

УДК 911.2

**СОСТОЯНИЕ БУГРОВ ПУЧЕНИЯ В РАЙОНЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА НАДЫМ – ПУНГА**

**STATE OF FROST MOUNDS IN THE DISTRICT OF OPERATION OF THE GAS PIPELINE  
NADYM – PUNGA**

*Дарья Евгеньевна Петрова, бакалавр географии, кафедра физической географии и экологии, Тюменский государственный университет, Тюмень, Российская Федерация  
petrovadariaa@yandex.ru*

*Артём Сергеевич Якимов, ведущий научный сотрудник, кандидат географических наук, Институт криосферы Земли ФИЦ Тюменского научного центра СО РАН, Тюмень, Российская Федерация  
yakimov\_artem@mail.ru*

**Dar'ya E. PETROVA**

Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation  
petrovadariaa@yandex.ru

**Artem S. YAKIMOV**

Earth Cryosphere Institute, FRC Tyumen scientific center SB RAS, Tyumen, Russian Federation  
yakimov\_artem@mail.ru

**Аннотация**

Современная стратегия экономического развития Российской Федерации во многом связана с добычей, транспортировкой и переработкой минерального сырья. Особое значение приобретает топливно-энергетические ресурсы. Основные крупные и крупнейшие месторождения природного газа, нефти расположены в зоне распространения многолетнемерзлых пород, что требует специфических технологий работы на этих территориях. В тоже время, необходимо многолетние наблюдения за состоянием отдельных компонентов криолитозоны, так и в целом за ней. Большинство криогенных процессов и явлений негативно влияют на состояние жилых и технических сооружений, находящихся на её территории. Одним из таких процессов является пучение грунтов, который представляет серьёзную проблему, а в ряде случаев опасность при строительстве и эксплуатации инженерно-технических сооружений в криолитозоне. Модельным районом исследования выбран участок водораздела в 30 км к юго-востоку от г. Надым, где в течение полевого сезона 2016 года проведены исследования строения двух бугров пучения. Они расположены на одной мезоформе рельефа – на водоразделе. Первый бугор пучения сложен суглинком и имеет мощный торфяной горизонт, в отличие от него второй бугор пучения состоит преимущественно из ожелезненного песка и супеси. Различие гранулометрического состава исследованных бугров объясняется неоднородностью литологического состава территории, которая является следствием сложной истории развития данного района. Бугры пучения хорошо дешифрируются на космических снимках, что позволяет выделять их дистанционно в труднодоступных районах эксплуатации линейных объектов транспорта углеводородного сырья.

**Abstract**

The current strategy for the economic development of the Russian Federation is largely related to extraction, transportation and processing of mineral raw materials. The fuel and energy resources are particularly important. The main big and largest deposits of natural gas and oil are located in the zone of distribution of permafrost, which requires specific technologies for working in these areas.

At the same time, there are needed long-term observations of the state of individual components of the cryolithozone, and generally beyond it. Most cryogenic processes and phenomena negatively affect the condition of residential and technical facilities located on its territory. One of these processes is frost mounds, which present a serious problem, and in some cases a danger in the construction and operation of engineering structures in the permafrost zone. The model area of the study selected a watershed section 30 km south-east of the city of Nadym, where it was studied the structure of two frost mounds during the field season in 2016.

They are located on one mesoform of the relief - on the watershed. The first frost mound is composed of loam and has a powerful peat horizon, in contrast to which the second frost mound consists mainly of ferruginous sand and sandy loam. The difference in the granulometric composition of investigated mounds is due to the heterogeneity of the lithological composition of the territory, which is a consequence of the complex history of the development of this region. Frost mounds are well decoded in space images which allow them to be allocated remotely in remote areas of operation of linear hydrocarbon transportation facilities.

**Ключевые слова:** газопровод, многолетняя мерзлота, многолетнемерзлые породы, многолетнее пучение, бугры пучения, дистанционное зондирование, северная тайга, Западная Сибирь, стратиграфический разрез, торф

**Keywords:** gas pipeline, permafrost, perennial heaving, heaving hillocks, remote sensing, northern taiga, Western Siberia, stratigraphic section, peat

Территория подзоны северной тайги Западной Сибири находится в зоне «островного» распространения многолетнемерзлых пород. Наряду с изученными территориями привлекают внимание слабо изученные районы, где максимально выражено именно явление морозного пучения. В связи с освоением северных территорий становится актуальной проблема мерзлых грунтов и процессов пучения в них, а также их воздействия на инженерные сооружения. Пучение многолетнемерзлых пород – один из распространённых криогенных процессов. Одним из его проявлений является образование специфических форм рельефа – бугров и гряд пучения. Следует отметить, что проявление процессов пучения грунта представляет серьёзную проблему, а в ряде случаев опасность при строительстве и эксплуатации инженерно-технических сооружений (нефте- и газопроводы, автомобильные и железные дороги, взлетно-посадочные полосы аэродромов и др.) в криолитозоне.

