

# МИГРАЦИОННЫЕ БУГРЫ ПУЧЕНИЯ В ЗАПОЛЯРНОЙ ЧАСТИ КРИОЛИТОЗОНЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

## PALSAS IN THE POLAR PART OF THE MIDDLE SIBERIA PERMAFROST ZONE

### ВАСИЛЬЧУК Ю.К.

Профессор географического МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., действительный член Российской академии естественных наук, г. Москва, vasilch@geol.msu.ru, vasilch\_geo@mail.ru

### ВАСИЛЬЧУК А.К.

Старший научный сотрудник географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.н., г. Москва

### РЕПКИНА Т.Ю.

Старший научный сотрудник географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.г.н., г. Москва

### VASILCHUK Yu.K.

A professor of the faculty of geography of Lomonosov Moscow State University, doctor of science (Geology and Mineralogy), member of the Russian Academy of Natural Sciences, Moscow, vasilch@geol.msu.ru, vasilch\_geo@mail.ru

### VASILCHUK A.C.

A senior staff scientist of the geography faculty of Lomonosov Moscow State University, doctor of science (Geography), Moscow

### REPINA T.Yu.

A senior staff scientist of the geography faculty of Lomonosov Moscow State University, candidate of science (Geography), Moscow

### Ключевые слова:

криолитозона; миграционные бугры пучения; крупнобугристые торфяники; Средняя Сибирь; Северный полярный круг.

### Key words:

permafrost zone; palsa; peat bogs; Middle Siberia; Arctic circle.

### Аннотация

**Образование и деградация сильнольдистых торфяных бугров пучения — весьма опасные процессы для освоения нефтяных, газовых, полиметаллических, алмазных, золотых и прочих месторождений Заполярья Средней Сибири. В статье рассмотрены особенности развития миграционных торфяных бугров пучения в этом регионе. Показано, что они развиты вплоть до самых северных районов Таймыра — до 75–76° с.ш.**

### Введение

Средняя Сибирь — физико-географическая страна, территориально совпадающая с Сибирской платформой и расположенная в Северной Азии между долиной р. Енисей с запада, Верхоянским хребтом с востока, берегами Карского моря и моря Лаптевых с севера и горами Южной Сибири с юга. Площадь ее территории составляет около 4 млн кв. км. Максимальная протяженность с севера на юг — 2800 км, с запада на восток — 2500 км. Большую часть страны занимает Средне-Сибирское плоскогорье.

В заполярной части Средней Сибири расположены Северо-Сибирская низменность и горы Бырранга, находящиеся на полуострове Таймыр (рис. 1). Для заполярных районов Средней Сибири характерны резко континентальный климат и повсеместное распространение многолетнемерзлых пород.

Целью настоящей статьи является описание результатов исследований миграционных бугров пучения (пальза\*) на северном пределе их ареала в заполярных районах Средней Сибири, в которых большинством исследователей развитие пальза не предполагается.

### Abstract

**Formation and degradation of very icy palsa are very dangerous processes for developing oil, gas, polymetallic, diamond, gold and other deposits in the Polar region of the Middle Siberia. The article considers the palsa development features in this region. It is shown that the palsa distribution reaches the northernmost areas of the Taimyr Peninsula i.e. 75–76° N.**

### 1. Особенности инженерно-геологического освоения территории

На территории полуострова Таймыр сосредоточены крупнейшие в мире месторождения (см. рис. 1) медно-никелевых руд (Талнахское и Октябрьское), имеются уникальные по своим масштабам месторождения технических (импактных) алмазов (Ударное, Скалистое, Анабарское), самостоятельные месторождения благородных металлов, апатит-магнетитовых руд с танталониобатами, свинцово-цинковые месторождения, сосредоточены большие запасы твердого топлива (общие запасы бурого и каменного угля оцениваются в 500–700 млрд т) и многие другие. Основа минераль-

\* Термин пальза используется во всех языках мира: английском, немецком, испанском, датском, голландском, финском и др., он заменяет сложную вербальную конструкцию: миграционные бугры пучения на торфяниках.



Рис. 1. Карта-схема распространения миграционных бугров пучения и объектов строительства и другой хозяйственной деятельности в заполярных районах криолитозоны Средней Сибири. Массивы многолетнемерзлых миграционных торфяных бугров: Ан-Мх — долины рек Анабар, Оленек, Котуй, Попигай, Марха; Ас-Ба — пальза на озерах Астрономическое, Белое, Барометрическое; Ду — Дудинка; Иг — Игарка; Ла — оз. Лама; Лу — Лукунский лес; Но — р. Новая (Ары-Мас); Та — р. Талнах; Ту — р. Турумакита; Фо — р. Фомич; Ша — севернее мыса Шайтанский. Инженерно-геологические объекты: АН — Анабарское россыпное алмазное месторождение; НР — Норильский горнодобывающий узел (Талнахско-Октябрьское месторождение); ПА — Паяхское нефтяное месторождение; ПО — Попигайское месторождение импактных алмазов; ПЯ — Пясинское угольное месторождение; СД — Сырдасайское угольное месторождение; ХА — Хатангское месторождение бурых углей (нефтяные залежи: Нордвикская, Ильинская и Кожевниковская); ОЛ — Оленекское месторождение природных битумов; ХТ — Хантайская и Усть-Хантайская ГЭС, ЧЕ — Челюскинское золотоносное месторождение; ЧЯ — Черноярское угольное месторождение

но-сырьевой базы Таймыра — комплексные платино-медно-никелевые руды. Более половины всех запасов никеля, меди, кобальта и металлов платиновой группы России сосредоточены в пределах Таймырского округа. Все разведанные запасы сосредоточены в Норильском промышленном районе.

На Таймыре и сопредельных территориях открыты десятки месторождений нефти и газа (Мессояхское, Пеляткинское, Сузунское, Тагульское, Пайяхское и др.).

В результате проведения сейсморазведочных работ в северо-западной части Сибирской платформы выявлена крупная нефтегазоперспективная структура — Северо-Пясинский вал. В Хатангском районе на левобережье Хатангского залива открыты нефтяные залежи (Нордвикская, Ильинская и Кожевниковская). На юге Усть-Енисейского и Дудинского районов на левобережье реки Енисей (в 110–120 км от города Дудинки) находится Сузунское газонефтяное месторождение, сейчас подготовленное к разработке. Рядом с Сузунским месторождением ведутся сейсморазведочные работы на высокоперспективном Пендомаяхском участке с ресурсным потенциалом 60 млн т условных углеводородов. На правобережье р. Енисей в его низовьях открыта нефтяная залежь на Пайяхском месторождении. В бассейне реки Оленек расположено Оленекское битумное месторождение, являющееся одним из самых значительных по масштабам битумных полей, выявленных в Средней Сибири.

Здесь имеется широкий спектр месторождений нерудных полезных ископаемых — сырья для строительной, химической и легкой промышленности, приборостроения, декоративно-поделочных и ювелирных камней, высококачественного мусковита и флогопита. В восточной части Таймыра отмечаются мощные пласты каменной соли.

Одним из весьма перспективных угленосных районов является Таймырский угленосный бассейн, в котором располагаются месторождения Слободское, Крестьянское, Сырадасайское ( $73^{\circ}30'30''$  с.ш.,  $80^{\circ}31'28''$  в.д. — близ поселка Диксон), Пясинское (на Западном Таймыре) и Чернойское (на Центральном Таймыре). Значительные запасы и ресурсы выделяют

эти месторождения как перспективные в отношении разработки коксующихся углей. В пределах Таймырского угольного бассейна расположено месторождение графитов и термоантрацитов.

Угольные пласты установлены по берегам Гафнерфиорда, в береговых обнажениях рек Фомина, Траутфеттер, озера Цыганское Сердце, в районе реки Ленинградской. В пределах Анабаро-Хатангского угленосного района разведаны до промышленных категорий два месторождения — Каякское и Хатангское.

Каякское месторождение каменного угля располагается на реке Котуй в 90 км от поселка Хатанга. В непосредственной близости от этого поселка разведано Хатангское месторождение бурых углей ( $71^{\circ}59'$  с.ш.,  $102^{\circ}30'$  в.д.).

В восточной части криолитозоны находятся крупнейшие месторождения рудных полезных ископаемых — медно-никелевые ( $69^{\circ}20'$  с.ш.,  $88^{\circ}13'$  в.д. рядом с Норильском), полиметаллические ( $69^{\circ}30'$  с.ш.,  $87^{\circ}24'$  в.д. — Талнахско-Октябрьское месторождение). В Норильском районе разведано более 10 месторождений полиметаллических руд. Разработки здесь ведутся как открытым, так и закрытым способом.

На побережье полуострова Челюскин и на дне пролива Вилькицкого (в Челюскинском золотороссыпном районе) выявлены три золотоносных узла с содержанием золота от 0,7–0,8 до 1,5–2,0 г/м<sup>3</sup>. Главные геолого-промышленные типы россыпей здесь — долинный аллювиальный, депрессионный полигенный и прибрежно-морской.

На северо-востоке региона располагается одно из крупнейших в мире месторождений импактных алмазов — Попигайское ( $71^{\circ}39'$  с.ш.,  $111^{\circ}11'$  в.д.).

В Заполярье Средней Сибири построены крупные Хантайская ГЭС и Усть-Хантайская ГЭС на реке Хантайке ( $68.08^{\circ}$  с.ш.,  $87^{\circ}46'$  в.д.). Огромные водохранилища площадью в тысячи кв. км привели к глубокому оттаиванию подземных льдов под ними, в частности к деградации бугров пучения (рис. 2).

Как известно, плотины на водохранилищах в криолитозоне отличаются высокой степенью аварийности, достигающей 70–90%, с частыми утечками воды, прорывами плотин и бортовых примыканий. Особенно важен учет температуры и льдистости пород на плотинах и водохранилищах, расположенных в пределах территорий развития бугристых торфяников. К водохранилищам, на переформирование ложа и берегов которых существенное влияние оказывают геокриологические процессы, относится вышеупомянутое Хантайское. На этом крупном водохранилище в течение примерно 30 лет эксплуатации не было ни одной катастрофической аварии и разрушения, что свидетельствует о его высокой надежности и безопасности. Однако периодически отмечались частичные локальные отказы и кратковременные аварийные режимы работы системы «плотина — водохранилище» в результате локальных отказов ее отдельных элементов, связанных с задержкой наполнения водохранилища до проектных отметок нормального проектного уровня.

