

# МИКРОРЕЛЬЕФ И МОРФОЛОГИЯ АККУМУЛЯТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ОБЛАСТИ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТА

А. А. Урбан

*Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН*

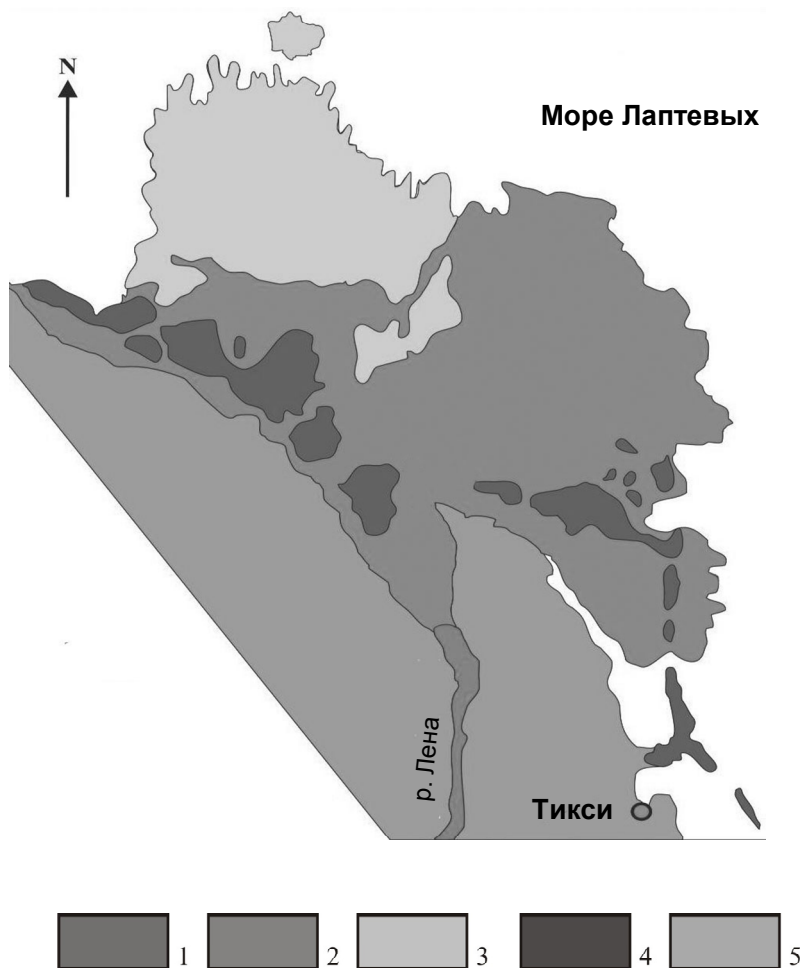
## Введение

Устьевая область р. Лена – обширная низменность с отчетливой ступенчатой поверхностью. В ее пределах выделяется несколько уровней аккумуляции. Каждый из них характеризуется своим составом и мощностью мерзлых толщ четвертичных отложений, а также их льдистостью, генезисом и возрастом. Все это наряду с температурным режимом мерзлых толщ определяет заметные различия в характере процессов формирования рельефа на отдельных уровнях рассматриваемой низменности.

Роль криогенных рельефообразующих процессов в преобразовании ландшафтов устьевой области р. Лена весьма велика. К таким процессам здесь относится, в частности, морозное пучение грунта. Формы морозного пучения – булгуниахи (пинго) – особенно часто встречаются на западе этой области. Приурочены они в основном к поверхности третьей надпойменной террасы. В пределах дельты р. Лена изучение процесса морозного пучения проводилось на о. Курунгнах-Сисе.

## Природные условия

Площадь дельты р. Лена составляет около 29 тыс. км<sup>2</sup>. Эта обширная территория подразделяется на относительно низкую восточную часть, где широко распространены отложения голоцена, и более высокую западную часть, в которой значительная площадь слагается породами плейстоцена [8] (рис. 1).



**Рис. 1. Геоморфологическая схема дельты р. Лена:**

1 – долины р. Лена; 2 – первая надпойменная терраса (абс. отм. 1–12 м); 3 – вторая надпойменная терраса (абс. отм. 20–25 м); 4 – третья надпойменная терраса (абс. отм. 30–55 м); 5 – низкоромье

В западной части выделяются юго-западный и северо-западный районы этой дельты. Первый представлен древними островами-останцами с высотными отметками более 30 м. Строение их определяется наличием льдистых толщ супесей и суглинков, включающих многочисленные и достаточно протяженные по вертикали тела повторно-жильного льда (ледяные жилы). Подобные толщи одни исследователи называют «едомными» отложениями, другие – ледовым комплексом.