Для решения вопроса по защите газопроводов от сил морозного пучения грунтов при инженерно-геологических изысканиях наряду с определением физико-механических характеристик грунтов необходимо устанавливать их предрасположенность к пучению и условия, предопределяющие характер и величину этих сил. Только в таком случае может быть найдено правильное решение, обеспечивающее устойчивость газопроводов, закладываемых в таких грунтах. Кроме того при выполнении обычных требований, предъявляемых к изысканиям, приходится изучать условия, при которых наблюдается пучение грунтов строительной площадки, основные факторы, влияющие на величину и характер его проявления, а также возможные приемы по снижению вредного воздействия сил пучения грунта на газопроводы.

Целью работы является исследование особенностей морозного пучения и связанных с ним форм рельефа в районе магистрального газопровода Надым-Пунга северотаёжной подзоны Западной Сибири.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- 1) Установить степень изученности проблемы (анализ литературы);
- 2) Провести анализ природных условий, влияющих на развитие процессов морозного пучения;
- 3) Выявить особенности формирования бугров пучения, их различные варианты развития;
- 4) Дать прогноз развития пучения в естественных и антропогенно нарушенных условиях.

Объектом исследования являются бугры пучения. Бугры пучения – выпуклые формы криогенного рельефа, возникающие в области многолетнемерзлых и сезонномерзлых пород, в результате неравномерного сегрегационного, инъекционного льдообразования (или их сочетания) в горных породах.

Предмет исследования – процесс морозного пучения, суть которого заключается в увеличении объема влажного грунта при замерзании в нем воды, приводящего к подъему слоя промерзающего грунта [1].

В работе использовались полевые методы (морфологическое описание почвенного профиля, описание торфа по методу Л. фон Поста, описание почвенно-растительного покрова вдоль почвенно-геоморфологических профилей) и группа дистанционных методов (дешифрирование космоснимков).

Надымский стационарный участок, на котором проводилось исследование, расположен в 30 км к юго-востоку от г. Надым в центре Надымского административного района Ямало-Ненецкого автономного округа. Создание коридора трубопровода системы «Надым–Пунга» оказывает прямое и косвенное воздействие на прилегающие территории. Освоение таёжной зоны сопровождается вырубками лесов, созданием транспортных путей и трасс трубопроводов, что в совокупности приводит к уничтожению растительного покрова, загрязнению почв, развитию заболачивания. Во время активного освоения северных районов, при благоприятных для пучения грунтов физико-географических условиях, важно понимать механизм образования бугров морозного пучения, чтобы заранее спрогнозировать места их возможного образования и принять меры по предотвращению этого процесса [2].

В течение полевого сезона 2016 года было исследовано два бугра пучения на территории Надымского стационара, в районе магистрального газопровода Надым-Пунга, которые приурочены к водораздельным участкам.

Рассматриваемый бугор пучения I представлен серией поочередно сменяющихся горизонтов, схематично представленных на рисунке 1. Верхняя часть сложена уплотненными и увлажненными торфяными горизонтами: T0 (14-0), T1 (0-24) и T2 (24-47). Горизонт T0 залегает с поверхности и имеет мощность 14 см, сложен слаборазложившимся торфом, в нем различаются остатки торфа и разложившегося мха. Граница между горизонтами T0 и T1 нечеткая, волокнистая, ясная по цвету. Торф горизонта T1 (0-24) средней степени разложения, не содержит корней и древесной растительности. Нижняя граница ровная, переход заметен по степени разложения торфа. До глубины 47 см залегает торф средней степени разложения с наибольшим количеством древесных остатков. Нижняя граница волокнистая, переход ясный по гранулометрическому составу. Следующий горизонт CD является почвообразующей породой и имеет мощность 60 см. Является неоднородным, осложнен криотурбационными процессами и подразделяется на пять подгоризонтов. Упирается в мерзлый суглинистый горизонт. В разрезе читается речная и болотная стадия развития.