Борта и ложе Хантайского водохранилища в значительной части сложены мерзлыми и тальными четвертичными отложениями, в которых широко представлены органо-минеральные и торфяные грунты. Мощ-



Рис. 2. Миграционные многолетнемерзлые торфяные бугры пучения на I надпойменной террасе р. Хантайки [8]



ность многолетнемерзлых толщ здесь изменяется в диапазоне 15–60 м, среднегодовая температура пород составляет минус 1–2°C, реже понижается до минус 3°C. Данное водохранилище было создано в 1970 г. после перекрытия грунтовой плотиной узкого створа р. Хантайки в районе Большого порога. Более 80% берегов водохранилища представлено тремя типами абразионных сильноподрабатываемых берегов: (1) термоабразионными с наличием уступов и волноприбойных ниш в оттаивающих берегах; (2) плавучими органично-минеральными торфяными берегами и островами, быстро оттаивающими и разлагающимися под воздействием теплового и волнового влияния водохранилища; (3) термокарстовыми берегами с ярко выраженными провальными явлениями и проседаниями откосов с формированием многочисленных озер и западин, заполненных водой, и отдельно стоящих мелких островков, в основном приуроченных к бывшим торфяным и минеральным буграм пучения — пальза и булгунням [8]. Превалирующим процессом в переформировании ложа и дна берегов Хантайского водохранилища является не столько переработка берегов с отступлением бровки для наиболее активных термоабразионных берегов (до 10–15 м/год в первые годы наполнения водоема), сколько почти повсеместная интенсивная термокарстовая переработка затопленного вновь образующегося ложа, характеризующегося наличием до 60% сильнольдистых сильнопросадочных четвертичных отложений при одновременном преобладании (около 60% из последних) озерно-болотных отложений и торфов в разрезах пальза.

Ю.И. Прейс [22] сообщает, что в долине р. Хантайки встречаются мерзлые торфяные бугры высотой от 1 до 11 м. Торфяные залежи характеризуются глубиной от 1 до 6 м. Бугры сложены преимущественно низинным торфом. Лыдность торфяных залежей составляет 80–90%. В буграх под слоем торфа залегает сильнольдистое мерзлое минеральное ядро. На границе между торфом и грунтом часто имеется линза чистого льда толщиной обычно до 1,5 м.

В зоне затопления Хантайского водохранилища под дном залива Сиговый очень быстро развиваются талики, связанные с интенсивным вытравливанием льдонасыщенных озерно-болотных суглинков и крупнобугристых торфяников (см. рис. 2). Берега подвергаются интенсивному воздействию термоденудационных и динамических процессов (размыванию, переотложению минеральных грунтов), а в акватории наблюдается массовое всплытие, дальнейшее разрушение и переотложение торфяников [19].

Отметим еще одно опасное посткриогенное явление, которое неизбежно возникает при затоплении торфяных бугров пучения водами водохранилищ. Торфяная залежь в начальной стадии находится в мерзлом и закоренном состоянии. Под отепляющим влиянием воды и ударов волн от неподвижного торфяного мерзлого острова отрываются участки всплывшей залежи, которые начинают блуждать по водохранилищу, постепенно смещаясь при воздействии ветра в сторону его преобладающего направления. Нередко и сами торфяные острова дрейфуют в полупогруженном состоянии, что особенно опасно для нормальной работы ГЭС и судоходства [15].

Развитие таких промышленных гигантов, как Норильский комбинат и др., требует развития всей инфраструктуры районов их расположения, включая дороги и трубопроводы, что неизбежно связано с освоением территорий развития выпуклобугристых торфяников.

Пучение — одно из наиболее широко распространенных явлений в криолитозоне и даже вне ее в пределах территорий сезонного промерзания, где она часто связана с сегрегационным льдовыделением в сезонноталом слое зимой. Интенсивность пучения связана с количеством влаги, мигрировавшей в зону промерзания, и скоростью промерзания. Особенно заметно пучение проявляется при длительном периоде медленного снижения температуры, достаточного для формирования кристаллов льда, которые повышают объем замерзающей воды, а следовательно и грунта, на 9–11%, отрицательных температурах поверхности грунта в осенне-зимний период, в присутствии влаги и при наличии пучинистых грунтов. Сочетание этих факторов характерно для многих районов Средней Сибири, что является причиной очень широкого распространения бугров пучения (пальза) в этом регионе.

Сосредоточение месторождений нефти и газа в северных районах Сибири обуславливает необходимость строительства надежных трубопроводов в неблагоприятных грунтовых условиях. Большая протяженность этих линейных объектов ведет к тому, что они неизбежно пересекают участки с различными мерзлотно-грунтовыми условиями, в т.ч. и области развития бугров пучения. При образовании пальза значение неравномерности площадного пучения возрастает с 3–4 до 30–40% и более. При этом многолетние бугры пучения являются одной из самых распространенных форм мерзлотно-грунтового рельефа. Поэтому при выборе трасс трубопроводов необходимо учитывать особенности процесса пучения в целом и особенно пальза в частности.

Строительство и эксплуатация магистральных трубопроводов, дорог и крупных сооружений в пределах криолитозоны приводит к трансформации геокриологических процессов, развивающихся как в зонах непосредственного взаимодействия с ними, так и на прилегающих к ним территориях. Возникает сложное механическое и тепловое взаимодействие сооружений с геологической и гидрогеологической средой на многолетнемерзлых грунтах и заболоченных территориях. Часто происходит нарушение равновесия, сопровождающееся активизацией опасных природных процессов с их негативным влиянием на состояние сооружений, нередко приводящим к аварийным ситуациям.

## **2. Районы распространения миграционных бугров пучения (пальза), располагающиеся севернее Полярного круга**

В предыдущих публикациях, посвященных пальза [4, 5, 6, 34], авторы отмечали, что южный и северный пределы ареала миграционных торфяных бугров пучения заметно шире, чем это принято считать, как для Европейского Севера России, так и для севера Западной Сибири.

Таблица 1

Температура воздуха на метеостанциях заполярных районов Средней Сибири, ближайших к описанным миграционным буграм пучения [21]					
Место расположения метеостанции	Среднемесячная температура, °С		Сумма температур		Среднегодовая температура, °С
	января	июля	зимних	летних	
оз. Таймырское	-33,1	6,5	-5747	470	-14,5
р. Таймыр (устье)	-31,0	4,7	-5589	290	-14,6
оз. Лама	-30,1	12,6	-4480	1053	-9,5
г. Дудинка	-28,0	12,8	-4667	965	-10,2
г. Игарка	-28,6	14,8	-4351	1195	-8,7

Данные, полученные в последние годы на севере Средней Сибири, включая полуостров Таймыр и плато Путорана, Ж.М. Белорусовой, В.В. Украинцевой, А.Б. Чижовым, А.Ю. Деревягиным, Т.Ю. Репкиной, Т. Александерсон, Т.Т. Ефремовой, С.П. Ефремовым, И.Н. Поспеловым, Т.Н. Мельниченко и др. [3, 9, 13, 19, 32, 33 и др.], дают основание говорить о существенном смещении на север границы ареала пальза, вплоть до побережья Северного Ледовитого океана и даже на арктические острова.

Для строительства линейных и крупных локальных объектов особенно значимы следующие характеристики бугров пучения: распространение (южный и северный пределы ареала), льдистость, динамика роста, цикличность пучения и просадок.

### 2.1. Крупнобугристые торфяники (пальза) на Таймырском полуострове

Ранее считалось, что на Таймыре бугров пучения миграционного типа (пальза) нет. Однако работы последних лет заставили пересмотреть эту точку зрения. Х. Александерсон с коллегами [32] описали пальза высотой до 1,5–2,0 м и диаметром около 5,0 м в нескольких районах Таймыра — близ озер Астрономическое, Белое, Барометрическое (75–76° с.ш., 96–102° в.д.). Указанными авторами было описано более семи местонахождений пальза по берегам этих озер — в условиях арктической тундры при среднегодовой температуре минус 14,5°С (табл. 1) и с практически полным отсутствием кустарниковой растительности.

Скопления голоценовых торфяных бугров высотой до 3–4 м встречены Ж.М. Белорусовой и В.В. Украинцевой [3] на третьей террасе (в 5 км от реки) в долине р. Новой на востоке Таймыра (72°30' с.ш.). Видимая мощность торфа, подстилаемого вязкой при оттаивании сильнольдистой супесью или серым суглинком, не превышает 2,5 м. Накопление торфа на контакте с супесью на глубине 2,1–2,2 м началось, по результатам разных датировок, 6670±90 или 6695±80 лет назад (табл. 2). В интервале глубин 1,20–1,25 м возраст торфа составляет 5860±60 лет. Накопление верхних слоев торфа на глубине залегания 0,2–0,4 м происходило 5495±80 лет назад. Средняя скорость накопления двухметрового слоя торфа составляет 1,5–1,6 мм в год. Скорость роста слоя торфа в нижней части залежи (в интервале глубин 2,1–1,3 м) равна примерно 1 мм в год, а в верхней части (1,2–0,4 м) — 2,2 мм в год [1, 3].

Н.И. Кузнецов [18] указывает, что в долине р. Енисей севернее Шайтанского мыса (72°05' с.ш.) им

встречены сравнительно крупные (высотой до 1,5 м) торфяные бугры, группами располагающиеся по оврагам, глубоко прорезывающим тундру. Эти бугры, в свою очередь, прорезаны глубокими трещинами, которыми торф разбит на глыбы. В них удалось найти остатки мхов и мелких кустарников, но древесных остатков не было. В той же работе отмечается, что В.В. Ревердатто находил севернее с. Потаповского бугры с остатками берез диаметром до 10 см.

На полуострове Таймыр в 2004 г. Т.Ю. Репкина и С.Н. Калачев описали бугры пучения в 15 км севернее озера Лама (около 70° с.ш., 90°15' в.д.), примерно в 120 км восточнее г. Норильска. Абсолютная высота этой местности составляет от 110 до 170 м, среднегодовая температура воздуха равна минус 9,5°С (см. табл. 1). Данный участок находится на правом берегу реки Южный Икэн в 3 км выше ее впадения в реку Микчангда. Здесь на абсолютной высоте от 110 до 140 м были встречены крупные бугры пучения, вероятно, миграционного типа. На пологонаклонной поверхности позднечетвертичной равнины, расчлененной ложбинами с плоскими мокрыми днищами (с врезами 2–3 м), наблюдались единичные термокарстовые озера и бугры пучения высотой 1–3 м. Растительность в пределах равнины — карликовая береза, редкие лиственницы, ягодники, багульник. На увлажненных участках и днищах ложбин появляется торф мощностью до 0,2–0,3 м.