Менее широко распространены породы ледового комплекса в северо-западном районе дельты р. Лена. Там преобладают острова, которые сложены преимущественно песками и характеризуются альтитудами поверхности менее 30 м [1].

Такая особенность дельты р. Лена, как наличие ледового комплекса, определяется климатическими условиями. По имеющимся данным, среднегодовая температура воздуха в дельте р. Лена составляет  $-12,7$  °С [7]. Средние температуры января  $-30,5$ , июля  $7,7$  °С. Абсолютный максимум температур достигает  $-32,7$  °С, абсолютный минимум  $-53$  °С. Отрицательная средняя суточная температура воздуха держится до 9 месяцев в году.

В этой области за год выпадает от 200 до 250 мм осадков. На летние месяцы приходится более половины годовой нормы (только за июль – август – более 100 мм). Устойчивый снежный покров образуется во второй половине сентября и сохраняется до середины июня. В долинах и на дне крупных оврагов снежники исчезают лишь в июле – августе, а некоторые сохраняются в течение всего лета [2, 3, 5, 7, 8].

Многолетнемерзлые породы характеризуются мощностью от 50 м в районе Оленекской протоки до 650 м в районе п. Тикси [2]. С приближением к береговой линии моря мощность этих пород существенно уменьшается. Под крупными озерами и протоками формируются как замкнутые, так и сквозные талики.

Температура ММП в устьевой области р. Лена – одна из самых низких в сравнении с другими устьевыми участками Арктического бассейна. На подошве слоя годовых теплооборотов температура ММП варьирует от  $-8$  до  $-13$  °С. Мощность этого слоя в разных ландшафтных условиях составляет от 10 до 20 м.

Ледовый комплекс – сложно стратифицированная толща позднего плейстоцена, придает специфику разрезам третьей надпойменной террасы. Мощность этих льдистых супесей и суглинков достигает нескольких десятков метров. Строение их осложняется линзами разнородных песков и торфянистого материала. Местами имеются отдельные включения гравия и гальки. Нижняя часть мощных ледяных жил проникает в подстилающие отложения на глубину до 10 м. Подстилают ледовый комплекс песчаные слоистые и часто мощные (до 7 м) торфянистые горизонты.

Ледовый комплекс иногда перекрывается линзами современных озерных, болотных и золых осадков и пойменными отложениями [1].

Параметры сезонного протаивания на третьей надпойменной террасе существенно изменяются в зависимости от степени увлажненности, характера растительного покрова и геоморфологического положения грунта. Так, в пределах заболоченных и торфянистых участков наблюдаемые в начале сентября мощности СТС составляют 0,2–0,4 м.

В зоне дренированной и незадернованной поверхности СТС имеет толщину 0,5–0,7 м. Местами вблизи бровки и на склонах террас мощность песчаного СТС достигает 1 м. В среднем же глубина сезонного оттаивания грунтов варьирует здесь от 0,4 до 0,6 м.

### Материалы и методы

Изучение морозного пучения на о. Курунгнах-Сисе проводилось на дне термокарстовой депрессии типа аласа. Эта депрессия, представляющая собой незамкнутую сточную блюдцеобразную форму термического карста, расположена в 3 км от береговой линии острова и характеризуется неровным дном. Здесь была проведена мерзлотная съемка, включающая в себя ландшафтное подразделение местности с описанием характера ее микрорельефа, степени его увлажнения и типа растительности, а также с GPS-привязкой и морфологическим описанием многолетнего бугра пучения.

Для суждения о составе и строении пород, слагающих исследуемую территорию, проводилось разведочное бурение на вершинах и подножии бугра до глубины 4 м. В ходе бурения были отобраны грунтовые пробы для уточнения состава испытывающих пучение отложений и определения их физико-механических свойств лабораторными методами. После окончания бурения каждая разведочная скважина была оборудована логгерами, автоматическими датчиками для измерения температуры грунтов в годовом цикле.

Для построения плана местности была проведена топографическая съемка аласа и бугра (булгуньях, пинго). Кроме того, были выполнены маршрутные наблюдения с морфологическим и мерзлотным описанием других подобных бугров в рельефе третьей надпойменной террасы на о. Курунгнах-Сисе.

