

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КРИОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 551.793; 551.794

DOI: 10.15372/KZ20210201

РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ ТОРФЯНО-МИНЕРАЛЬНОЙ ГРЯДЫ ПУЧЕНИЯ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ НАДЫМ

О.С. Сизов¹, А.А. Юртаев², А.В. Соромотин², Е.М. Копцева³, А.О. Вольвах⁴, Е.В. Абакумов³,
Н.М. Бердников⁵, Н.В. Приходько², Д.С. Гурьев⁶¹ Институт проблем нефти и газа РАН, 119333, Москва, ул. Губкина, 3, Россия; kabanin@yandex.ru² Тюменский государственный университет, 625003, Тюмень, ул. Володарского, 6, Россия³ Санкт-Петербургский государственный университет, 199178, Санкт-Петербург, 16-я линия В.О., 29, Россия⁴ Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, Россия⁵ Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, 625026, Тюмень, ул. Малыгина, 86, Россия⁶ ООО «Северавтодор», 629730, Надым, ул. Комсомольская, 10Б, ЯНАО, Россия

Представлены новые данные о криолитологическом строении типичной для севера Западной Сибири гряды пучения, расположенной в нижнем течении р. Надым. Данные получены в результате бурения двух скважин, на вершине гряды и в межгрядовом понижении, и последующего анализа керна. Определены гранулометрический состав, форма и характер поверхности песчаных кварцевых зерен, ботанический состав и радиоуглеродный возраст органических отложений. Установлено трехслойное торфяно-песчано-суглинистое строение гряды. Пучению подвержен нижний суглинистый горизонт с объемной льдистостью около 60 %, ниже которого залегают слои чистого льда. Гряда пучения имеет преимущественно миграционный генезис при дополняющем влиянии инъекций льда и относится к торфяно-минеральному типу. В формировании гряды пучения выделены этапы накопления суглинистых и песчаных отложений в конце позднего плейстоцена, заболачивание произошло в начале голоцена (10.6–9.8 тыс. лет назад), активное пучение – в суббореальную стадию (5.5–5.0 тыс. лет назад). В настоящее время наблюдается уменьшение верхнего органического горизонта и развитие процессов эрозии. Предложено рассматривать торфяно-минеральные и минеральные формы пучения (бугры и гряды) как отдельный тип криогенного рельефа.

Бугор пучения, многолетнемерзлые породы, криолитозона, верхнечетвертичные отложения, Надымское Приобье

RECONSTRUCTION OF THE FORMATION HISTORY
OF THE PEAT PLATEAU IN THE LOWER REACHES OF THE NADYM RIVERO.S. Sizov¹, A.A. Yurtaev², A.V. Soromotin², E.M. Koptseva³, A.O. Volvakh⁴, E.V. Abakumov³, N.M. Berdnikov⁵,
N.V. Prikhodko², D.S. Guryev⁶¹ Institute of Oil and Gas Problems RAS, Gubkina str. 3, Moscow, 119333, Russia; kabanin@yandex.ru² Tyumen State University, Volodarsky str. 6, Tyumen, 625003, Russia³ St. Petersburg State University, 16th line V.O. 29, St. Petersburg, 199178, Russia⁴ Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Akademika Koptuyuga ave. 3, Novosibirsk, 630090, Russia⁵ Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Centre SB RAS, Malygina str. 86, Tyumen, 625026, Russia⁶ LLC Severavtodor, Komsomolskaya str. 10B, Nadym, Yamal-Nenets Autonomous District, 629730, Russia

The study presents new data on the cryolithological structure of a ridge-shaped peat plateau typical for the north of Western Siberia, located in the lower reaches of the Nadym River. Two wells were drilled at the top of the ridge and in the inter-ridge depression, with subsequent core analysis. Grain size distribution, shape and surface structure of sand quartz grains, botanical composition and radiocarbon age of organogenic deposits were determined. The study revealed the presence of a three-layer peat-sand-loam ridge structure. The lower loam layer with a ~60 % volumetric ice content was affected by frost heaving. Layers of pure ice are identified below this loam layer. The ridge was formed as a result of water migration with the complementary influence of ice injection; it is of the peat-mineral type. In the ridge formation history, we identified the stages of loam and sand deposits accumulation at the end of the Late Pleistocene; bogging occurred at the beginning of the Holocene (10.6–9.8 ka BP), while active frost heaving was during the Subboreal stage (5.5–5.0 ka BP). Currently, there is a decrease in the upper organic horizon thickness and some erosion. It is proposed to consider peat-mineral and mineral frost heave landforms (mounds and ridges) as separate type of cryogenic landforms.

Frost mound, frozen ground, permafrost zone, Upper Quaternary deposits, Nadym region

ВВЕДЕНИЕ

Процессы пучения различных типов отложенных широко распространены в пределах крупных торфяных массивов на севере Западной Сибири, как и в других арктических регионах Северного полушария [Евсеев, 1976; Ландшафты..., 1983]. Среди многообразных форм криогенного рельефа выделяются миграционные бугры пучения (МБП), образование которых связано с миграцией воды из неглубоко залегающих водоносных горизонтов к фронту промерзания [Попов, 1967]. Использование данного термина обусловлено необходимостью генетической характеристики при описании конвергентных форм рельефа, а также тем, что по составу отложений среди МБП выделяются торфяные, минеральные и торфяно-минеральные бугры [Евсеев, 1976; Ландшафты..., 1983].

На севере Западной Сибири МБП встречаются преимущественно в южной тундре, лесотундре, а также в северотаежной области разобщенного залегания современной и древней толщ многолетнемерзлых пород (ММП) [Шполянская, Евсеев, 1972]. Северная граница их распространения совпадает с северной границей прерывистого развития ММП (севернее устьев рек Ныда и Таз МБП практически не встречаются), южным пределом является южная граница распространения островной мерзлоты [Евсеев, 1976].

Исследования бугров пучения имеют многолетнюю историю. Теоретическое обоснование процесса пучения, характеристика криогенного строения, генезиса и морфологии МБП даны в работах отечественных ученых [Попов, 1967; Шполянская, Евсеев, 1972; Евсеев, 1976; Бердников и др., 2019]. Отдельные исследования посвящены результатам ежегодного мониторинга криогенного пучения [Москаленко, Пономарева, 2004; Пономарева и др., 2012]. Подробно анализировалась динамика растительного покрова на крупнобугристых торфяниках, а также их характерные индикационные свойства, устойчивые при выявлении ландшафтных особенностей территории и составлении интегральных экологических карт [Тыртиков, 1979; Пономарева, 2010].