На днище одной из плоскодонных ложбин отмечена группа бугров пучения (рис. 3). Ширина днища — около 70 м. Борта ложбины асимметричны: левый (северный) борт имеет уклон 5–7°, правый (южный) имеет уклон 10–15°. Нижние части склонов закрыты торфом, высота кочек — до 0,2–0,3 м, растительность — мох, кустарнички. Ложбина сложена валунными суглинками. Днище ее влажное, местами заболоченное, местами в нем стоит вода. Бугры пучения расположены по центру ложбины, группируются в две субпараллельные ей гряды («батоны»). В правой гряде имеется шесть бугров (общей протяженностью около 120 м), в левой — четыре (общей протяженностью около 80 м). У северных склонов гряд есть следы и остатки небольших снежников. Максимальная высота бугров составляет 5–6 м. Их высота уменьшается к центру ложбины. Здесь в уступах высотой до 0,5–0,7 м обнажается темно-коричневый слоистый торф. Склоны гряд, обращенные к центру ложбины, пологие, противоположные имеют угол наклона до 30°. На одном из тыловых склонов под съехавшей дерниной обнажается торф видимой мощностью около 1,5 м. Понижения, разделяю-



щие гряды на отдельные бугры, имеют U-образный поперечный профиль, наклонены к центру ложбины, имеют ширину 4–5 м, глубину от 0,5 до 1,5–2,0 м (наиболее глубокие из них привязаны к уровню подъема воды в периоды паводков), следов течения воды нет. С поверхности бугров повсеместно залегает торф (есть обнажение с торфом высотой 1,5 м), который разбит на полигональные отдельности (шириной первые десятки сантиметров). Трещины между этими отдельностями мелкие, неширокие (не более 5 см). Растительность — преимущественно мох, кустарнички. Ближе к центру ложбины на высоте до 1,0–1,5 м от понижения растительный покров разрежен — возможно, до этого уровня бугры заливаются в периоды паводков.

На высокой равнине севернее озера Лама (на правом берегу р. Мигчангды в районе впадения р. Южный Икэн) встречены многочисленные бугры высотой до 3–5 м и, возможно, выше (рис. 4). Торфяной покров (мощностью до 0,2–0,3 м) распространен на увлажненных участках и в днищах ложбин, здесь наблюдаются единичные термокарстовые озера, бугры пучения и их группы. Растительность представлена карликовой березой, редкими лиственницами, ягодниками и багульником. Сходные по облику бугры развиты в низовьях



**Рис. 3. Миграционные многолетнемерзлые бугры пучения на северном пределе ареала — в 15 км севернее озера Лама на плато Путорана (п-ов Таймыр, фото Т.Ю. Репкиной)**

р. Мигчангды на заболоченной поверхности террасы по правому берегу реки (рис. 5).

Севернее — на р. Агапе (притоке р. Пясины) — в районе 70°30' с.ш. были описаны мелкие торфяные бугры высотой до 1,5 м. Здесь же располагался высокий булгуньях (высотой до 20 м).

Таблица 2

Радиоуглеродные датировки миграционных торфяных бугров пучения заполярных районов Средней Сибири					
Район	Высота бугра, м (№ бугра)	Глубина, м	Радиоуглер. дата, лет	Лабораторный индекс (номер)	Источник данных
п-ов Таймыр, долина р. Новой, р-н Ары-Мас	3–4	0,3	5495±80	ИМСОАН	[3]
		1,2	5860±60		
		2,1	6670±90		
		2,1	6695±80		
Низовья реки Турумакит	7	0,7	8240±60	ИГАН-3679	Личное сообщение Ф.А. Романенко (МГУ им. М.В. Ломоносова)
Долина р. Енисей, район г. Игарки	3	0,5	3930±50	КРИЛ-125	[26]
		0,5	5140±60	КРИЛ-119	
		0,6	5200±60	КРИЛ-120	
		1,0	5410±60	КРИЛ-122	
		1,3	5450±60	КРИЛ-123	
		1,5	7330±80	КРИЛ-118	
4,5 км к СВ от г. Игарки	-	0,4	4850±50	-	[17]
		1,8	8210±250	-	
Долина р. Енисей, район г. Дудинки	3 (бугор № 1)	0,4	5410±60	КРИЛ-129	[26]
		0,5	5515±60	КРИЛ-130	
		0,6	5890±60	КРИЛ-131	
		0,7	6280±70	КРИЛ-132	
		0,8	6800±70	КРИЛ-133	
Долина р. Енисей, район г. Дудинки	3 (бугор № 2)	0,5	6170±70	КРИЛ-136	[26]
		1,2	7060±70	КРИЛ-138	
		1,2	7050±70	КРИЛ-135	
		1,5	7260±80	КРИЛ-137	
		1,6	7940±80	КРИЛ-134	



**Рис. 4.** Миграционные многолетнемерзлые бугры пучения на северном пределе ареала на правобережье р. Мигчангды в районе впадения р. Южный Икэн (плато Путорана, п-ов Таймыр, фото Т.Ю. Репкиной)

В.И. Гребенец с соавторами [11] встретили небольшой бугор пучения (рис. 6) диаметром 20–30 м и высотой до 1,5 м в Норильском районе на вальковской озерно-аллювиальной террасе (на площадке Талнах с координатами примерно 69,5° с.ш., 87,4° в.д.). Климат этого района может быть отнесен к субарктическому. Среднегодовая температура воздуха здесь равна минус 9,8°C, количество осадков составляет примерно 300–400 мм. Большая часть поверхности на указанном участке занята типичной тунд-



**Рис. 5.** Характер распространения многолетнемерзлых миграционных бугров пучения на северном пределе ареала в низовьях р. Мигчангды (плато Путорана, п-ов Таймыр, фото Т.Ю. Репкиной)



**Рис. 6.** Миграционный многолетнемерзлый торфяной бугор на высокой позднеплейстоценовой террасе близ г. Норильска (фото В.И. Гребенца)

рой, редко встречаются лиственничные редины. За период с 2005 по 2010 г. на Талнахе отмечено некоторое увеличение глубины сезонноталого слоя, но в этот период отмечены годы, когда наблюдалось и сокращение мощности сезонноталого слоя (2007 и 2009 гг.).

Многолетние бугры пучения в долинах рек Норильская и Рыбная приурочены к крупным болотным массивам. В районе истока реки Пясины минимальная среднегодовая температура пород зафиксирована в торфяниках (минус 6,7–7,8°C), что связано со значительным охлаждающим воздействием мощного слоя торфа, отсутствием древесно-кустарниковой растительности и маломощным снежным покровом [2].

В Норильском районе В.Н. Сакс [24, 25] описал группу торфяных бугров высотой до 6–7 м. Они сложены торфом до глубины 0,8 м, ниже — мерзлыми суглинками и супесями. Иногда они вытянуты в виде гряд, иногда имеют округлую форму, но всегда встречаются значительными группами, приуроченными к озерным и речным террасам.

В долине р. Норильской близ г. Норильска Н.Я. Кац [14] описал крупные бугры, разделенные заросшими лесом понижениями, а иногда озерами. Эти бугры весьма напоминают по растительности торфяные бугры в долине р. Игарки. Но они, по мнению Н.Я. Каца, или целиком минеральные, или содержат лишь отдельные линзы торфа. Л. Шумилова [27] считает бугры в долине р. Норильской торфяными.

Т.Т. Ефремова и С.П. Ефремов [13, 33] исследовали бугристые торфяники у озера Бурового в окрестностях города Кайеркана (69°22' с.ш., 87°44' в.д.), у озера Вологочан вблизи аэропорта Алыкель (69,31° с.ш., 87,31° в.д.), на мысе Блудном на озере Мелком (69,49° с.ш.). Общий признак для всех этих крупнобугристых торфяников — чередование бугров, т.е. возвышенных мерзлых участков торфяного массива с тальми понижениями. Высота бугров варьирует от 1 до 5 м (рис. 7). Мощность их торфяных залежей — 1,0–2,6 м. Под торфом находится мерзлое минеральное основание, возвышающееся над уровнем мочажин. Глубина торфа в мочажинах — от 0,8 до 3,0 м. В растительном покрове бугров довольно часто встречаются лиственница, ель, береза. В травяно-кустарничковом покрове преобладают багульник, карликовая береза, меньше представлены морошка, брусника, голубика.

Термокарст на мерзлых органогенных и рыхлых минеральных породах, связанный с разрушением сегрегационного льда, обуславливает образование провальных форм рельефа. Разновысотные торфяные бугры с минеральным ядром чередуются со вторичными озерами и озерами, имеющими то торфяные, то торфяно-минеральные или минеральные днища [33].

На крупных торфяных миграционных буграх Норильско-Пясинского озерно-болотного бассейна мощность торфяного слоя колеблется от 2,5–5,5 до 7–8 м. В наиболее зрелых тальных мочажинах его мощность находится в пределах 2,0–4,5 м. Массив данных бугров находится под влиянием промышленной деятельности человека, обусловленной функционированием ОАО «ГМК «Норильский никель»» — он интенсивно загрязняется серой в комплексе с тяжелыми металлами [13].

Т.Н. Мельниченко [19] выполнила исследования в бассейнах рек Большой Авам, Эндэ, Иркинга, Хантай-



ка, в районе хребта Хараелах, озера Кутарамакан и пришла к выводу, что антропогенная нагрузка в условиях развития многолетнемерзлых пород значительно нарушила естественное состояние ландшафтов Субарктики, привела к гибели многих компонентов биоты, изменила биохимические процессы в почве и тем самым оказало воздействие на криогенное рельефообразование. Ею показано, что, несмотря на общую тенденцию к деградации многолетнемерзлых пород, на поверхности крупнобугристых торфяников вне зоны техногенного воздействия прослеживается интенсивное морозобойное растрескивание и накопление эпигенетических повторно-жильных льдов. На трассе «мертвой» железной дороги Салехард — Норильск усиление процессов термокарстообразования привело к сильному заболачиванию прилегающей территории, деградации многолетнемерзлых пород, пенеппленизации насыпи дороги на многих участках, развалу и полному уничтожению мостов. Вдоль трассы ЛЭП Светлогорск — Игарка — Норильск в зависимости от техногенных нарушений и соотношения комплекса локальных факторов происходит либо деградация многолетнемерзлых пород, либо аградация. Сведение древесной растительности и нарушение мхово-лишайникового покрова привело к увеличению глубины сезонноталого слоя (СТ) в 1,5–2,0 раза [19].

На территории Норильского промышленного района наблюдается уничтожение почвенно-растительного покрова, гибель живых организмов и в целом деградация природных комплексов вплоть до полного их уничтожения вблизи предприятий. Развитие криоморфоскульптуры с учетом скорости протекания криогенных процессов в условиях потепления климата и активного антропогенного вмешательства будет способствовать продолжению активизации термокарста, термоабразии, термоэрозии, солифлюкции и деградации торфяных бугров [19].

## 2.2. Крупнобугристые торфяники (пальза) Анабарского региона

На территории Анабарского региона (около 70–72° с.ш., 105–115° в.д.) в долинах рек Анабар, Оленек, Ко-

туй, Попигай, Марха, по наблюдениям А.Ю. Деревягина [9], многолетние миграционные (и миграционно-инъекционные) бугры пучения встречаются, но имеют ограниченное распространение и приурочены к заболоченным верховьям ручьев и озерно-болотным котловинам. Их развитие связано с достаточно мощными (до 10–15 м) сильно увлажненными пылеватыми супесчано-суглинистыми отложениями в условиях незначительных гидродинамических напоров. Нередко бугры пучения сгруппированы по 2–3 и ориентированы вдоль проток, имеют овальную в плане форму, размеры от 7–10 до 20–30 м в поперечнике и высоту не более 2–4 м. Они окружены пушицево-осоковым болотом, нередко на их поверхности развит сухостойный «пьяный» лес. Разрез бугров характеризуется наличием суглинистого ядра с объемной льдистостью 50–70%. Частые ледяные прослойки создают тонко- и мелкошпильную слоистую криогенную текстуру. С поверхности бугры перекрыты сильно оторфованной супесью (стр. 211–212 [9]).