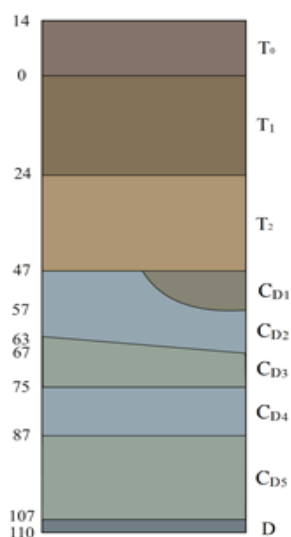


Рисунок 1 – Схема строения бугра пучения I

Описание бугра пучения II представлено в соответствии с рисунком 2. Верхний органо-минеральный горизонт, мощностью 4 см, сменяется супесчаным рыхлым горизонтом В<sub>FE</sub> (4-19), в котором эпизодически встречается песчаный горизонт А<sub>2</sub> в виде отдельных фрагментов. В<sub>FE</sub> является барьером для железа и марганца, нижняя граница ровная, переход ясный по цвету. До глубины 37 см залегает среднесуглинистый горизонт CD с новообразованиями Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в виде примазок. От 37 до 100 см залегает пласт среднезернистого аллювиального песка. В верхней части аккумулируется Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, в нижней части наблюдаются изолированные оглеенные фрагменты. В правой части профиля морозобойный клин, заполненный материалами из D1:

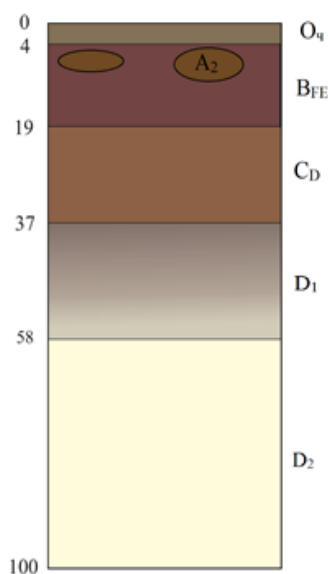


Рисунок 2 – Схема строения бугра пучения II

Предположительно, территория III озерно-аллювиальной равнины ранее находилась в стадии поймы и вышла из нее в голоцене. Это предположение подтверждается сохранившимся палеорельефом – буграми пучения.

На III озерно-элювиальной равнине продолжается рост старых бугров пучения, происходит образование и рост новых, имеет место подъем поверхности плоскобугристых торфяников вследствие пучения. Выявлено, что рост миграционных бугров пучения происходит по площади не равномерно: отличается подъем их центральных частей, в то время как склоны пульсируют. Скачкообразный подъем поверхности происходит в наиболее холодные зимы, после чего он замедляется [4].

Бугры пучения в тыловой части поймы подвержены разрушению из-за нарушения динамического равновесия (рисунок 5). В тыловой части поймы молодые формы пучения на поверхностях, прилегающих к буграм, не наблюдались. Зарождению начальных форм пучения в тыловой части поймы препятствует исключительно высокое водонасыщение растительного покрова и верхних слое торфа [3]. Из-за потепления увеличивается водность пойм, вода разрушает бугор в теплый период, подмывая склоны. Ядро деградирует, склоны бугра оползают. Так же было установлено, что бугры пучения, расположенные в тыловой части поймы реки Хейгияха более выпуклые, чем бугры на водоразделе.

Одним из перспективных способов поиска бугров пучения на больших площадях для прогнозирования негативных последствий являются методы дешифрирования.

Основными дешифровочными признаками бугров пучения являются размер, форма, тон, структура, текстура, тень и их взаимосвязи.

На рисунке 3 показаны космические снимки с буграми пучения I и II на водоразделе.

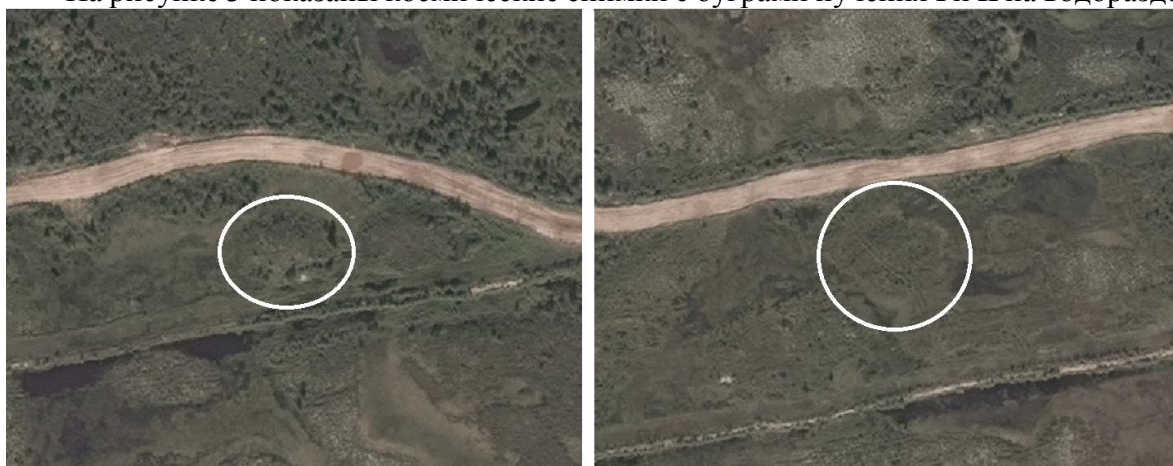


Рисунок 3 – Бугор пучения I и II на космическом снимке.