Особый интерес представляют МБП торфяно-минерального типа, которые по своему строению и развитию значительно отличаются от классических торфяных бугров. Они образуются на участках распространения отложений различного генезиса и состава (суглинков, глин, иногда пылеватых суглинков) и морфологически могут быть выражены как в виде холмов, так и в виде гряд. Зачастую здесь отсутствует льдистое ядро (локальное накопление сегрегационного льда), а горизонты пучения перекрыты толщей песчаных отложений и маломощным слоем торфа с поверхности. Выделяют также тип минеральных МБП, у которых верхний слой торфа был удален эрози-

ей и дефляцией [Васильчук, 2008]. В зарубежной литературе для обозначения минеральных МБП обычно используется термин “литопальза” или “литальза” [Calmels et al., 2008; Wolfe et al., 2014]. Под торфяно-минеральными и минеральными МБП в сложных геоморфологических обстановках нередко понимаются генетически иные формы рельефа, осложненные пучением (камовые и моренные холмы, озы, термоостанцы и др.) [Wolfe et al., 2014], что создает дополнительную неопределенность при проведении полевых исследований и тематическом картографировании. Практически не проводятся специальных исследований возраста, истории развития и особенностей распространения торфяно-минеральных МБП, хотя эти вопросы считаются ключевыми применительно к условиям северной тайги Западной Сибири [Васильчук, 2008].

Целью данной работы является реконструкция истории формирования торфяно-минерального МБП (в виде гряды пучения) в нижнем течении р. Надым.

РАЙОН И ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассматриваемая территория расположена в пределах заболоченной и заозеренной второй надпойменной террасы р. Хейгияха (левый приток р. Надым, в 15 км к югу от устья) (рис. 1). Абсолютные высоты поверхности колеблются от 20 до 36 м.

Мощность торфа в торфяниках составляет в среднем 1.0–1.5 м (до 5 м в понижениях). Аллювиальные отложения представлены мелко- и среднезернистыми песками с редкими включениями гравия и гальки кварца, а также растительных остатков различной степени разложения [Брадучан и др., 2015]. Пески имеют мощность от 4 до 10 м и подстилаются льдистыми суглинками [Геологическая съемка..., 1954; Брадучан и др., 2015]. В песках явно прослеживается косая или линзовидная слоистость русловой фации, меняющаяся на горизонтальную при переходе к пойменной фации. Возраст песков установлен методом радиоуглеродного датирования и оптически инфракрасностимулированной люминесценции (ИК–ОСЛ) по двум разрезам: в песчаном карьере вблизи устья р. Хейгияха (датировались косослоистые пески русловой фации) и непосредственно в пределах участка работ в одном из береговых озерных обнажений (датировались органические остатки). В первом случае получен возраст 24 тыс. лет назад, во втором – 27 тыс. лет назад [Сизов и др., 2020], что соответствует началу сарганского криохрона (морская изотопная стадия 2 (МИС-2)). Данные спорового и пыльцевого анализов свидетельствуют о существовании в период формирования террасы природных условий тундры и лесотундры [Брадучан и др., 2015].

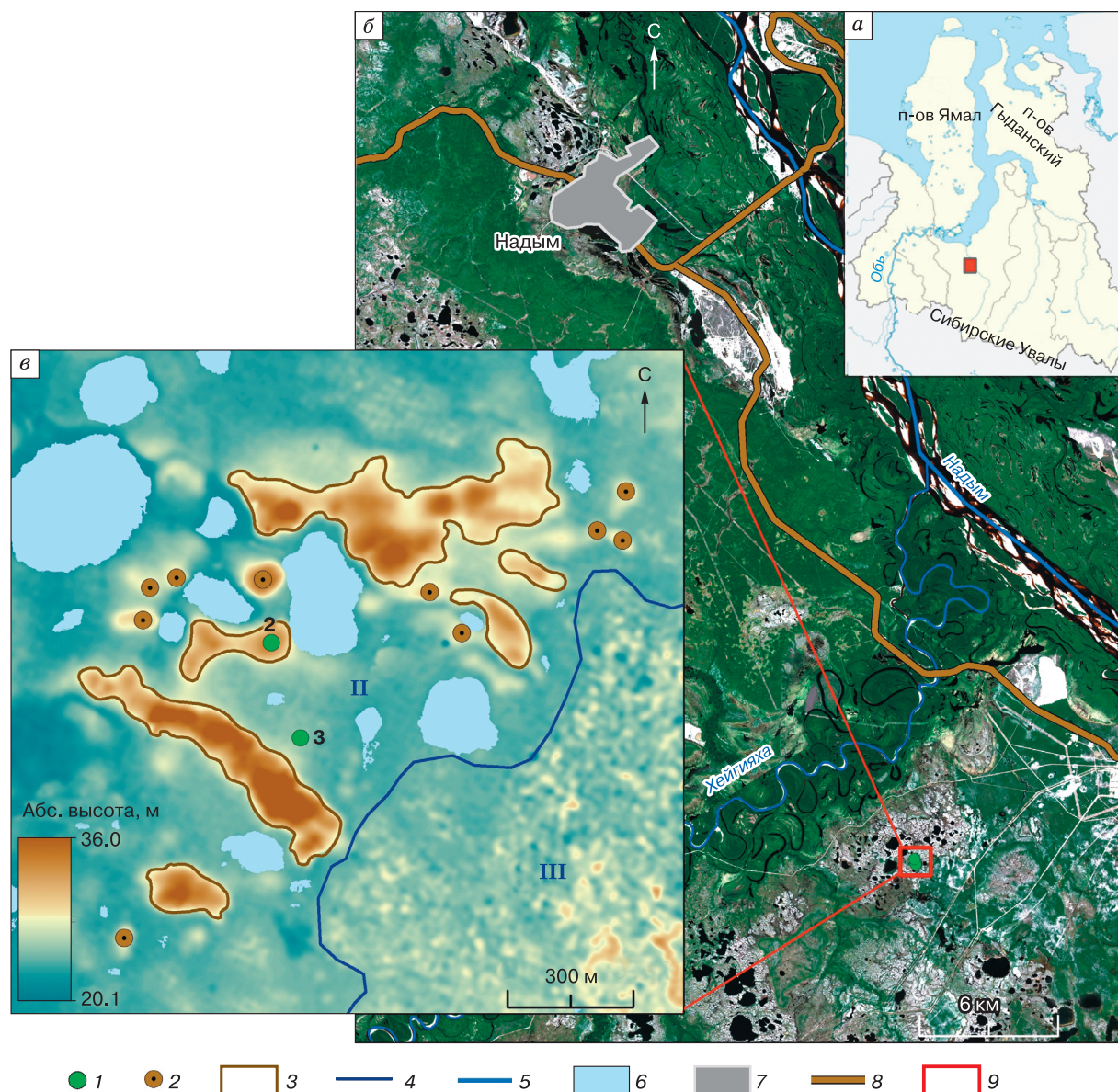


Рис. 1. Обзорная карта района работ:

a – контурная схема севера Западной Сибири (район исследований показан красным прямоугольником); *б* – космический снимок Sentinel-2A (разрешение 10 м, дата съемки: 18 июня 2016 г.); *в* – цифровая модель рельефа ArcticDEM (разрешение 2 м); 1 – скважины; 2 – миграционные бугры пучения; 3 – миграционные гряды пучения; 4 – граница между II и III надпойменными террасами озерно-аллювиального происхождения [Брадучан и др., 2015]; 5 – реки; 6 – озера; 7 – границы г. Надым; 8 – автодороги; 9 – граница района работ.