### Результаты исследований

Активное развитие процессов морозного пучения определяется особенностями рельефа третьей террасы. Наличие на ней многочисленных термокарстовых депрессий (аласов), в которых промерзают гидрогенные талики, обуславливает здесь формирование отдельных бугров морозного пучения – булгуньяхов, или пинго (рис. 2).

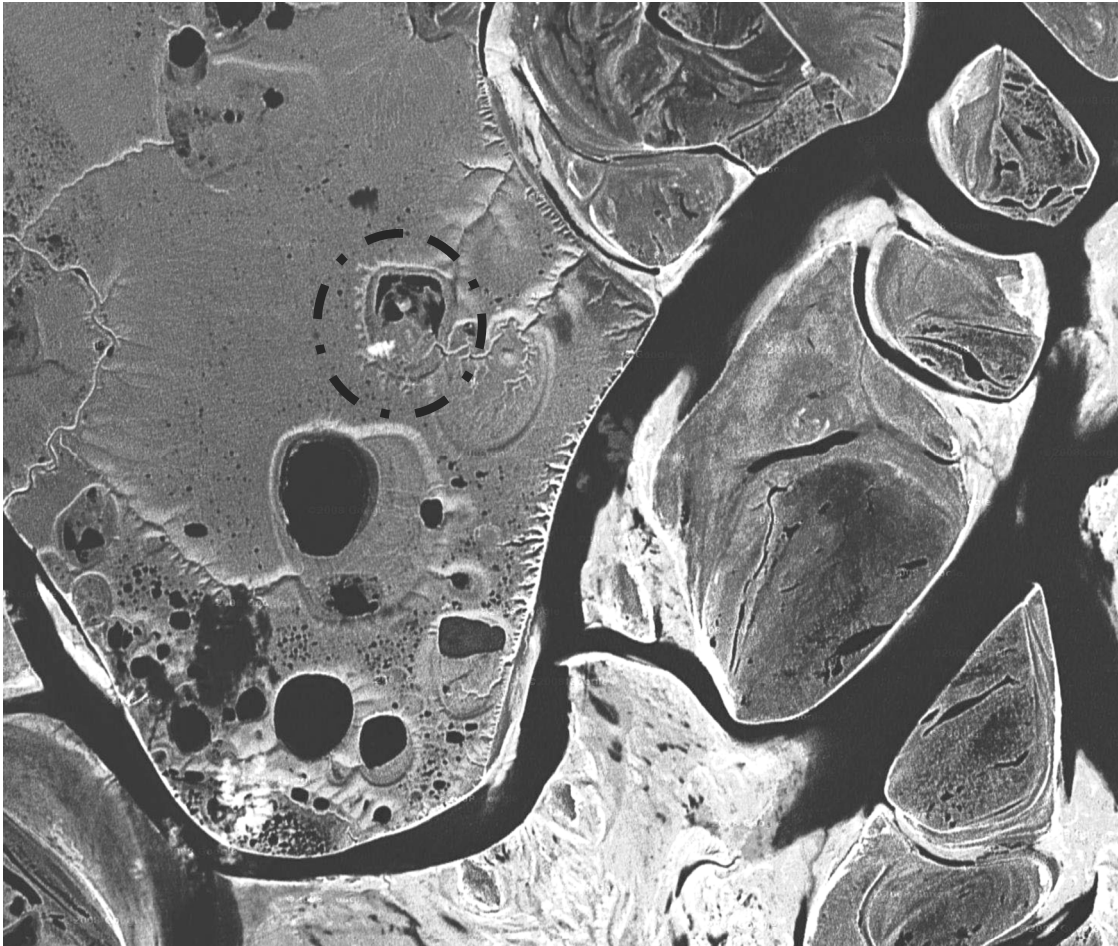



Рис. 2. Схема расположения участка работ на о. Курунгнах-Сисе

 участок работ

Располагаются булгуньяхи на дне аласных котловин. На межаласных повышенных пространствах подобные бугры не встречаются. Об этом убедительно свидетельствуют данные проведенных маршрутных наблюдений и результаты предпринятого детального изучения одного из аласов.

Этот алас имеет округлую форму в плане (диаметр 800 м) и представляет собой плоскодонную котловину, ограниченную пологими и средней крутизны склонами. Они имеют относительную высоту до 30 м, что соизмеримо с мощностью пород ледового комплекса, в который врезана рассматриваемая депрессия.