В дренированных речных долинах тундровой зоны на склонах Анабарского массива обычно распространены бугристые торфяники. Например, на левобережье реки Фомич в междуречье рек Котуйкан и Рассоха (72°07′ с.ш., 110°33′ в.д.) днища покинутых долин лежат на высоте 500–600 м, т.е. выше границы леса. На таких высотах в современных условиях торфонакопление происходит медленно, и тем не менее высота торфяных бугров достигает 1,6 м. Среди бугров располагаются термокарстовые озера (рис. 8). Иногда встречаются пни и засохшие стволы лиственниц. Последнее указывает на то, что перестройка гидросети повлияла на деградацию лесной растительности в покинутых долинах. Переход горной тундры к редколесью довольно резок. Нередко у верхней границы редколесья наблюдается сухостой лиственниц, упавшие стволы и вывороченные сухие корни (этот район находится на северной границе лесной растительности, урочище Боронго — последний крупный лесной массив по течению р. Попигай, ниже (севернее) встречаются лишь островки лиственничных редколесий). На северном склоне Анабарского массива тундр больше,



Рис. 7. Миграционные многолетнемерзлые торфяные бугры пучения западнее озера Кета и севернее Хантайского водохранилища на плато Путорана юго-восточнее г. Норильска (68°23′ 1,43″ с.ш., 87°22′ 31,69″ в.д.) (фото К. Шишаева, <http://www.geolocation.ws/v/P/38982515/-/en>)





Рис. 8. Бугристое болото у водораздельного озера в долине реки Попигай, близ ручья Балаганах (фото И. Поспелова, <http://taimyrsky.ru/images/2008/popigay.htm>)



Рис. 9. Крупный многолетнемерзлый торфяной бугор на участке Лукунский в котловине озера Томмот (фото И. Поспелова, <http://taimyrsky.ru/images/2010/luk2010.htm>)

чем редколесий. Безлесны даже многие долины (например, в верховьях р. Рассохи —  $71^{\circ}53'$  с.ш.,  $110^{\circ}45'$  в.д.). На юге указанной территории на скелетных щебенчатых почвах склонов высота деревьев достигает 5–10 м, на севере — 2–5 м. На аллювиальных отложениях террас в южной части встречаются деревья высотой 18 м. На востоке леса поражены гарями. На них растут иван-чай, ольховый кустарник и густой подрост лиственницы.

Крупные торфяные бугры встречаются и в пределах участка Лукунский в котловине озера Томмот на Таймыре ( $72^{\circ}49'$  с.ш.) — самого северного лесного участка в мире (район Ары-Мас на несколько минут южнее) (рис. 9).

### 2.3. Крупнобугристые торфяники (пальза) в долине реки Турумакит на южной окраине Норильского плато

Крупные бугры пучения наблюдались Т.Ю. Репкиной, С.Н. Калачевым и М.Н. Прохоровым на южной окраине Норильского плато в долине реки Турумакит ( $68,4^{\circ}$  с.ш.,  $87,7^{\circ}$  в.д.). Они располагаются выше резкого сужения долины реки в ее верховьях — на участке протяженностью около 4 км на обоих берегах. Эти бугры приурочены, как правило, к террасовидной ступени высотой от 10 до 20 м над урезом воды (с



Рис. 10. Группа многолетнемерзлых бугров пучения на левом берегу реки Турумакит. Стрелками показаны бугры высотой 5 м (а) и 7 м (б), описанные в тексте (фото Т.Ю. Репкиной)

абс. отметками 200–260 м), сложенной валунными суглинками предположительно раннесартанского возраста. Группы из нескольких бугров встречаются в осложняющих эту поверхность депрессиях, дренируемых ручьями. Днища депрессий влажные, частично заболоченные, с озерами, покрыты травянистой растительностью с зарослями ивняка, а на более сухих участках — с редкими лиственницами; по берегам озер растет осока. Судя по обнажениям в береговых уступах реки, на днищах депрессий валунные суглинки перекрыты озерно-ледниковыми и озерными сизовато-серыми суглинками (от средних до тяжелых) предположительно позднеплейстоцен-голоценового возраста. Под чехлом рыхлых отложений мощностью не более 10–20 м залегают терригенные породы тунгусской серии, прорванные интрузиями основного состава. Иногда бугры или их группы занимают иную геоморфологическую позицию.

На левом берегу р. Турумакит группа из восьми бугров пучения высотой 5–7 м (рис. 10) приурочена к днищу депрессии, расположенному на высоте 2–5 м над урезом воды в реке (абс. отметках 240–245 м). Эта депрессия ограничена с тыла склоном денудационного останца (из интрузивных пород основного состава), а со стороны реки — валом высотой около 6 м, сложенным валунными суглинками и отделяющим депрессию от поймы р. Турумакит. Этот вал прорезан небольшим ручьем, дренирующим депрессию. На ее заболоченном днище обособляются две уплощенные ступени, разделенные уступом. Центр депрессии занимает поверхность с относительной высотой 2–4 м над урезом воды в реке, тыловую часть — с высотой 5–6 м. В пределах верхней ступени и на склоне депрессии (до высоты 13–14 м над урезом воды) в русле ручья вскрываются плотные сизо-серые суглинки, а в его бортах — залегающий на этих суглинках торф мощностью до 0,3 м, перекрытый темно-серыми легкими-средними суглинками мощностью до 0,5 м, вероятно, склонового генезиса.

Бугры пучения расположены на обеих высотных ступенях как в центральной части депрессии, так и вблизи ее бортов. Последние, как правило, сочленяются со склонами депрессии перемычками, сниженными относительно поверхности бугров на 1–3 м. Поверхность бугров чаще всего покрыта растительностью



(ерником, ягелем, морошкой, шикшей, на бугре в центре депрессии — также единичными покосившимися листовницами). Некоторые бугры обнажены. Их склоны преимущественно задернованы.

Бугор пучения диаметром около 10 м и высотой 5 м (см. рис. 10) расположен на верхней ступени на относительной высоте около 5 м. Его склоны задернованы (покрыты ерником, кустарничками), у северного склона в пойме ручья расположено небольшое озеро, не примыкающее к склону бугра. Вершинная поверхность этого бугра в своей верхней части (диаметром около 3 м) лишена дернины. Лишь в полигональных трещинах сохранились куртинки растительности — ягеля, шикши, морошки. Поверхность разбита на 5–6-гранные полигоны с размерами граней около 1,5 м. Ширина трещин — до 15 см, глубина — 5–10 см. Ближе к склонам трещины углубляются, несут следы обработки струйчатой эрозией. В закопушке вскрыт плотный слоистый торф от темного до буро-коричневого цвета, с неперегнившими остатками растений, мерзлый с глубины 40–45 см.

Вблизи выхода ручья из депрессии расположен бугор диаметром около 20 м и высотой 7 м (рис. 11).

Вершинная поверхность бугра задернована (покрыта ягелем, багульником, кустарничками, мелкими кустиками ерника), слегка кочковата (высота кочек — до 0,2 м), разбита на 5–6-гранные полигоны с длиной граней 2–3 м трещинами глубиной до 10 см и шириной до 20 см. Трещины маркируются более высоким (до 15–20 см) ерником. Склоны бугра внизу покрыты кустарничками, в т.ч. морошкой, и травянистой растительностью, а выше — ерником и кустарничками. Его южный склон соединен со склоном долины перемычкой, сниженной относительно поверхности бугра на 3,0–3,5 м. На поверхности этой перемычки сквозь разрывы дернины видны валунные суглинки. Северный склон бугра, опирающийся на пойму ручья, при паводочных уровнях подрезается водотоком. На склоне наблюдаются крупные (длиной 1,5–2,0 м, шириной до 1,0 м, мощностью 0,6–0,7 м) отседающие блоки торфа, перекрытого дерниной.

В июле 2007 г. в прирвовочной части северного склона бугра была сделана расчистка, вскрывшая под маломощным дерново-растительным слоем три гори-



Рис. 11. Миграционный многолетнемерзлый торфяной бугор пучения высотой 7 м в долине реки Турумаки (фото Т.Ю. Репкиной)

зонта торфа общей мощностью 77 см (рис. 12, 13). Залегание торфа повторяет уклон поверхности бугра. Сверху вниз по разрезу торф становится более светлым, менее разложившимся, возрастает мощность его отдельных прослоев. Так, торф верхнего горизонта (на глубине 3–30 см от поверхности) темно-коричневый, разложившийся, с мощностью прослоев 1–2 см. Ниже (30–50 см) чередуются темно- и светло-коричневые прослои (мощностью по 1–2 см) слаборазложившегося торфа, включающего неперегнившие остатки растений. В верхних горизонтах торфа встречены единичные окатанные (до 3 класса) обломки терригенных пород галечниковой размерности. В подошве пачки (на глубине 50–77 см) залегает очень слабо разложившийся торф с остатками растений светло-буро-коричневого цвета (внизу — светло-палево-коричневого). Мощность его отдельных прослоев составляет 4 см. С глубины 67 см торф мерзлый. Для горизонта 65–67 см Ф.А. Романенко была получена радиоуглеродная дата, равная  $8240 \pm 60$  лет (см. ИГАН-3679 в табл. 2).