Современная среднегодовая температура воздуха составляет $-5.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. По данным многолетних наблюдений, температура ММП на глубине 10 м повысилась с конца 1970-х гг.: на крупнобугристых торфяниках – от -1.8 до $-0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, на плоскобугристых – от -1.0 до $-0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ [Москаленко и др., 2012]. Минимальная температура $-1.5...-2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ фиксируется с 2009 по 2017 г. в скважине, пробуренной на вершине торфяно-минерального бугра.

Растительный покров района относится к подзоне редколесий бореальной зоны [Растительный покров..., 1985]. Для плакорных позиций района характерны лиственничные и елово-лиственничные редколесья и редины с *Larix sibirica* Ledeb. и *Picea obovata* Ledeb., которые чередуются с мхами, лишайниковыми и кустарничковыми тундрами. Заболоченность территории очень высокая и в Надым-Пурском междуречье достигает 70 %.

Объектом исследования является небольшая (протяженностью около 300 м) торфяно-минеральная гряда пучения, расположенная вблизи тылового шва II надпойменной террасы р. Хейгияха (см. рис. 1), – расстояние до склона III надпойменной террасы озерно-аллювиального происхождения составляет менее 400 м. Гряда осложнена термоэрозионными промоинами и с севера,

запада и востока размывается озерами. Изучаемый объект находится в центре участка пучения, где можно выделить 6 гряд и 10 отдельных разновысотных бугров. Протяженность некоторых гряд достигает 700 м, а абсолютная высота – 36.0 м. Гряды разделены межгрядовыми понижениями с амплитудой относительных высот более 10 м. Общее направление гряд северо-западное и западное, нередко гряды разделены промоинами на локальные холмы, образующие вытянутые цепочки. На поверхности отдельных гряд встречается разреженная лесная растительность, состоящая преимущественно из кедра и лиственницы.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе работ с помощью бурового станка, установленного на шасси вездехода “Трэкол”, было пробурено две скважины (скв.) – скважина 2 на вершине гряды (абс. высота 34 м; 65° 17' 08.58" с.ш., 72° 50' 39.75" в.д.) и скважина 3 в межгрядовом понижении (абс. высота 27 м; 65° 17' 01.02" с.ш., 72° 50' 44.11" в.д.). Бурение проводилось 28 июля 2018 г. с отбором керна диаметром 10 см из торфяных и суглинистых горизонтов. КERN из песчаных горизонтов отсутствует. Через каждые 0.5–1.0 м из отложений отбирались пробы на гранулометрию, морфоскопию и морфометрию песчаных кварцевых зерен. Схемы строения скважин представлены на рис. 2.

Гранулометрический состав песчаных проб весом 500 г определялся сухим методом по традиционной методике просеивания (ситовый анализ) на виброгрохоте Analysette 3 PRO (Fritsch, Германия) в диапазоне от 0 до 2000 мкм, далее фракции взвешивались на лабораторных весах с точностью измерения 0.1 г. Фракции менее 125 мкм разделялись на лазерном анализаторе размера частиц Analysette A22 (Fritsch, Германия), после чего в программе Excel 2013 (Microsoft, США) вычислялись весовые проценты для каждой фракции. Гранулометрический состав суглинистых проб определялся непосредственно на лазерном анализаторе размера частиц Analysette A22 (Fritsch, Германия) (определение требуемого количества образца в приборе происходило автоматически). При описании результатов использовалась классификация Фридмана–Сандерса [Friedman, Sanders, 1978].

Изучение кварцевых зерен фракций среднего и крупного песка проводилось под бинокулярным микроскопом по методике, разработанной в Институте географии РАН [Velichko, Timireva, 1995]. Микростроение поверхности зерен исследовалось на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) JSM-6510LV (JEOL, Япония) во вторичных электронах (SEI – Secondary Electron Image) в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (г. Новосибирск). Окатанность зерен опреде-

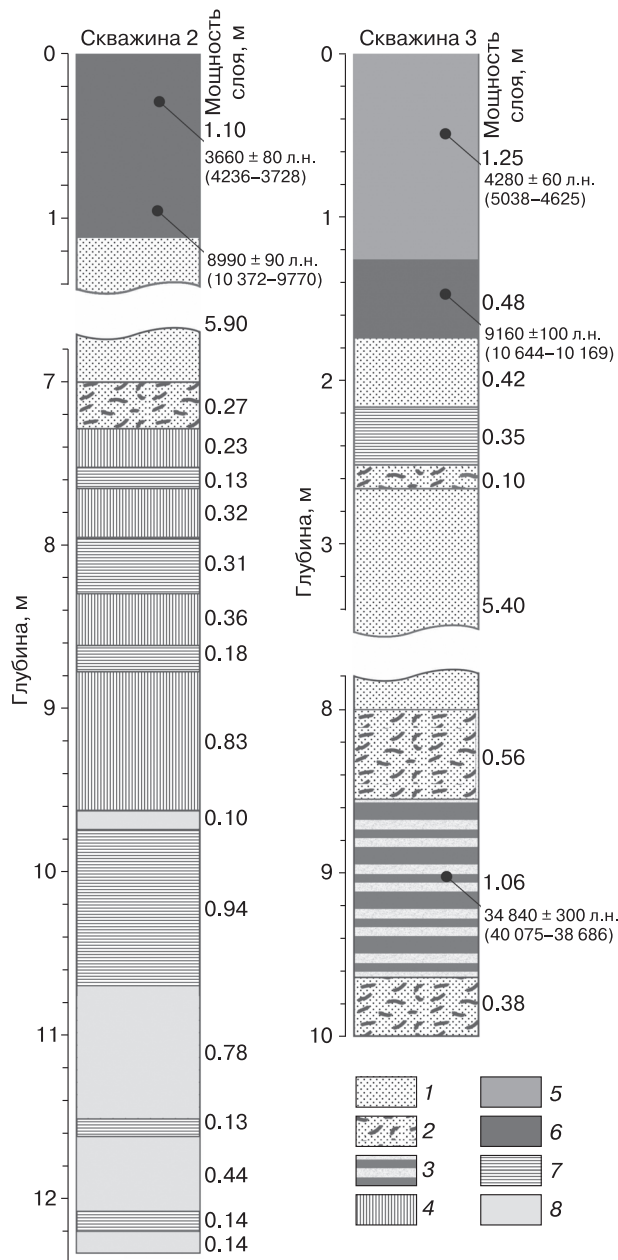


Рис. 2. Структура отложений в скважинах 2 и 3 по результатам бурения.

1 – песок; 2 – песок с растительным детритом; 3 – переслаивание растительного детрита и песка; 4 – льдистый суглинок; 5 – торф переходный; 6 – торф низинный; 7 – суглинок; 8 – лед.

