими более чем на 400 м, процесс промерзания должен протекать со значительным ускорением вследствие, во-первых, тангенциального температурного воздействия со стороны окованных вечной мерзлотой плато и, во-вторых, сравнительно низких температур в породах, оттаявших под долинами (в скважине № 5 - на глубине 260 м от поверхности, и в 134 м от нижней границы мерзлоты температура была всего $+1,8^{\circ}$). Не менее интересно также очень быстрое исчезновение вечной мерзлоты, вызванное отепляющим влиянием р. Енисея, сказавшееся, как мы видели выше, за весьма короткий промежуток времени даже на его правом, подмываемом рекою берегу. Здесь большую роль, вероятно, играет преобладание в Усть-Енисейском районе песков, водопроницаемость которых в значительной степени содействует их скорейшему оттаиванию.

ЛИТЕРАТУРА

Андреев В.Н. [Гидролакколиты в Западносибирских тундрах](#). Известия Гос. Географ. общ., т. 68, вып. 2, 1936.

Драницын Д.А. О некоторых зональных формах рельефа Крайнего Севера. Почвоведение. 1914. №4. С. 21-68

Пархоменко С.Г. Отчет о поездке в Вилуйский округ. Труды Ком. по изуч. ЯАССР, том III, Л., 1928.

Рябухин Г.Е. [О некоторых проявлениях вечной мерзлоты в районе Усть-Порта.](#) Проблемы Арктики, 1939, № 6, с. 82-85.

Сакс В.Н. [Новые данные о геологическом строении района Усть-Енисейского порта.](#) Проблемы Арктики. Изд-во Главсевморпути. Л., 1939, №10-11.

Сукачев В.Н. К вопросу о влиянии мерзлоты на почву. Изв. АН. 1911. Сер. 6. Т. 5, N 1.

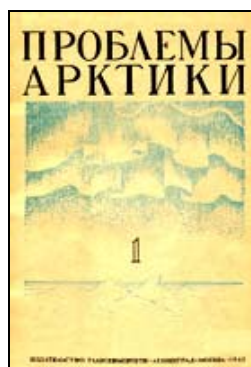
Сумгин М.И. Современное положение исследования вечной мерзлоты в СССР и желательная постановка этих исследований в ближайшем будущем. В кн.: Вечная мерзлота. Л. Изд. АН СССР, 1930, стр.1-41.

Толстихин Н.И. Подземные воды Забайкалья и их гидролаколлиты. «Труды ком. по изуч. вечной мерзлоты», т. I, 1932.

Porsild A.E. Earth mounds in unglaciated arctic northwestern America. The Geographical Review. 1938. Vol. 28. N. 1, p. 46-58.

Taber S. The mechanics of frost heaving. Journal of Geology, 1930. Vol. 38, No. 4, p. 303-320.

Ссылка на статью:



***Сакс В.Н.* Некоторые данные о вечной мерзлоте в низовьях Енисея. Проблемы Арктики, 1940, № 1, с. 62-79.**