В 2008 г. на том же бугре расчистка была продолжена и было вскрыто его ледогрунтовое ядро (см. рис. 13, рис. 14). За год в результате нарушения почвенного и растительного покровов кровля мерзлых пород опустилась в месте расчистки на 35 см. Полностью протаяла подошва торфа, на 25 см — верхняя часть пачки залегающих под ними суглинков. В минеральной части разреза выделяются 4 пачки, накопившиеся в разных фациальных условиях. Залегание изменено процессами пучения. Верхняя пачка (горизонты 5–8 общей мощностью 28 см на глубине 77–105 см) — пере-



Рис. 12. Разрез верхней части 7-метрового многолетнемерзлого торфяного бугра в долине реки Турумаки. Радиоуглеродная дата для контакта торфа и подстилающего его минерального грунта составила 8,2 тыс. лет (фото Т.Ю. Репкиной)

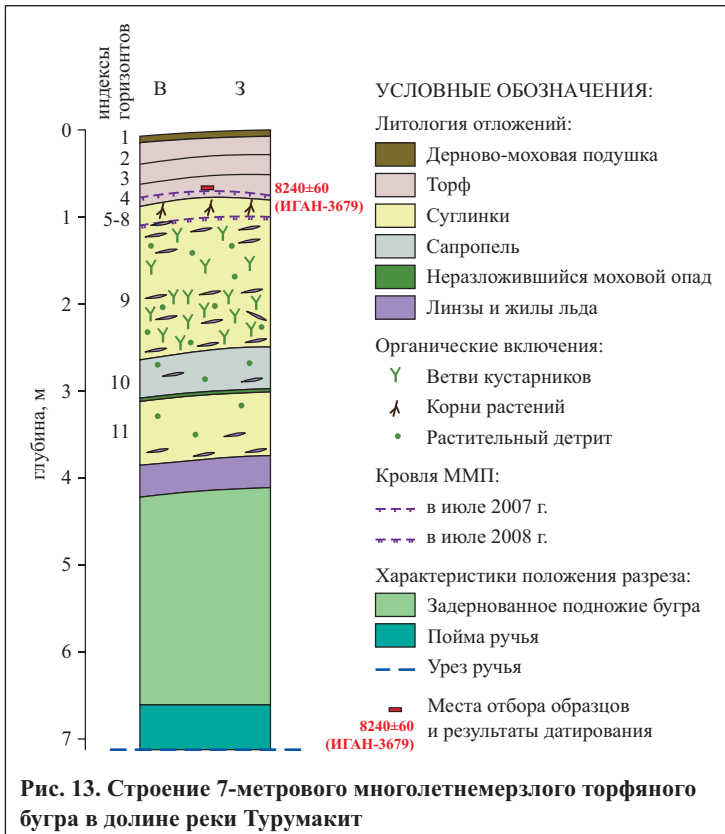


Рис. 13. Строение 7-метрового многолетнемерзлого торфяного бугра в долине реки Турумакит



Рис. 14. Ледогрунтовое ядро в разрезе 7-метрового многолетнемерзлого торфяного бугра в долине реки Турумакит (фото Т.Ю. Репкиной)

слаивающиеся коричневато-темно-серые и зеленовато-желто-серые средние суглинки, содержащие корни растений разной степени сохранности, с мощностью прослоев 3–10 см. В 2007 г. суглинистые отложения находились в мерзлом состоянии. В 2008 г. в верхней части пачки суглинки были немерзлыми, влажными; нижний горизонт мощностью 3 см был мерзлым, малолдыстым. В подошве появляются шпирьы льда толщиной до 1 см, залегающие в плоскости контакта с нижележащей пачкой. Ниже, на глубине 105–248 см (горизонт 9 мощностью 143 см), вскрыты неявно слоистые сизовато-темно-серые средние суглинки с включениями неразложившихся обломков ветвей кустарников, единичными листовыми шишками, берестой. Наибольшая концентрация обломков — в нижних 70 см пачки. Отмечены пятна оглеения, охристые концентрические пятна, часто приуроченные к фрагментам коры кустарников. В оттаявшем состоянии цвет отложений изменяется на шоколадно-коричневый, появляется сильный запах сероводорода. Пачка наклонена на север — синхронно поверхности бугра. Угол падения возрастает сверху вниз от 10 до 30–35°. Суглинки льдистые, с отдельными шпирями и линзами льда мощностью до 2,5–3,0 см. Наибольшая льдистость — в верхней части горизонта и в слое, обогащенном обломками древесины (рис. 15). К последним часто приурочены линзочки льда (рис. 16). Суглинки подстилаются слоистым сапропелем с редкими остатками растительного детрита (горизонт 10 мощностью 50 см на глубине 248–298 см), льдистым, с единичными шпирями льда мощностью до 1 см. Цвет суглинков — от желтовато-палево-серого до палево-коричневого. Общий уклон — около 30° на север. На контакте с подстилающим горизонтом — прослой неразложившегося светлого мха мощностью 1,5–2,0 см. В основании разреза (горизонт 11 вскрытой мощностью 80 см на глубине 298–378 см) залегает суглинок сизовато-серый, неявно слоистый, с единичными включениями тонких белых пленок концентрической формы (вероятно, коры кустарников), льдистый — с субгоризонтальными линзами льда мощностью до 2 см. Суглинки сходны по облику с отложениями, обычными для разреза террасовидной ступени высотой 10–20 м. В подошве горизонта на глубине 378–413 см вскрыт субгоризонтально залегающий серый однородный лед. Основание расчистки на 2,5 м выше подошвы бугра пучения.

Таким образом, в разрезе бугра пучения озерные отложения (суглинки горизонта 11) сменяются после перерыва (вероятно, краткосрочного, маркируемого прослоем неразложившегося мха — подошвой горизонта 10) другими озерными (сапропелем, суглинками горизонтов 5–10), а затем болотными осадками (торфами горизонтов 2–4). Наиболее интенсивное заполнение котловины озера (горизонта 9) происходило в условиях существования на берегах кустарниковой растительности. Образование бугра началось в обстановке обводненного болота (синхронно горизонту 4) не позднее 8240±60 лет назад.

На правом берегу р. Турумакит в вытянутой с северо-запада на юго-восток депрессии с заболоченным дном наблюдались две группы бугров пучения. В ее тыловой части при впадении в нее небольшого



ручья на днище расположена группа из шести крупных бугров пучения (рис. 17). Врез депрессии уменьшается от 10 м в тыловой части до 3–4 м на юго-западе, где она дренируется. Ее днище плоское, по периметру занято ивняком, ближе к центру на нем наблюдаются осоковая растительность и еще не заросшие озера, окаймляющие бугры. Последние имеют правильную округлую форму, иногда слабо вытянуты по простиранию депрессии. Их высота изменяется от 5 м в тыловой части до 3 м на юго-западной стороне. Бугры образуют две группы, разделенные полосой днища с осоковой растительностью шириной несколько метров. Друг от друга бугры отделены узкими понижениями глубиной от 1,0–1,5 до 3–4 м. Наиболее глубокие из них, достигающие уровня воды, маркируются ивняком. Скорее всего, при паводочных уровнях по ним течет вода. Склоны бугров преимущественно задернованы (ерником). На одном из склонов в нижней части присутствует засохшая лиственница. В нижних частях склонов, обращенных к открытой воде или понижениям, покрываемым в паводки водой, наблюдаются торфяные уступы высотой от 1,0–1,5 до 2–3 м, крутые или практически отвесные. Вершинные поверхности бугров куполовидные, их наиболее высокие центральные части, как правило, не задернованы. Здесь обнажается коричневый торф и видны полигональные отдельности с размерами граней около 1 м. Между крупными буграми располагаются более мелкие — высотой около 1,5 м и диаметром 1–2 м. Их склоны и вершинные поверхности задернованы.

На днище ручья, впадающего в депрессию, расположен единственный бугор пучения высотой 3,5–4,0 м и диаметром около 7 м, «причленяющийся» к борту ручья. В уступе, обращенном к ручью, обнажается темно-коричневый слоистый торф видимой мощностью около 1 м. Вершинная поверхность бугра возвышается на 1,5–2,0 м. Она представляет собой слабовыпуклый задернованный купол, разбитый полигональными трещинами на 3–5-гранные полигоны. Размеры граней — около 1,0–1,5 м. Глубина трещин — около 5 см, ширина на вершинной поверхности — 2–3 см, а в тех местах склонов, в которых началось сползание дернины, — до 10 см. Растительность представлена ягелем, багульником, куртинами травы, а в полигональных трещинах и на наиболее высоком центральном полигоне преобладает морошка.

В дистальной части той же депрессии вблизи бровки моренной равнины, обращенной к р. Турумакит, расположена группа из пяти бугров пучения. Днище депрессии влажное, на отдельных его участках стоит вода. Бугры пучения имеют округлую или удлиненную форму (их длинная ось ориентирована под углом к оси депрессии) и высоту от 4–5 до 7 м. Склоны бугров преимущественно задернованы (ерником, кустарничками, редко — по ложбинам — ивой). В нижних частях склонов, обращенных к воде, сформировались уступы высотой 1,5–2,0 м, перекрытые темно-коричневым слоистым торфом. Вершинные поверхности бугров куполообразны. Их задернованность существенно различается. На некоторых буграх растительность (ягель, кустарнички, ерник, единичные лиственницы) не нарушена, на некоторых часть вершинной поверхности лишена растительности и об-



Рис. 15. Линзы и шлиры льда в нижней части пачки озерных суглинков в разрезе 7-метрового многолетнемерзлого торфяного бугра в долине реки Турумакит (фото Т.Ю. Репкиной)



Рис. 16. Линза льда у обломка ветки кустарника в низах пачки озерных суглинков в разрезе 7-метрового многолетнемерзлого торфяного бугра в долине реки Турумакит (фото Т.Ю. Репкиной)



Рис. 17. Растущие крупные многолетнемерзлые торфяные бугры на правобережье р. Турумакит (фото Т.Ю. Репкиной)



Рис. 18. Самый крупный из встреченных бугор пучения высотой более 7 м в долине реки Турумакит (фото Т.Ю. Репкиной)



Рис. 19. Трещины в торфе, перекрывающем миграционный торфяной бугор пучения высотой 7 м в долине реки Турумакит (фото Т.Ю. Репкиной)

нажается буро-коричневый торф, разбитый на полигональные отдельности с размерами граней около 1 м. На обнаженных участках растительность (ягель, шикша, багульник) сохранилась в полигональных трещинах.

На наиболее крупном из бугров высотой около 7 м (рис. 18) вершинная поверхность полностью обнажена, разбита на полигональные отдельности с размерами граней до 3 м (рис. 19). Глубина трещин достигает здесь 10–15 см, а ширина — 15–20 см. В обнажающемся торфе хорошо видны отпрепарированные слойки мощностью около 1 см. В полигональных трещинах сохранилась растительность: ягель, багульник, шикша, куртинки злаков. Понижения между буграми U-образны, заняты ивняком. На дне ложбин и склонах бугров пучения на высоте до 0,5 м над днищем понижений видны следы течения воды.

Единичный бугор пучения встречен на мокром заболоченном днище небольшого ручейка вблизи берегового уступа р. Турумакит. Бугор окружен водой. Его диаметр составляет около 20 м, высота — 3,5–4,0 м.