лялась по трафарету Л.Б. Рухина [1969] и пятибалльной шкале А.В. Хабакова [1946] (где 0 – неокатанные, IV – превосходно окатанные зерна). Для каждого образца вычислялись коэффициент окатанности и степень заматованности [Velichko, Timireva, 1995]. Матовость зерен определялась визуально от глянцевой до матовой. Строение микрорельефа поверхности зерен изучалось с использованием опубликованных диагностических особенностей зерен различного генезиса и обстановок осадконакопления [Krinsley, Doornkamp, 2011].

Ботанический анализ торфа и степень его разложения определялись микроскопическим методом (с точностью до 5 %) в лаборатории болотных экосистем Института биологии КарНЦ РАН (г. Петрозаводск) Н.В. Стойкиной с использованием атласа растительных остатков в торфах [Kačič, 1977] и путем сравнения с гербарными образцами растений. Типизация торфов по ботаническому составу проведена по [Туремнов, 1976].

Для определения абсолютного возраста торфа и растительных остатков применялся метод жидкостных синтилляций, анализ проводился в радиоуглеродной лаборатории Института геохимии окружающей среды НАН Украины (г. Киев). Полученные радиоуглеродные даты переводились в календарные годы путем калибровки с помощью общедоступной программы OxCal 4.3 [Bronk, Lee, 2013] на основе калибровочной кривой IntCal13.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Гранулометрический состав и морфоскопия песчаных кварцевых зерен. Результаты определения гранулометрического состава показывают четкую дифференциацию песчаных и глинистых слоев, выделенных при описании (рис. 3).

В составе песчаных горизонтов (скв. 2 – 1.1–7.27 м, скв. 3 – 2.6–8.0 м) преобладают фракции мелко- и среднезернистого песка. В составе глинистых отложений (скв. 2 – 7.27–10.7 м) преобладает фракция мелкой и средней пыли с размером частиц 0.016–0.002 мм. В скважине 3 горизонты с преобладанием крупной пыли выделяются в верхней части и на глубине 8 м. Таким образом, основу гряды пучения составляет пылеватое ядро, которое не прослеживается в межгрядовом понижении.

Результаты морфоскопии (рис. 4) показали, что в скважине 2 для кварцевых зерен песчаного горизонта на глубине 7 м коэффициент окатанности (Q) составил 80 %, степень заматованности (C_m) – 50 %. Основным элементом в морфологии поверхности зерен в скважине 2 является мелкоямчатая поверхность (рис. 5, *a–z*), часто встречаются отдельные V-образные выбоины (см. рис. 5, *б, в*) и серповидные углубления. Эти элементы являются признаками субаквальной обработки зерен. Наличие на некоторых зернах микро-

ямчатости (см. рис. 5, *б–z*), чаще всего развитой по выступающим частям зерна, свидетельствует о воздействии эоловых процессов.

В скважине 3 (проба песка с глубины 5.5 м) коэффициент окатанности $Q = 77$ %, степень заматованности $C_m = 41.5$ %. Большинство зерен имеет хорошо проработанную мелкоямчатую поверхность (см. рис. 5, *д, e, u*), образующуюся в результате активного переноса в водной среде. На некоторых зернах можно отметить серповидные углубления (см. рис. 5, *ж, з*), также являющиеся признаком субаквальной обработки, но в более спокойной обстановке. Иногда встречается микроямчатость (см. рис. 5, *ж, з*), свидетельствующая о переносе в субаэральных условиях.

В пробе песка скважины 3 (глубина 10 м) коэффициент окатанности $Q = 77.5$ %, степень заматованности $C_m = 51$ %. Независимо от матовости поверхности для зерен характерно преобладание хорошо развитой мелкоямчатой поверхности (см. рис. 5, *к, л*), являющейся признаком достаточно активного речного переноса. На некоторых зернах можно заметить отдельные серповидные углубления, обычно образующиеся в более спокойной водной среде. Оба признака свидетельствуют о водном перемещении с различной скоростью потока: мелкоямчатая поверхность образуется при переносе в интенсивном речном потоке, а серповидные углубления – в спокойной водной обстановке.

Можно предположить, что образование отложений в скважине 2 (глубина 7 м) и скважине 3 (глубина 5.5 м) происходило за счет аллювиальных процессов также при наличии незначительной эоловой проработки. Несмотря на сходные показатели степени заматованности с зернами из скважины 2, отсутствие микроямчатости, характерной для эолового переноса, позволяет сделать вывод, что формирование отложений скважины 3 (глубина 10 м) происходило в условиях водного потока.

2. Ботанический состав торфа. Из скважины 2 пробы отобраны с глубин 0.05 м (рецентная проба), 0.05–0.10 м и в базальной части торфяника с глубин 1.0–1.1 м. Для скважины 3 пробы отобраны с глубин 0.45–0.50 м и в базальной части торфяника с глубин 1.60–1.73 м. Одна проба отобрана из погребенных прослоев растительного детрита скважины 3 с глубины 8.8–8.9 м.

Ботанический состав поверхностного торфа (скв. 2, глубина 0–0.05 м) соответствует современной растительности – кустарничково-мохово-лишайниковым группировкам бугристых торфяников (рис. 6). Торф из скважины 2 с глубины 0.05–0.10 м – низинный, древесно-топяной, хорошо разложившийся (степень разложения 45–50 %), сформировался в таежных условиях облесенного березой и ивами низинного болота. Торф из сква-