Восточная часть дна исследуемой котловины отличается полигональным рельефом. Бугор морозного пучения (булгуньях) среди полигональной поверхности расположен в пониженной части дна аласа и окружен озерами. Глубина озер в среднем составляет 2–3 м. С северной и южной сторон булгуньях подмывается озерными водами.

Поверхность дна аласа, не занятая озерами, во многих местах заболочена. Степень ее увлажнения зависит от количества выпавших осадков. Сток поверхностных вод из аласа осуществляется в его южной части.

Отчетливо выраженный в рельефе аласного дна бугор пучения имеет обширный пьедестал – полосу переменной ширины. В этой полосе местность полого поднимается к булгунняху, а с удалением от него плавно сменяется заболоченным дном аласа. Диаметр пьедестала в плане около 100 м. Пьедестал слабо приподнят (0,5–1 м) над дном аласа, имеет небольшие уклоны и примыкает к более крутым склонам булгунняха. Высота бугра составляет до 30 м (рис. 3).

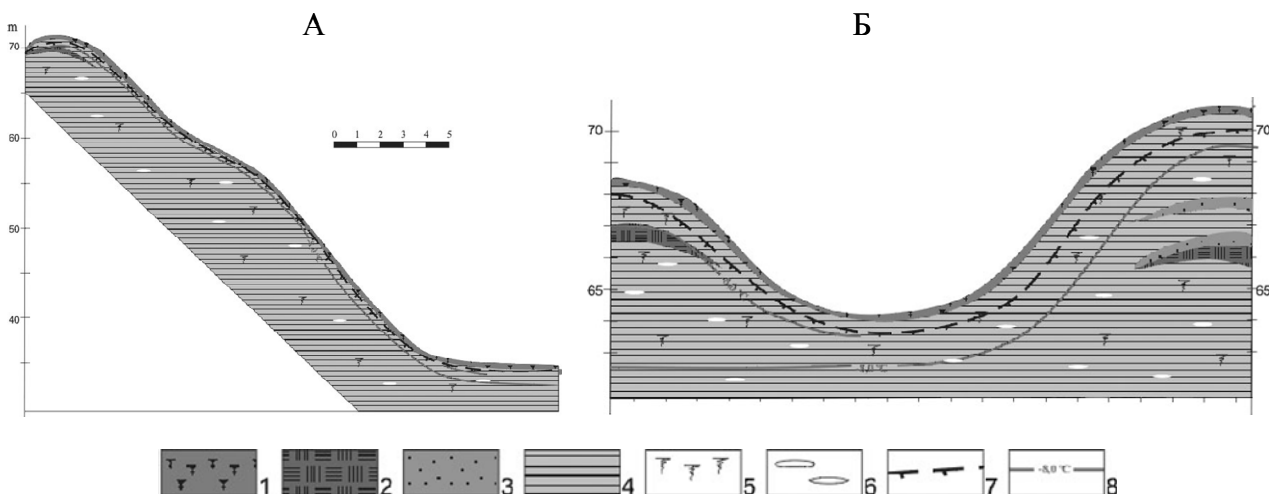


**Рис. 3. Панорамный вид булгунняха, расположенного в аласе, о. Курунгнах-Сисе, дельта р. Лена (фото А. А. Урбан)**

Крутые склоны бугра отличаются ступенчатым микрорельефом. Северо-западный склон осложнен просадками в виде ям небольшой глубины. С южной стороны, где породы бугра отчасти размыты, на их склоне отмечены деформации, связанные с оплыванием и осыпанием грунта.

Булгуннях имеет две вершины. Одна представляет собой плоскую поверхность до 7 м шириной. Другая вершина имеет более крутые склоны и узкую (до 2 м) площадку.

Бурением установлено, что грунты в разрезах вершин и склона бугра имеют сходное строение. Как показано, эти разрезы в верхней части (до глубины 3,5–4 м) представлены преимущественно мерзлыми супесями. Их пачка с прослоями песков и растительными остатками содержит линзы льда. Подстиляется она отложениями мерзлых песков с прослоями торфа. Геологический разрез буровой скважины, расположенной на подножии пинго, отличается отсутствием песчаных прослоев (рис. 4).



**Рис. 4. Мерзлотно-геологические разрезы по профилям:**

А – с вершины пинго до его подножия, Б – с вершины до вершины; 1 – почвенно-растительный слой, 2 – торф, 3 – песок, 4 – супесь, 5 – включения растительных остатков, 6 – линзы льда, 7 – верхняя граница многолетнемерзлых пород, 8 – изотерма

По данным, полученным в ходе измерения температуры в годовом цикле, грунт вершин булгунняха испытывает более сильное охлаждение, чем грунт его пьедестала.