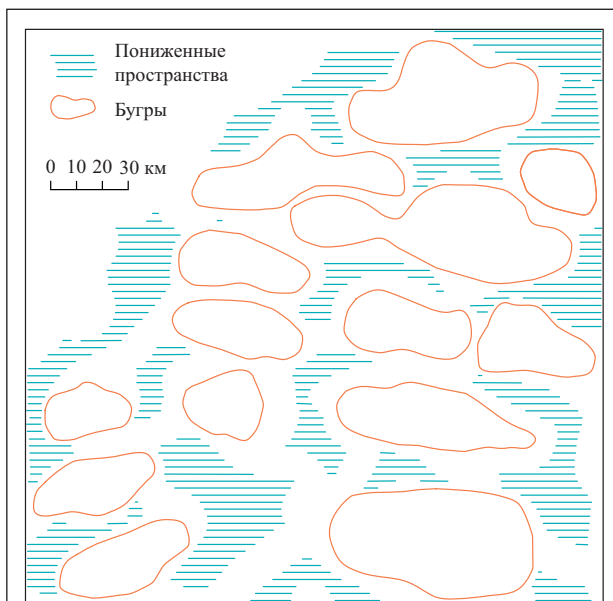


Рис. 20. Разрушающиеся торфяные бугры в пределах заболоченной одряхлевшей «полосы стока» в районе г. Игарки (по [29])

Форма бугра округлая, склоны и вершинная поверхность задернованы (ягелем, ерником, на вершинной поверхности — молодыми кустиками ивы). В нижних частях склонов в полузадернованном уступе виден темно-коричневый торф. Полигональные отдельности не обнаружены. У борта этой ложбины развивается небольшой задернованный бугор пучения высотой около 1,5 м и диаметром до 3 м. Состав растительности на нем тот же, что и на вышеописанном.

О распространении бугров пучения на территории, расположенной между городами Дудинкой и Игаркой и вдоль реки Хантайки, сообщали многие исследователи: Д.А. Драницын [12], Н.И. Кузнецов [18], Н.С. Шевелева и Л.С. Хомичевская [30], хотя некоторые ошибочно относили их к остаточным формам расчленения плоских торфяников (рис. 20).

В.Н. Саксом [24, 25] описаны торфяные бугры, распространенные в границах торфяников на водораздельных плато и террасах Енисея. Высота бугров колеблется от 0,5 до 2–3 м. Сложены они сверху торфом, протаивающим на глубину 0,3–0,5 м. В.Н. Сакс не объясняет способа их образования. Они широко распространены в южной части региона, в частности в дудинской лесотундре.

«Бугристая лайда» (по определению Н.И. Кузнецова [18]) вдоль р. Дудинки представляет хорошо выраженные крупнобугристые торфяники, хотя температуры воздуха и пород здесь весьма низкие (см. табл. 1). Высокие крутобокие бугры здесь имеют высоту до 8 м, диаметр в основании до 20–25 м и чаще вытянутую форму. Более низкие бугры имеют широкое основание и пологие склоны. Понижения между буграми то замкнуты, то образуют извилистые лабиринты. Здесь располагаются или мочажины, нередко с водой, или зарастающие озерки. Торф бугров сложен внизу из остатков мхов (*Drepanocladus*), осок и хвощей, выше — из остатков пушиц и кустарничков. Иногда последние образуют главную массу торфа. В основе такого бугра залегает выпуклое минеральное ядро [12]. В торфе имеются мелкие прослойки льда и береста довольно крупных деревьев. Н.И. Кузнецов [18] также отмечает сложность комплексов «бугристых лайд», т.к. они комбинируются обычно с лайдами других типов.

Вершины бугров — без цветковых растений и покрыты лишь лишайниками и мхами. Среди обычных



в подобных условиях видов растений, таких как *Cladonia*, *C. amaurocrea*, *C. rangiferina*, *C. alpestris*, *Cetraria cucullata*, *Dicranum elongatum*, *Polytrichum strictum*, присутствуют другие виды, например лишайники и мхи *Ceratodon purpureus*, *Pholia nutans*, *Dicranella cerviculata*, наличие которых указывает на сильную деградацию вершин бугров, а может быть, и на пожары [18].

Ниже на буграх появляются багульник, ерник, брусника, морошка, голубика, а мхи и лишайники практически исчезают. Еще ниже кустарнички образуют заросли высотой 40–50 см. Между буграми преобладают влаголюбивые мхи (*Aulacomnium*, *Drepanocladus*) и отчасти сфагновые (*Sphagnum warnstorffii*), а из цветковых обычны багульник, ерник, голубика, а также морошка, подбел, касандра. Крупнобугристые болота вдоль р. Дудинки характеризуются резким преобладанием в растительном покрове бугров [18] — обычных компонентов болотных сообществ средних и северных широт, проникающих здесь далеко в область типичной тундры. Добавим, что бореальные и гипоарктические виды растений доминируют и в мочажинах, и на буграх.

Крупнобугристые болота р. Игарки и р. Дудинки (см. рис. 19) относятся к одному географическому варианту, для которого характерно преобладание (и по числу видов, и по их роли в растительном покрове) бореальных и отчасти гипоарктических видов [18]. Отличие игарских, более южных, болот от дудинских — их более бореальный характер, наличие на буграх деревьев и незначительная роль тундровых лишайников *Cladonia amaurocrea*, *Cetraria cucullata*, *C. nivalis*.

Восточнее крупнобугристые торфяники описаны в районе правых притоков Енисея. Они располагаются в понижениях между горами на склоне коренного берега, обращенного к речным долинам. Бугры здесь округлые или причудливых контуров, имеют плоскую вершину и местами микрорельеф из больших сфагновых подушек. Высота этих бугров составляет 1–3 м, диаметр достигает сотен метров, они сильно преобладают над депрессиями овальной, округлой, реже долинной формы. Ширина депрессий — от 5 до 60–70 м.

На буграх произрастают деревья, главным образом сосна с примесью березы. Сосны встречаются как прямые, высотой 10–12 м, так и искривленные, высотой 2–3 м. Березы имеют высоту 3–4 м. Багульник покрывает 21,8% всей площади бугров, что составляет половину от покрытия кустарничками. Слои торфа параллельны поверхности бугров. Минеральный грунт в основаниях бугров залегает на 2 м выше дна мочажин. Все это показывает, что бугры возникли в результате вспучивания. Торф мочажин глубиной 2,5 м сфагновый и сфагнуво-гипновый, как правило, талый.

Также были описаны болота другого типа — с широкими плоскими буграми высотой 1,5–2,0 м и диаметром до 100 м и мочажинами, занимающими 40–50% всей площади. На буграх произрастают сосна, береза, ель и лиственница. Размер деревьев от 10 до 1 м. На буграх — заросли *Betula exilis* и сплошной покров *Cladonia* и *Cetraria*, сфагновых мхов мало. В депрессиях — эутрофные болота.

Г.С. Константинова [16] исследовала бугры пучения в районе Большого Хантайского порога (см. рис. 18 в работе [6]). Среди бугров пучения ею были вы-

делены торфяные и минеральные. Минеральные бугры пучения встречаются в районе редко и приурочены к окраинным частям озерно-болотных понижений. Высота бугров 5–10 м, форма выпуклая, близкая к круглой, склоны крутые. На склонах деревья нередко наклонены, а стволы их часто имеют саблевидную форму. Бугры сложены мерзлым суглинком, содержащим очень большое количество льда. Молодых минеральных бугров пучения Г.С. Константинова [16] не наблюдала.

Торфяные бугры широко распространены на обширных заболоченных понижениях. Высота бугров достигает 9–10 м, длина варьирует от 5–6 до 50–100 м. Они сложены сверху торфом мощностью от 1–2 до 6–8 м, который подстилается очень льдистыми суглинками или супесями. Бугры имеют различный возраст — встречаются «старые» (почти полностью разрушенные), «средние» и «молодые» (образующиеся в настоящее время).

*Старые торфяные бугры* встречаются только на водоразделах и древних террасах (на I надпойменной террасе р. Хантайки их нет). Очевидно, слагающий их торф образовался до формирования I террасы. Они характеризуются следующими особенностями [16]:

- крупные торфяные бугры часто расчленены на отдельные останцы в результате интенсивного разрушения термокарстовыми процессами как в прошлом, так и в настоящее время (см. рис. 2);
- торф, слагающий бугры, представляет собой однородную темно-коричневую землистую массу; степень разложения этого торфа — более 80%, в ряде случаев зольных веществ в почве становится достаточно для произрастания древесных пород; на вершинах старых бугров часто встречается лиственница;
- северные и западные склоны бугров часто имеют тонкий слой торфа, т.к. в процессе длительного воздействия термокарста торф обвалился в прилегающие понижения (обычно водоемы); эти склоны обрывисты и покрыты большим количеством трещин;
- мощность торфа на вершинах бугров обычно не превышает 1–2 м.

*Торфяные бугры среднего возраста* встречаются на I надпойменной террасе р. Хантайки. Очевидно, их возраст ограничивается возрастом I надпойменной террасы. Такие бугры отличаются от старых следующими особенностями:

- торфяные массивы бугров недостаточно четко расчленены на отдельные бугристые останцы; местами (преимущественно у северных склонов) наблюдается развитие термокарста;
- верхние слои торфа имеют среднюю степень разложения (около 40–50%) и состоят преимущественно из остатков гипновых, травяных и хвощево-гипновых низинных мхов;
- мощность торфа на вершинах бугров достигает 4–5 м;
- деревьев на буграх нет;
- на торфяных массивах иногда наблюдается накопление торфа за счет отмирания сфагновых мхов.

*Молодые и вновь образующиеся торфяные бугры пучения* встречаются на заболоченных пространствах, сверху до глубины 2–5 м сложенных сильно разложившимся торфом. Г.С. Константинова [16] указывает на

то, что молодые бугры могут вырастать до высоты 1,5–2,0 м в течение нескольких сезонов за счет переваивания снега и неравномерного промерзания, но такие бугры существуют недолго вследствие поселения на вершине бугра березы, которая меняет условия снеготранспортировки и приводит к протаиванию и разрушению бугра.

Другим механизмом возникновения молодых бугров Г.С. Константинова [16] считает неравномерное нарастание растительности в процессе заторфовывания болот. Эти бугры формируются чуть дольше, и когда высота бугорков достигает 60–70 см, а диаметр их основания — 3–4 м, под ними формируется многолетнемерзлое ядро мощностью 0,5–1,0 м.

На торфяных массивах и буграх надпойменной террасы в большом количестве встречаются термокарстовые воронки, западины, эрозионно-термокарстовые ложбины и реже озера. Воронки имеют диаметр 3–5 м и глубину от 0,5 до 1,0–1,5 м. Одной из скважин, пробуренных в термокарстовом понижении, был вскрыт мерзлый грунт. Термокарстовые процессы наблюдаются преимущественно у северных и северо-западных склонов, а не у южных, что объясняется тем, что северные склоны сильно заносятся снегом, мало охлаждаются и поэтому на них более благоприятны условия для глубокого протаивания.

На торфяных массивах и буграх Г.С. Константиновой [16] встречены морозобойные трещины, находящиеся на различных стадиях развития. Кроме свежих (с тенденцией к дальнейшему развитию), есть зарастающие и старые трещины, имеющие вид ложбин с пологими заросшими склонами.

Участки бугристых образований южнее р. Хантайки были охарактеризованы сотрудниками Игарской научно-исследовательской мерзлотной станции [20, 23, 29 и др.].