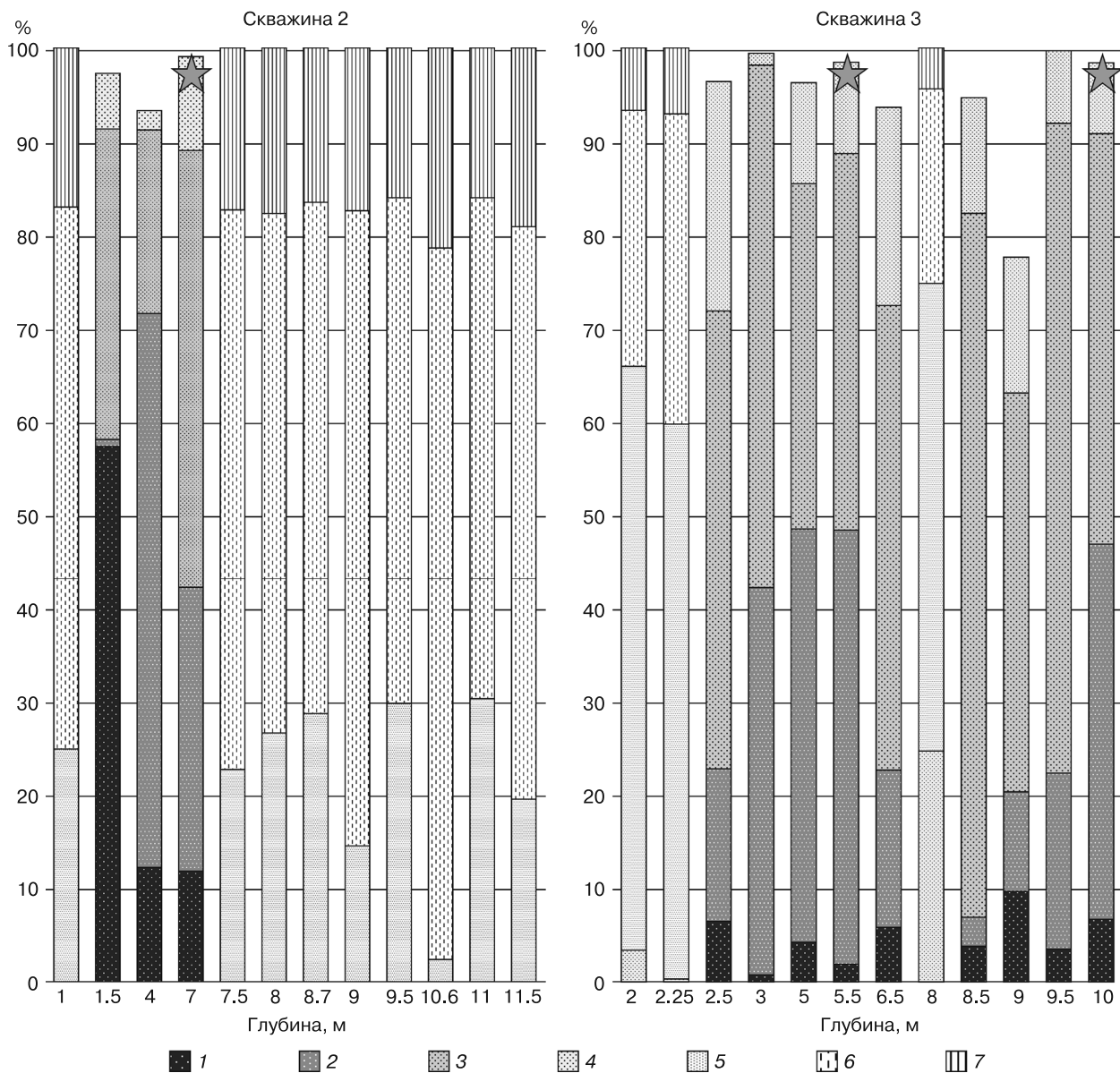


Рис. 3. Гранулометрический состав отложений, вскрытых скважинами 2 и 3.

Звездочки – пробы на морфоскопию и морфометрию песчаных кварцевых зерен. 1 – песок крупнозернистый, 0.5–1.0 мм; 2 – песок среднезернистый, 0.25–0.50 мм; 3 – песок мелкозернистый, 0.125–0.25 мм; 4 – песок тонкозернистый, 0.125–0.063 мм; 5 – пыль крупная, 0.063–0.016 мм; 6 – пыль средняя и мелкая, 0.016–0.002 мм; 7 – глина, <0.002 мм.

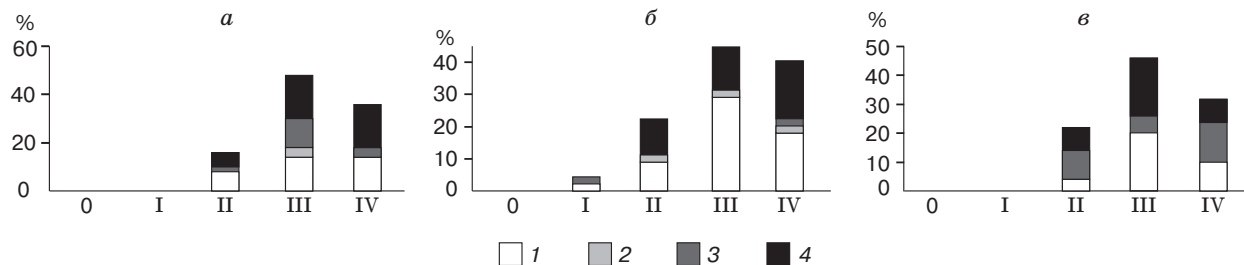


Рис. 4. Распределение по окатанности и заматованности песчаных кварцевых зерен проб из скважин.

а – скв. 2, глубина 7 м; б – скв. 3, глубина 5.5 м; в – скв. 3, глубина 10 м. 1 – гляцевая поверхность; 2 – четвертьматовая поверхность; 3 – полуматовая поверхность; 4 – матовая поверхность. 0, I, II, III, IV – классы окатанности по шкале А.В. Хабакова [1946].