Из результатов дешифрирования космического снимка в видимой зоне спектра на территорию Надымского стационара следует, что бугры пучения достаточно уверенно дешифрируются по округлой, овальной и кольцеобразной форме. Также как и на территориях расположенных севернее стационара, тон изображения бугров бывает как темнее, так и светлее окружающей местности. Вершины бугров нередко разрушены, осложнены небольшими просадочными воронками, покрыты трещинами и хорошо выделяются на снимках сверхвысокого разрешения. Местами выделены скопления бугров пучения [5].

Следовательно, бугры пучения этой территории читаемы и в будущем, применяя для труднодоступных территорий методы дешифрирования, можно будет иметь представление о характере бугристости северотаежных территорий.

В работе проведены исследования строения бугров пучения на водоразделе в пределах Надымского стационара; установлены их морфологические особенности строения, положение бугров пучения, их приуроченность к элементам мезорельефа. Кроме этого, проведен сравнительный анализ с имеющимися литературными данными по схожим объектам в соседних природных зонах и определенных регионах, выявлены их сходства и различия. Установлена потенциальная опасность бугров и гряд пучения расположенных вблизи трассы магистрального газопровода «Надым-Пунга». Аномально высокие температуры тёплого периода в последние 10-15 лет активизировали процессы морозного пучения, что проявилось в образовании молодых бугров пучения на водоразделах и нарушении динамического равновесия старых бугров пучения в пойме. Это представляет серьёзную потенциальную проблему и требует внимательного наблюдения за этими объектами, а также их изучения.

#### *Список литературы*

1. ГОСТ 27217-87. Грунты. Метод полевого определения удельных касательных сил морозного пучения. Госстрой СССР - М.: Издательство стандартов, 1988.

2. Комплексный мониторинг северотаежных геосистем Западной Сибири/ отв. редактор В.П. Мельников; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Институт криосферы Земли. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2012. – 207 с.
3. Бердников Н.М. Бугры пучения в различных ландшафтах бассейна реки Надым // Криосфера Земли, 2012, т. XVI, № 3, с. 81–86.
4. Пономарева О.Е., Гравис А.Г., Бердников Н.М. Современная динамика бугров пучения и плоскобугристых торфяников в северной тайге Западной Сибири (на примере Надымского стационара) // Криосфера Земли, 2012, т. XVI, №4, с. 21–30.
5. Слагода Е.А., Ермак А.А. Дешифрование экзогенных процессов типичных тундр полуострова Ямал на примере территории района среднего течения реки Юрибей // Вестник ТюмГУ. 2014. №4 С.28-38.

#### *References*

1. GOST 27217-87. Grunty. Metod polevogo opredeleniya udel'nykh kasatel'nykh sil moroznogo pucheniya [Soils. Method of field determination of the specific tangential forces of frost heaving]. Gosstroj SSSR - M.: Izdatel'stvo standartov, 1988.
2. Kompleksnyi monitoring severotaezhnykh geosistem Zapadnoi Sibiri [Complex monitoring of north taiga geosystems of Western Siberia]/ отв. редактор В.П. Мельников; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Институт криосферы Земли. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2012. – 207 p.
3. Berdnikov N.M. Bugry pucheniya v razlichnykh landshaftakh basseina reki Nadym [Frost mounts in different landscapes of the Nadym river basin] // Kriosfera Zemli = Earth's Cryosphere, 2012, v. XVI, № 3, 81–86 p.
4. Ponomareva O.E., Gravis A.G., Berdnikov N.M. Sovremennaya dinamika bugrov pucheniya i ploskobugristykh torfyanikov v severnoi taige Zapadnoi Sibiri (na primere Nadym'skogo statsionara) [The modern dynamics of swelling and flat hummocky peat bogs in the northern taiga of Western Siberia (on the example of the Nadym stationary)]//Kriosfera Zemli = Earth's Cryosphere, 2012, v. XVI, №4, 21–30 p.
5. Slagoda E.A., Ermak A.A. Deshifrovanie ekzogennykh protsessov tipichnykh tundr poluostrova Yamal na primere territorii raiona srednego techeniya reki Yuribei [Decoding of exogenous processes of typical tundra of the Yamal Peninsula by the example of the territory of the area of the middle course of the Yuribey River]// Vestnik TyumGU = Tyumen State University Herald. 2014. №4, 28-38 p.