Наблюдения за буграми пучения проводилось А.П. Тыртиковым в 1950 и 1957–1959 гг. в Игарском районе (67°26' с.ш., 86° в.д.), в 1959 г. — в низовьях р. Хантайки (68° с.ш., 87° в.д.) [27, 28]. Этими наблюдениями было установлено, что в ходе развития водно-болотной растительности при зарастании водоемов создаются условия для формирования бугров пучения, которые образуются даже при небольшом поднятии поверхности вследствие локального изменения мощности снежного покрова. С приподнятой поверхности легче сносится снег и сильнее охлаждаются и промерзают грунты, что приводит к значительному пучению.

В зоне северной тайги в 60 км от устья на первой надпойменной террасе р. Хантайки А.П. Тыртиковым [27] описаны бугристые торфяники. Бугры высотой от 1 до 11 м, как правило, безлесны, встречаются лишь отдельные угнетенные лиственницы, ели, кедры и березы. На вершинах и в верхних частях их склонов преобладает багульник, часто встречаются брусника, морошка, водяника, голубика.

В сплошном напочвенном покрове доминируют лишайники. На пологих склонах бугров в напочвенном покрове преобладают лишайники и встречаются сфагновые мхи, в травяно-кустарничковом ярусе преобладают багульник и голубика на лишайниковом покрове, морошка и клюква на подушках сфагновых

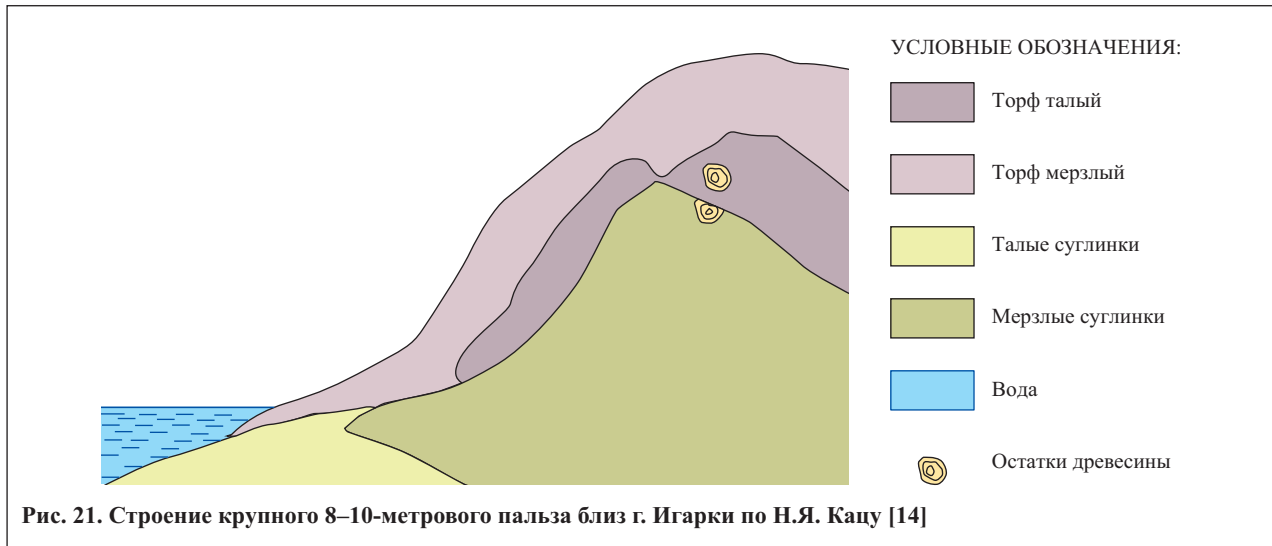
мхов; часто встречаются водяника, карликовая береза, осока, болотный мирт, черника, брусника. Нижние отрезки пологих склонов бугров заняты олиготрофными сфагновыми болотами, в сплошном напочвенном покрове преобладает сфагнум, в травяно-кустарничковом ярусе господствуют морошка и клюква. Основания бугров окаймлены кустарничково-сфагновыми болотами.

Бугры расположены одиночно или группами в понижениях на водоразделах и аллювиальных террасах, за исключением поймы. Вершины крупных бугров нередко выше окружающих участков водоразделов и террас, занятых редкостойными лесами. Бугры чередуются с заболоченными понижениями, в которых обычны водоемы. В растительном покрове понижений встречаются осоковые, осоково-сфагновые, вахтово-сфагновые, осоково-гипновые и другие болота. В межбугровых понижениях, занятых болотами и водоемами, многолетнемерзлые породы отсутствуют.

А.П. Тыртиков [27, 28] также полагал, что рост бугров может происходить и за счет активного нарастания сфагнового торфа на поверхности. Однако результаты датирования верхнего слоя торфа это предположение не подтверждают. Процесс роста бугра, по мнению А.П. Тыртикова, прекращается тогда, когда устанавливается равновесие (в среднегодовом цикле) между приходом тепла к нижнему фронту промерзания из немерзлых слоев грунта и оттоком его вверх. По мере увеличения площади торфяника это равновесие устанавливается позднее и продолжительность периода пучения увеличивается. Разрушение бугров начинается после нарушения растительного и торфяного покрова. Обнаженная темная поверхность торфа нагревается значительно сильнее и протаивает глубже, чем на участках под лишайниками, а образующиеся на поверхности водоемы и более мощный снежный покров ускоряют протаивание. На склонах бугров начинаются обвалы торфа, обнажаются льдонасыщенные минеральные слои, протаивание их ускоряется, и западины быстро расширяются. На поверхности такого бугра образуются мелкие водоемы, имеющие вначале округлую форму, которая по мере их расширения превращается в овальную. Впоследствии эти водоемы прорываются с образованием оврага. Овраг увеличивается до тех пор, пока не достигнет противоположного края бугра. Таким путем многолетнемерзлые бугры могут расчленяться на отдельные останцы, понижения между ними соединяются и нередко образуют общую дренажную сеть.

Как отмечал А.П. Тыртиков [27], процесс роста бугров циклический и после их разрушения может снова начаться формирование многолетнемерзлых торфяников. Таким образом, формирование и деградация многолетнемерзлых бугров обычно протекают рядом и наблюдаются одновременно почти на любом озерно-болотном-торфяном массиве.

Д.А. Драницын [12], работавший на р. Хантайке, указывает, что обычная высота бугров составляет 3–6 м при поперечниках около 10 м. Они обычно сливаются по нескольку вместе, поэтому выделить отдельный бугор и измерить его точно — вещь крайне затруднительная. Весь разрез торфа, по описаниям Д.А. Драницына [12], содержит обильные ледяные



прослойки от целых линз льда до тончайших жилок и отдельных кристалликов льда в порах. Точно так же и в подстилающих синеватых глинах содержится масса чистого льда в виде жил и слоев. Д.А. Драницын [12] сделал приблизительный подсчет и определил, что воды содержится около 20–25% от объема всей мерзлой массы бугра. Близкие соотношения получались у этого автора и при простом суммировании толщины чередующихся слоев льда и минеральной массы на определенном участке.

Шурфы, закладываемые у основания бугра и по его склону, выяснили, что выпуклой формой обладает именно минеральное ядро бугра. Толща торфа сохраняет примерно одинаковую мощность на ровном болоте и на вершине бугра, при разнице высот поверхностей в несколько метров [12].

На отрезке от р. Хантайки до г. Игарки участки крупнобугристых образований прослеживаются с небольшими перерывами на надпойменной террасе полосой от одного до нескольких километров. По описаниям Н.Я. Каца [14], крупные бугры под г. Игаркой достигают рекордной высоты, иногда более 10 м (рис. 21, 22). Интересно, что температуры воздуха и пород здесь весьма низкие (см. табл. 1), что не поддерживает версию об увеличении высоты бугров с севера на юг вследствие смягчения геокриологической ситуации.

В других местах близ г. Игарки они меньше — до 7 м, а в среднем 4 м. Меньше крупные бугры обычно округлых очертаний, большие нередко вытянуты. В районе г. Игарки бугры в основном торфяные, торф покрывает весь бугор или его часть. Мощность торфа варьирует от 0,8 до 2,6 м. В ядре чаще залегают глины или суглинки.

Минеральное ядро высокого бугра составляет основную его массу, на долю же торфяного плаща приходится значительно меньшая часть. Бугры почти полностью сложены осоковыми, гипново- и сфагново-осоковыми торфами, материнские фитоценозы которых занимали пониженные участки болота. Положение торфа, наличие минеральных льдистых пород в основе бугров указывает на миграционный механизм их образования. В толще бугров (как в торфе, так и в минеральном грунте) обычны прослойки, а иногда линзы льда, встречаются пни и минеральные прослойки, видимо интрузивные. Наблюдается и перекрытие торфа минеральным грунтом. Бугры оттаивают летом на глубину от 20 до 67 см, а в среднем на 36 см (среднее из 15 измерений, сделанных в конце июня — начале июля).

На приенисейских торфяных буграх, в отличие от европейских, произрастают деревья. В окрестностях г. Игарки на буграх растут лиственница, ель и береза, а немного южнее также кедр. Рост деревьев здесь сравни-

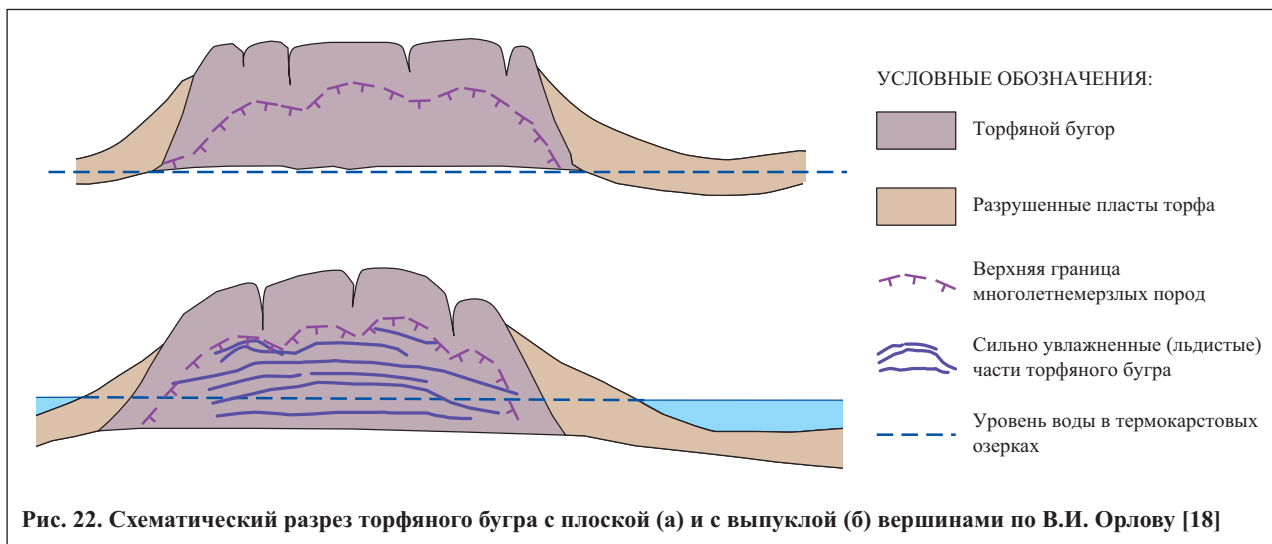






Рис. 23. Сезонный техногенный бугор пучения близ г. Норильска летом 2004 г.: а — 19 июня, б — 7 июля (фото Е. Перминовой)

тельно хороший, часто лишь немного хуже, чем в окружающем лесу. Лиственница достигает высоты 15 м, кедр — 12 м. Деревья растут главным образом по склонам бугров. На вершинах высоких бугров древостой либо очень разреженный, либо вообще отсутствует. В подлеске преобладает багульник высотой в среднем 20–30 см с надпочвенным покровом из лишайников.