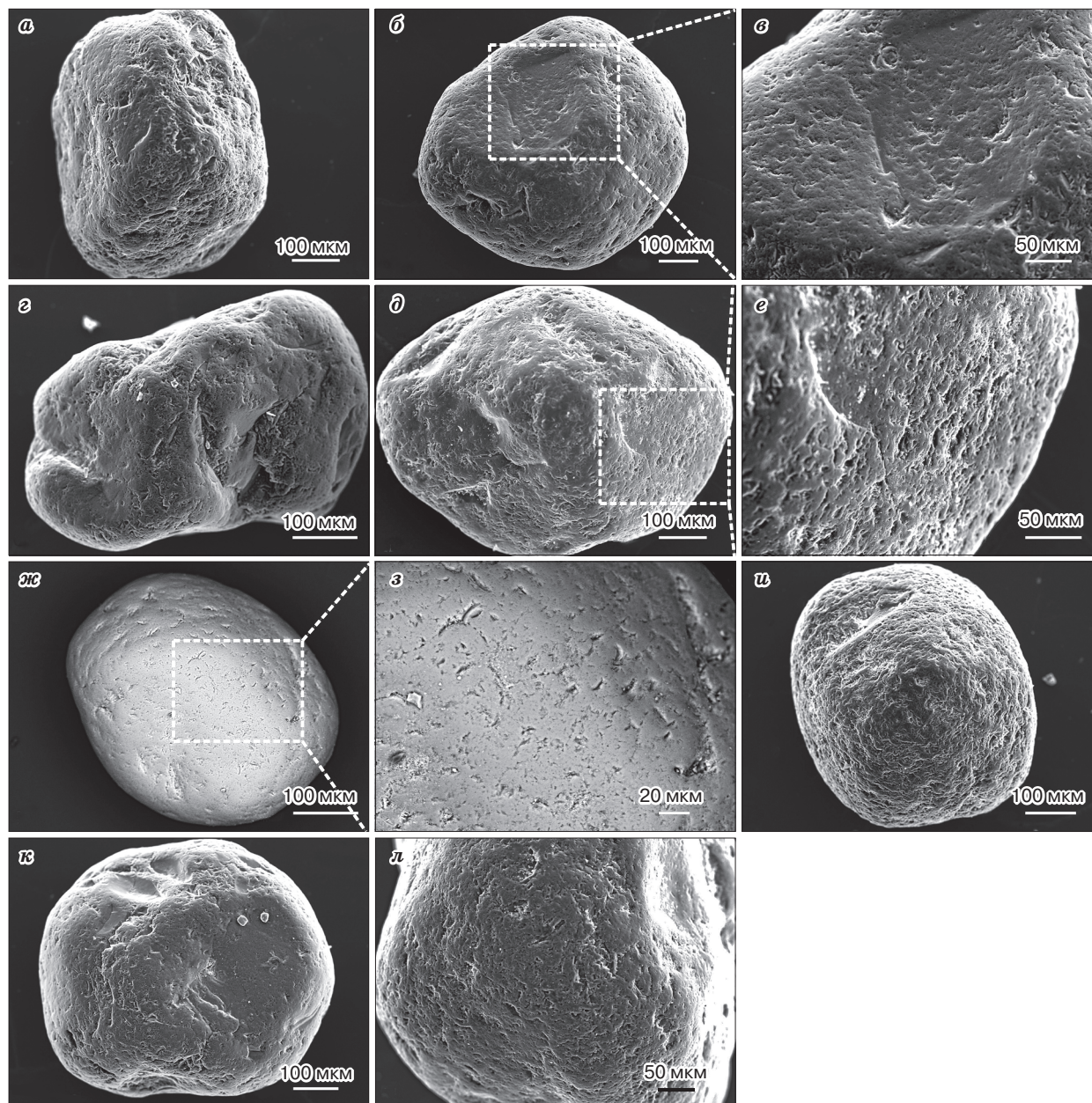


Рис. 5. СЭМ-фотографии песчаных кварцевых зерен.

a–г – скважина 2, глубина отбора 7 м (*a* – полуматовое зерно с мелкоямчатой поверхностью; *б, в* – глянцевое зерно с мелкоямчатой поверхностью и отдельными V-образными углублениями, на выступающих частях зерна отмечается микроямчатость; *г* – полуматовое зерно с мелкоямчатой и микроямчатой поверхностями); *д–и* – скважина 3, глубина отбора 5.5 м (*д, e* – глянцевое зерно с мелкоямчатой поверхностью; *ж, з* – глянцевающее зерно с серповидными углублениями и микроямчатостью; *и* – глянцевающее зерно с мелкоямчатой поверхностью); *к, л* – скважина 3, глубина отбора 10 м (*к* – полуматовое зерно с мелкоямчатой поверхностью; *л* – глянцевающее зерно с мелкоямчатой поверхностью).

жины 2 с глубины 1.0–1.1 м – низинный, хорошо разложившийся, степень разложения 45–50 %, относится к лесному подтипу (березовый), сформировался под растительными сообществами, распространенными по низким (затопляемым) берегам водных объектов (озер, речных пойм). Торф

из скважины 3 с глубины 0.45–0.50 м – переходный, пушицево-сфагновый, средней степени разложения (около 35 %), сформировался в условиях травяно-пушицево-сфагнового переходного болота. Торф из скважины 3 с глубины 1.65–1.73 м – низинный, топяной, хорошо разложившийся, сте-

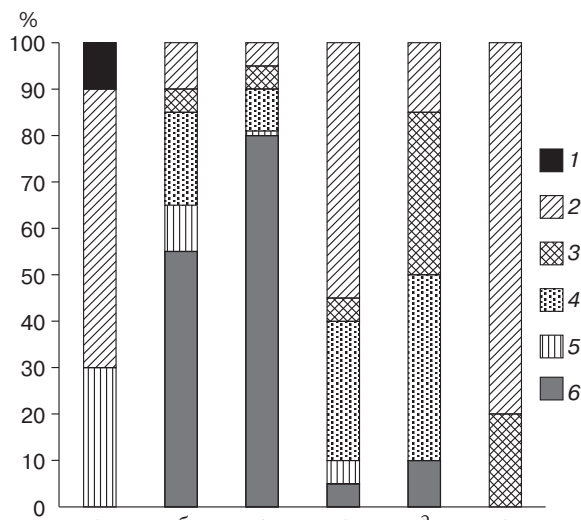


Рис. 6. Соотношение основных ботанических групп растений в образцах торфа.

a – скв. 2, глубина 0–0.05 м; *б* – скв. 2, глубина 0.05–0.10 м; *в* – скв. 2, глубина 1.0–1.1 м; *г* – скв. 3, глубина 0.45–0.50 м; *д* – скв. 3, глубина 1.65–1.73 м; *е* – скв. 3, глубина 8.8–8.9 м. 1 – лишайники; 2 – мхи; 3 – травы; 4 – осоки и осоковидные; 5 – кустарнички; 6 – древесные.

пень разложения более 50 %. Торф данного типа мог сформироваться под травяно-осоковыми болотами. Растительный детрит из скважины 3 с глубины 8.8–8.9 м – хорошо разложившийся (степень разложения 35–40 %), сформировался в условиях минералотрофного травяно-гипсового болота.

3. Абсолютное датирование. Радиоуглеродное датирование проводили для пяти образцов погребенного торфа, отобранных с тех же глубин, что и пробы на ботанический состав, за исключением пробы рецентного торфа (скв. 2 – 0.05–0.10 и 1.00–1.10 м; скважина 3 – 0.45–0.50, 1.65–1.73 и 8.80–8.90 м). Результаты показывают среднеголоценовое время формирования верхней части торфяника в скважине 2 и средней части торфяника в скважине 3, раннеголоценовое время формирова-

ния базальной части торфяника в скважинах 2 и 3, каргинское время формирования растительного детрита в скважине 3 на глубине 8.8–8.9 м (табл. 1).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Характерная особенность миграционных бугров и гряд пучения – образовывать группы – описана как в российской, так и в зарубежной литературе. Так, типичный участок концентрации бугров и гряд изучен В.П. Евсеевым [1976] в районе р. Пангоды (приток р. Правая Хетга). Разновысотные бугры вытянуты узкой полосой вдоль небольшого ручья на 1.5–2.0 км. Бугры разнотипные (торфяные и торфяно-минеральные) и разновысотные (от 3–5 до 10–12 м) с асимметричными склонами при диаметре основания 30–100 м. Отмечается, что некоторые бугры переходят друг в друга через седловины, создавая видимость гряды, что особенно характерно для краевых бугров. Подобные группы бугров, по мнению В.П. Евсеева [1976], приурочены к тыловым швам аллювиальных террас и периферийным участкам озерно-болотных котловин на границе изменения состава пород и мерзлотных условий.

Еще одной особенностью крупных торфяно-минеральных МБП является многослойное строение. В верхней части, как правило, представлен хорошо разложившийся торф мощностью до 1.5–2.0 м. Ниже залегают пески или супеси мощностью 3.0–3.5 м. Нижняя суглинистая часть разреза может достигать мощности 10–13 м (от 50 до 90 % мощности отложений, вскрываемых бурением) [Там же]. Суглинки (преимущественно морского или озерного генезиса) подвергаются пучению, здесь происходит основное миграционное льдонакопление в виде ледяных прослоев, а в отдельных случаях – формирование ледяного ядра.