## Обсуждение

Общая причина образования булгуннях – промерзание подозерных таликов вследствие быстрого осушения (спуска) термокарстовых озер.

Рост булгуннях – весьма сложный и многостадийный процесс, протекающий в течение не одного сезона и приводящий к перестройке поверхности ландшафта аласного дна. При образовании булгуннях поверхность вокруг него долго остается пониженным участком дна котловины, и здесь дольше сохраняются талики, из которых отжимается грунтовая вода при их промерзании. Возможно, это создает благоприятные условия для развития бугра пучения и для его дополнительного роста в целом.

В строении бугра морозного пучения (булгуннях) принимают участие выполняющие термокарстовую котловину озерные отложения, представленные супесями и суглинками. Их слои в разрезе вершин такого бугра залегают в той же последовательности, что и в разрезе пьедестала бугра.

Разрез вершин булгуннях отличается тем, что в нем слои мерзлого грунта выгнуты кверху и приподняты, образуя куполообразное вздутие. Эти слои увеличены в мощности за счет обильных включений льда. В ядре булгуннях слои грунта имеют повышенную по сравнению с аласным грунтом льдистость. Кроме льда-цемента, испытавшие морозное пучение слои в булгуннях содержат многочисленные включения (тонкие прожилки, линзы и отдельные зерна) сегрегационного льда и линзы инъекционного льда.

Распределение влажности в отложениях по разрезам закономерно. Влажность увеличивается с глубиной и достигает максимума на уровне ледяного ядра. Глубже ядра влажность мерзлого грунта убывает, и постепенно приближается к типичному значению для менее затронутого пучением аласного грунта [6].

На вершине пинго на глубине 2,0–2,5 м наблюдаются минимальные значения, у подножия на той же глубине эти значения максимальные по разрезу. Характер распределения также различен. На вершине влажность увеличивается с глубиной, у подножия – уменьшается (рис. 5). Судя по полученным данным, можно предположить, что ледяное ядро расположено в теле пинго.

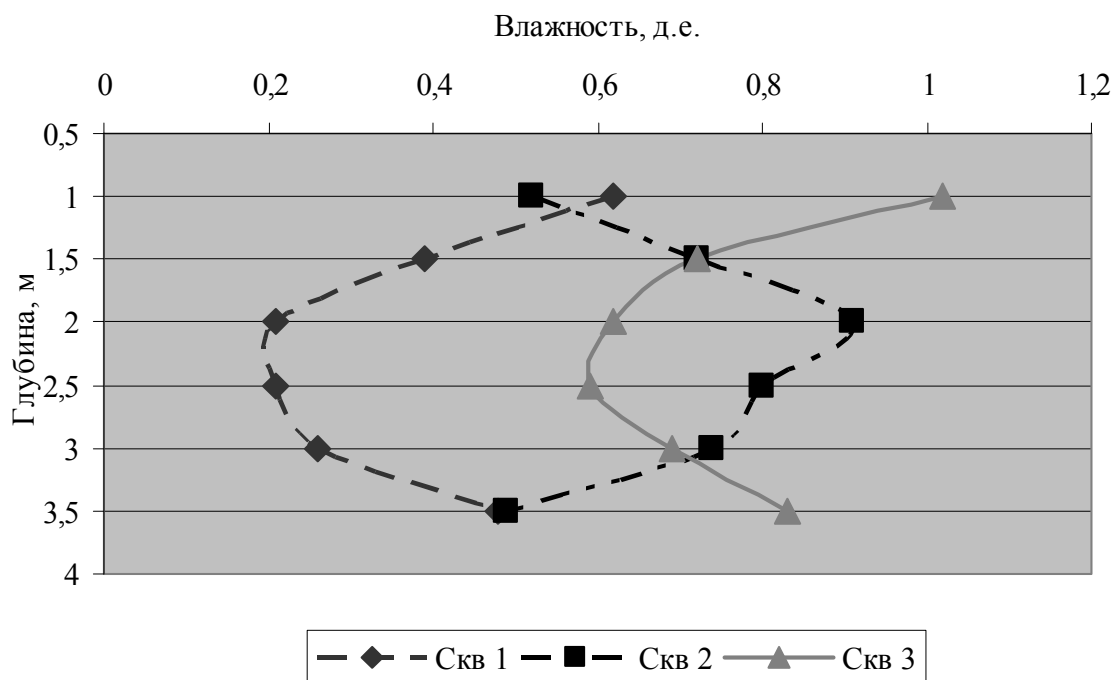


Рис. 5. Распределение влажности по глубине

Наличие двух вершин говорит о начавшемся разрушении булгуннях. Изначально сформировавшийся бугор имел одну вершину, где образовавшаяся трещина при попадании воды увеличивалась и расширялась и в конечном итоге превратилась во впадину, разделяющую вершины.