Рельеф бугров часто волнистый и, кроме того, обычно мелкокочковатый. Иногда на поверхности бугра образуются мелкие морозные трещины глубиной до 25 см, ограничивающие полигоны диаметром до 25 см, иногда до 1 м.

Мочажины между крупными буграми обычно весьма обширны, иногда площадью несколько тысяч квадратных метров, сильно обводнены и имеют плоскую поверхность. Здесь доминируют главным образом *Carex rostrata* и *Carex limosa*, реже вахта. Сплошной моховой покров здесь чаще сфагновый. Мерзлотные режимы мочажин и бугров резко различаются между собой тем, что торф первым, как правило, оттаивает до дна.

Кроме комплексов крупных бугров и мочажин, в районе г. Игарки встречаются другие комплексы, в которых бугры сочетаются с умеренно влажными межбугровыми пространствами описанного типа.

Третий тип — комплексы крупных бугров и озер. Бугры здесь не выпуклые, а столообразные, обычно не выше 2 м над уровнем озер. Площадь их измеряется нередко тысячами квадратных метров. Они, как обычно, имеют заросли багульника и мелкокочковатый лишайниковый покров. Вершины бугров часто одной высоты.

Крупнобугристые болотные массивы в окрестностях г. Игарки часто имеют сложное строение. Исследования озер с торфяным дном близ г. Игарки показали, что они могут быть полностью окружены буграми. Комплексы крупных бугров и мочажин расположены по периферии массива, образуя иногда полное кольцо, причем первые располагаются в несколько рядов. Часто периферические бугры самые высокие, а по мере приближения к центру их высота снижается.

В заключение остановимся на техногенно инициированном образовании бугров пучения, которые также представляют собой непосредственную опасность для сооружений.

М.Ю. Голубчиков с соавторами [10] описали формирование и распад сезонного инъекционного бугра пуче-

ния, сформировавшегося в толще подруслового талика близ г. Норильска (рис. 23). Этот техногенный бугор пучения сформировался в полости подруслового талика в результате выброса большого количества воды при аварии на водопроводе 18 мая 2004 г. Утечка была ликвидирована в течение одних суток, но значительное количество воды, вероятно, успело профильтроваться в подрусловой талик протекающего в этом месте ручья. Бугор пучения сформировался примерно в 200 м ниже по склону от трубопровода. Между трубопроводом и гидроакколитом на поверхности снежника образовалась наледь, фиксирующая, видимо, место фильтрации воды в подрусловой талик. Диаметр наледи на момент первых наблюдений (17 июня 2004 г.) составлял около 10 м.

На момент первого наблюдения высота бугра составляла около 4 м, он имел вытянутую округлую форму, его длина составляла около 60 м, а ширина — около 28 м. Лед, вскрывавшийся в ядре бугра, был голубой и прозрачный, а в центре он сменялся белым, послойно-намороженным, образовавшимся, видимо, вследствие растрескивания ледяного ядра и замерзания в трещине талых вод. Ширина этого повторно-намороженного льда составляла около 60 см, а длина — около 11 м. Белый лед, заполнявший трещины в прозрачном ледяном ядре, состоял из кристаллов, имеющих примерно 5 см в длину и направленных перпендикулярно стенкам трещины.

К 7 июля бугор сильно деградировал. Лед в центре трещины протаял, с левой стороны образовался грот высотой около 130 см и глубиной примерно 3 м.

Последнее наблюдение за состоянием гидроакколита было произведено 22 июля. Жаркие погодные условия лета 2004 г. привели к его полному разрушению. Бугор пучения практически сравнялся с землей, а в его центре образовалась депрессия глубиной около 1 м [10].

### Закключение

Ранее большинство исследователей считало, что в самых северных районах Средней Сибири пальза не развиваются из-за суровости геоэкологических условий и угнетения вследствие этого процессов миграции влаги. Однако пересмотр прежних материалов исследований бугристых торфяников и новые полученные данные позволяют заключить, что миграционные силь-



нольдистые торфяные бугры пучения в заполярных районах Средней Сибири развиты вплоть до самых северных частей Таймыра — до 75–76° с.ш. Их образование и деградация — весьма опасные процессы, которые необходимо учитывать при освоении и эксплуатации нефтяных, газовых, полиметаллических, алмазных, золотых и прочих месторождений в данном регионе, особенно при сооружении дорог, трасс трубопроводов, аэродромов и других протяженных линейных объектов, в поле влияния которых могут попасть палза. Деградация таких бугров при взаимодействии с сооружениями неизбежно приводит к таянию льда в

их ядрах, просадкам поверхности и, как неизбежное следствие, — к деформациям этих сооружений и нарушению их эксплуатации.

Региональное развитие миграционных бугров пучения на торфяных массивах (палза) значительно шире, чем представлялось ранее, они весьма широко представлены в районах низкотемпературной криолитозоны и динамика бугров, особенно в заполярных районах не всегда подчиняется общеклиматическим тенденциям, интенсивный рост бугров в условиях осушающихся торфяников может происходить и на фоне некоторого потепления климата. ❄

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ары-Мас. Природные условия, флора и растительность самого северного в мире лесного массива. Л.: Наука, 1978. 192 с.
2. Борцов А.В., Лисицына О.М. Геокриологические условия равнинной части Лама-Пясинского района // Материалы Четвертой конференции геокриологов России, г. Москва, 7–9 июня 2011 г. М.: Изд-во МГУ, 2011. Т. 2. С. 22–28.
3. Белорусова Ж.М., Украинцева В.В. Палеогеография позднего плейстоцена и голоцена бассейна р. Новой на Таймыре // Ботанический журнал. 1980. Т. 65. № 3. С. 368–379.
4. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Выпуклые бугры пучения многолетнемерзлых торфяных массивов / под ред. Ю.К. Васильчука. М.: Изд-во МГУ, 2008. 571 с.
5. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Миграционные бугры пучения на Европейском Севере России — южный и северный пределы ареала и современная динамика // Инженерная геология. 2011. № 2. С. 56–72.
6. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Миграционные бугры пучения на севере Западной Сибири: южный и северный пределы ареала и современная динамика // Инженерная геология. 2012. № 3. С. 62–78.
7. ВСН 014-89. Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Охрана окружающей среды-1. ВНИИСТ. 1989. 48 с.
8. Геокриологические опасности / под ред. Э.Д. Ершова и Л.С. Гарагули. М.: КРУК, 2000. 316 с.
9. Геокриология СССР. Средняя Сибирь / под ред. Е.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 414 с.
10. Голубчиков М.Ю., Горлова Л.Г., Перминова Е.С. Исследование сезонного природно-техногенного гидроакколита в Норильском промышленном районе // Материалы Третьей конференции геокриологов России. Т. 2. Ч. 3: Динамическая геокриология. М.: Изд-во МГУ, 2005. С. 72–73.
11. Гребенец В.И., Стрелецкий Д.А., Шмелев Д.Г., Шикломанов Н.И. Сравнительный анализ влияния ландшафтных условий на динамику сезонного протаивания грунтов (на примере исследований по международной программе CALM) // Материалы Четвертой конференции геокриологов России, г. Москва, 7–9 июня 2011 г. М.: Изд-во МГУ, 2011. Т. 2. С. 223–229.
12. Драницин Д.А. О некоторых зональных формах рельефа Крайнего Севера // Почвоведение. 1914. № 4. С. 21–68.
13. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П. Оценка техногенного воздействия на кислотно-щелочные свойства и гумусное состояние крупнобугристого торфяника долины р. Норильская // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2006. № 7. С. 149–159.
14. Карпенко Л.В. Прогноз экологически опасных явлений при затоплении болот Богучанским водохранилищем // География и природные ресурсы. 2009. Вып. 2. С. 33–37.
15. Константинова Г.С. О криогенных образованиях в районе Большого Хантайского порога // Многолетнемерзлые горные породы различных районов СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 112–120.
16. Кузнецов Н.И. «Лайды» в низовьях р. Енисей, их строение, образование и место в классификационной схеме болотно-лесных образований // Труды полярной комиссии АН СССР. Вып. 12. Л.: Изд-во АН СССР, 1932. С. 5–40.
17. Мельниченко Т.Н. Криогенные процессы в структуре и динамике ландшафтов северо-запада Среднесибирского плоскогорья: автореф. дис. ... канд. географ. наук. Барнаул, 2004. 25 с.
18. Орлов В.И. Некоторые особенности бугристых торфяников в районе Игарки // Известия ВГО. 1962. Т. 94. № 1. С. 75–79.
19. Преис Ю.И. Инверсионные грядово-мочажинные комплексы низинных болот криолитозоны Средней Сибири // Известия Томского политехнического университета. 2004. Т. 307. № 4. С. 64–70.
20. Сакс В.Н. Некоторые данные о вечной мерзлоте в низовьях Енисея // Проблемы Арктики. 1940. № 1. С. 62–79.
21. Сакс В.Н. К стратиграфии четвертичных отложений Таймырской депрессии // Доклады АН СССР. 1945. Т. 46. № 6. С. 262–265.
22. Стариков Э.В., Жидовленко В.А. Радиоуглеродные датировки института леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР. Сообщение 2 // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 1981. Вып. 51. С. 62, 182–184, 191, 192.
23. Тьртиков А.П. Формирование и развитие крупнобугристых торфяников в северной тайге Западной Сибири // Мерзлотные исследования. 1966. Вып. 6. С. 144–154.
24. Тьртиков А.П. Лес на северном пределе в Азии. М.: КМК, 1995. 144 с.
25. Хомичевская Л.А. Об остаточном жильно-полигональном характере бугристых торфяников в Игарском районе // Очерки региональной и исторической криологии. 1962. Т. 19. С. 80–88.
26. Швелева Н.С., Хомичевская Л.С. Геокриологические условия Енисейского севера. М.: Наука, 1967.
27. Шумилова Л.В. О бугристых торфяниках южной части Туруханского края // Известия Томского отделения Русского ботанического общества. 1931. Т. 3. С. 1–13.
28. Vasilchuk Yu.K., Vasilchuk A.C. The <sup>14</sup>C age of palsas in Northern Eurasia // Radiocarbon. 1998. V. 40. № 2. P. 895–904.