По мнению Ю.К. Васильчука [2008], остаются нерешенными вопросы, касающиеся промежуточных форм между буграми пучения типа пальза и булгуньяхами (пинго). По его данным, критерием

Таблица 1. Результаты радиоуглеродного датирования образцов торфа, отобранных из скважин 2 и 3

№	Глубина отбора, м	Лабораторный код	¹⁴ C-возраст, лет	Калибр. возраст	Калибр. возраст
				по 2σ (95.4 %)	по 1σ (68.2 %)
кал. лет назад					
<i>Скважина 2</i>					
1	0.05–0.10	Ki-19584	3660 ± 80	3982 ± 254	3996 ± 115
2	1.0–1.1	Ki-19596	8990 ± 90	10 071 ± 301	10 085 ± 139
<i>Скважина 3</i>					
3	0.45–0.50	Ki-19598	4280 ± 60	4832 ± 207	4845 ± 98
4	1.65–1.73	Ki-19613	9160 ± 100	10 407 ± 238	10 358 ± 117
5	8.8–8.9	Ki-19626	34 840 ± 300	39 381 ± 695	39 372 ± 358

Примечание. σ – стандартное отклонение.

для отделения палъза и литопалъза от пинго могла бы быть линза льда в ядре бугра. Однако в районах классического распространения палъза (в низовьях Оби, близ с. Азовы) описаны случаи, когда в разрезе бугров пучения, отнесенных к миграционным, залежали линзы льда мощностью более 1 м [Васильчук, 2008].

Современные палеогеографические представления свидетельствуют о том, что ММП в МБП формировались в климатических условиях, которые, по-видимому, были более суровыми, чем современные. Результаты исследований с использованием палинологических, изотопных и радиоуглеродных методов показывают, что интенсивное заболачивание в северотаежной подзоне Западной Сибири начинается не ранее 10 тыс. лет назад, т. е. практически в самом начале голоцена, и заканчивается для наиболее крупных МБП в северотаежной подзоне с похолоданием в начале суббореального периода (5.5–5.0 тыс. лет назад) [Евсеев, 1976; Васильчук, 2008; Пономарева и др., 2012].

Рассматриваемая миграционная гряда пучения расположена в районе, типичном для распространения палъза. В разрезе скважины 2 в интервале глубин 7.27–10.7 м залегают ледогрунт, который представляет собой крупные зерна и линзы льда с суглинистым материалом между ними. В ледогрунтовых горизонтах криогенная текстура толстошлировая (шлиры до 3 см). В суглинистых горизонтах криогенная текстура тонкошлировая (шлиры до 0.5 см). Объемная льдистость в распученных суглинках составляет ~60 %. Ниже глубины 10.7 м до забоя скважины (12.35 м) вскрыт лед, который составляет льдистое ядро гряды пучения. Лед чистый, разбит хаотичными трещинами, на разных глубинах прерывается маломощными (не более 0.15 м) прослоями суглинка. Значительная мощность ледяных линз (0.78 и 0.44 м) может указывать на инъекционный механизм их образования. Однако даже присутствие линз чистого льда не может однозначно исключать сегрегационно-миграционную природу [Васильчук, 2008], поскольку выявлено интенсивное миграционное льдонакопление в ледогрунтовых горизонтах распученного суглинка. Можно сказать, что исследуемая гряда имеет преимущественно миграционный генезис при дополняющем влиянии инъекций льда.

По строению рассматриваемая гряда пучения аналогична хорошо изученному крупному МБП [Бердников и др., 2019], расположенному в 2.35 км к северо-востоку от скважины 2 (табл. 2). В качестве различий можно отметить присутствие в скважине 2 линз чистого льда, в то время как в скважине 1-2009 выявлена только шлировая криотекстура, типичная для миграционного льдовыведения [Там же].

Таблица 2. Сравнение характеристик миграционных торфяно-минеральных бугра и гряды пучения на второй надпойменной террасе р. Хейгияха

Формы пучения	Относит. высота, м	Мощность, м			Объемная льдистость*, %
		торф	песок	суглинок	
Бугор***	6.7	0.5	6.7	2.8	35
Гряда****	7.5	1.1	5.9	3.7	до 60**

* За счет ледяных включений (суглинки).

** В слое ледогрунта.

*** По результатам [Бердников и др., 2019].

**** Настоящая работа.

Реконструкция развития рассматриваемой гряды пучения позволяет предположительно выделить следующие этапы:

– формирование суглинистых предположительно озерных отложений ермаковского времени (МИС-4), которые вскрываются в нижней части скважины 2;

– размыв озерных отложений меандрирующим руслом р. Хейгияха и формирование пойменных осадков, представленных в нижней части скважины 3 (начало второй половины каргинского интерстадиала – МИС-3; 40–38 тыс. л.н.);

– формирование песчаных отложений второй надпойменной террасы р. Хейгияха (верхняя часть скважин 2 и 3) в русловых и частично субаэральном обстановках в начале сартанского криохрона (МИС-2; 27–24 тыс. л.н.);

– перерыв осадконакопления в сартанском криохроне (МИС-2; 24–11.7 тыс. л.н.), вызванный похолоданием и ослаблением речного стока, появление морозобойных трещин и криотурбаций;

– заболачивание террасы в начале голоцена (МИС-1), что подтверждается датировками торфа в скважинах 2 и 3 (10.6–9.8 тыс. л.н.). Формирование болот на речных террасах происходило в северотаежных условиях;

– начало пучения и формирования бугров и гряд связано, по-видимому, с похолоданием в суббореальном периоде (5.5–5.0 тыс. л.н.). Пучение могло происходить в более холодных климатических условиях по сравнению с современными.

Результаты ряда работ [Пономарева и др., 2012; Зыкина и др., 2017] позволяют судить о неоднократной смене климатических условий на рассматриваемой территории в позднем голоцене (2 тыс. л.н. – настоящее время). В периоды похолодания активизировались криогенные процессы (льдонакопления и пучения), в периоды потеплений усиливались процессы торфообразования. В настоящее время на крупных буграх и грядах верхний органический слой гряды пучения постепенно становится тоньше, увеличивается глубина сезонного протаивания, улучшаются условия дре-

нирования, активизируются процессы эрозии, т. е. происходит переход от торфяно-минерального к минеральному типу [Бердников и др., 2019].