Образование булгуннях закономерно входит в цикл развития аласа. Однако эти формы наблюдаются не в каждом аласе. Алас без булгуннях можно относить к формам, где бугор пучения либо еще не успел возникнуть, либо полностью разрушился, либо не мог и не может возникнуть.

В. Н. Сакс [4] указывает следующие случаи, когда булгуннях при промерзании подозерного талика не образуется:

1. Промерзающий талик соединяется с другими смежными таликами;
2. Подаласный талик промерзает раньше, чем начнется промерзание дна сохранившегося остатка озера;
3. Избыточный объем талика прорывает, а не выпучивает мерзлую кровлю и изливается на поверхность.

К этому можно добавить и другие случаи, а именно:

4. Промерзание талика идет столь быстро, что в промерзающий грунт не успевают подтягиваться вода со стороны, а развивающееся давление недостаточно для того, чтобы деформировать мерзлую кровлю значительной мощности;
5. Пучение происходит относительно равномерно и охватывает все дно котловины;
6. Объем талика недостаточен для начала формирования булгуннях. В небольших котловинах пинго почти никогда не встречаются. Также маловероятно образование пинго при небольшой мощности талика и кратковременном существовании аласного озера;
7. Влажность талика невысокая и прирост объема при промерзании его распределяется в свободных порах, не вызывая значительного пучения;
8. Булгуннях отсутствуют, если местность сложена песками и нет перекрывающих их супесчано-суглинистые грунты или торфяников.

Правда, большинство этих случаев, если не все они, пока что не подтверждены данными соответствующих разрезов аласных (термокарстовых) котловин.

### Заключение

Проведенные исследования подтверждают уже имеющиеся данные по литологическим, гидрологическим, мерзлотным особенностям, а также механизму формирования, собранные за многие годы изучения процесса морозного пучения.

В дельте р. Лена формирование бугров морозного пучения приурочено к аласным котловинам третьей надпойменной террасы, где после стока озер происходит быстрое промерзание подаласного талика. Как уже было отмечено, образование булгуннях входит в цикл развития аласов, но не является его обязательным компонентом. Отложения, слагающие булгуннях, имеют тот же состав, что и дно аласа, только их мощность увеличена за счет включений и прослоев льда. Генезис этих отложений озерно-болотный. Их развитие связано с избыточным увлажнением, в данном случае возникающем при наличии водоупорных горизонтов (многолетнемерзлые породы) и накоплении и застаивании поверхностных вод.

Соответственно закономерно распределяется и влажность по разрезу. Полученные данные позволяют предположить, что ледяное ядро находится в теле бугра. Кроме этого, температурные измерения показывают, что наибольшее охлаждение испытывают вершины булгуннях.

Возможно, что продолжающиеся исследования на этой территории и уже полученные данные помогут еще лучше понять механизм формирования бугров морозного пучения не только для конкретных условий, но и в целом, а также проследить их динамику во времени.

### Литература

1. Григорьев М. Н. Криоморфогенез устьевой области р. Лены. Якутск, 1993. 176 с.
2. Григорьев Н. Ф. Многолетнемерзлые породы приморской зоны Якутии. М., 1966. 180 с.
3. Залогин Б. С., Родионов Н. А. Устьевые области рек СССР. М., 1969. 312 с.
4. Сакс В. Н. Некоторые данные о вечной мерзлоте в низовьях Енисея // Проблемы Арктики. 1940. № 1.
5. Самойлов И. В. Устья рек. М., 1952. 527 с.
6. Соловьев П. А. Исследования вечной мерзлоты в Якутской республике. Якутск, 1952. Вып. 3.
7. Справочник по климату СССР. Якутская АССР. Л., 1967. Вып. 24, ч. III. 270 с.
8. Якутия. Природные условия и естественные ресурсы СССР. М., 1965. 468 с.