ВЫВОДЫ

Результаты проведенного исследования позволяют сделать вывод, что рассматриваемая грядка пучения имеет преимущественно миграционный генезис (при дополняющем влиянии инъекций льда) и относится к торфяно-минеральному типу. Грядка характеризуется трехслойным торфяно-песчано-суглинистым строением. Пучению подвергается нижний суглинистый горизонт, объемная льдистость которого составляет ~60 %. Песчаный горизонт формировался в конце каргинского (МИС-3) и начале сартанского (МИС-2) времени (40–24 тыс. л.н.). Заболачивание участка произошло в начале голоцена (МИС-1; 10.6–9.8 тыс. л.н.). Начало активного пучения и формирования бугров и гряд на изучаемой территории относится, по-видимому, к похолоданию суббореального периода голоцена (5.5–5.0 тыс. л.н.). Процессы пучения происходили в более холодных климатических условиях по сравнению с современными. В настоящее время верхний органический слой грядки пучения постепенно становится тоньше. Стоит отметить, что при проведении детальных исследований крупнобугристых торфяников на севере Западной Сибири целесообразно рассматривать торфяно-минеральные и минеральные формы пучения (бугры и гряды) как отдельный тип криогенного рельефа.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ямало-Ненецкого автономного округа (проекты № 19-45-890008, 19-29-05267) и в рамках государственного задания ИГМ СО РАН.

Литература

- Бердников Н.М., Гравис А.Г., Дроздов Д.С. и др.** Льдистость многолетнемерзлых пород, слагающих бугры пучения в бассейне реки Надым // Криосфера Земли, 2019, т. XXIII, № 2, с. 29–37.
- Брадучан Ю.В., Василенко Е.П., Воронин А.С. и др.** Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1:1 000 000 (третье поколение). Сер. Западно-Сибирская. Лист Q-43 – Новый Уренгой. Объяснит. записка. СПб., Картогр. ф-ка ВСЕГЕИ, 2015, 320 с.
- Васильчук Ю.К.** Выпуклые бугры пучения многолетнемерзлых торфяных массивов. М., Изд-во Моск. ун-та, 2008, 571 с.
- Геологическая** съемка м-ба 1:1 000 000 бассейна р. Хейги-Яха (Лонг-Юган) (отчет партии № 4). Л., ВСЕГЕИ, 1954, 200 с.
- Евсеев В.П.** Миграционные бугры пучения северо-востока европейской части СССР и Западной Сибири // Проблемы криолитологии. М., Изд-во Моск. ун-та, 1976, вып. V, с. 95–159.
- Зыкина В.С., Зыкин В.С., Вольвах А.О. и др.** Строение, криогенные образования и условия формирования верхне-четвертичных отложений Надымского Приобья // Криосфера Земли, 2017, т. XX, № 6, с. 14–25.
- Кац Н.Я.** Атлас растительных остатков в торфах / Н.Я. Кац, С.В. Кац, Е.И. Скобеева. М., Недра, 1977, 370 с.
- Ландшафты** криолитозоны Западно-Сибирской нефтегазодной провинции. Новосибирск, Наука, 1983, 159 с.
- Москаленко Н.Г., Пономарева О.Е.** Изменения растительности и геокриологических условий бугров пучения, нарушенных линейным строительством в северной тайге Западной Сибири // Криосфера Земли, 2004, т. VIII, № 2, с. 10–16.
- Москаленко Н.Г., Пономарева О.Е., Гравис А.Г., Бердников Н.М.** Изменение геокриологических условий // Комплексный мониторинг северотаежных геосистем Западной Сибири. Новосибирск, Акад. изд-во “Гео”, 2012, с. 105–119.
- Пономарева О.Е.** Природоохранное районирование бассейна реки Надым (Западная Сибирь) // Криосфера Земли, 2010, т. XIV, № 2, с. 46–55.
- 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.
- Попов А.И.** Мерзлотные явления в земной коре (криолитология). М., Изд-во Моск. ун-та, 1967, 304 с.
- Растительный** покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск, Наука, 1985, 248 с.
- Рухин Л.Б.** Основы литологии: Учение об осадочных породах. Л., Недра, 1969, 703 с.
- Сизов О.С., Вольвах А.О., Вишневский А.В., Соромотин А.В.** Литологические и геоморфологические признаки генезиса верхней толщи четвертичных отложений в нижнем течении р. Надым // Пробл. регион. экологии, 2020, № 3, с. 84–97.
- Тыртиков А.П.** Динамика растительного покрова и развитие мерзлотных форм рельефа. М., Наука, 1979, 116 с.
- Тюремнов С.Н.** Торфяные месторождения. М., Недра, 1976, 488 с.
- Хабаков А.В.** Об индексах окатанности галек // Сов. геология, 1946, № 10, с. 46–52.
- Шполянская Н.А., Евсеев В.П.** Выпуклобугристые торфяники северной тайги Западной Сибири // Природные условия Западной Сибири. М., Изд-во Моск. ун-та, 1972, с. 134–146.
- Bronk R., Lee S.** Recent and planned developments of the Program OxCal // Radiocarbon, 2013, vol. 55, No. 2/3, p. 720–730.
- Calmels F.C., Delisle G., Allard M.** Internal structure and the thermal and hydrological regime of a typical lithalsa: significance for permafrost growth and decay // Can. J. Earth Sciences, 2008, vol. 45, No. 1, p. 31–43.
- Friedman G.** Principles of Sedimentology / G. Friedman, J. Sanders. N.Y., Wiley, 1978, 792 p.
- Krinsley D.H.** Atlas of Quartz Sand Surface Textures / D.H. Krinsley, J.C. Doornkamp. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 2011, 102 p.
- Velichko A.A., Timireva S.** Morphoscopy and morphometry of quartz grains from loess and buried soil layers // GeoJournal, 1995, vol. 36 (2/3), p. 143–149.
- Wolfe S., Stevens C., Gaanderse A., Oldenborger G.** Lithalsa distribution, morphology and landscape associations in the Great Slave Lowland, Northwest Territories, Canada // Geomorphology, 2014, vol. 204, p. 302–313.

References

- Berdnikov N.M., Gravis A.G., Drozdov D.S. et al. Ground ice content of frost mounds in the Nadym river basin. *Earth's Cryosphere*, 2019, vol. XXIII, No. 2, p. 25–32.
- Braduchan Yu.V., Vasilenko E.P., Voronin A.S. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Zapadno-Sibirskaya. List Q-43 – Novyj Urengoj. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Series West Siberian. Sheet Q-43 – Novy Urengoy Explanatory Note]. St. Petersburg, VSEGEI, 2015, 320 p. (in Russian).
- Vasil'chuk Yu.K. Vypuklye bugry pucheniya mnogoletnemerzlyh torfyanyh massivov [Convex Hillocks of Heaving of Permafrost Peat Massifs]. Moscow, Moscow University Publishing House, 2008, 571 p. (in Russian).
- Geologicheskaya syemka M. 1:1 000 000 bassejna r. Hejgi-Yaha (Long-Yugan) (otchet partii No. 4) [Geological survey M. 1:1,000,000 of the Heygi-Yakha basin (Long-Yugan) (report of group No. 4)]. Leningrad, VSEGEI, 1954, 200 p. (in Russian).
- Evseev V.P. Migration hillocks of heaving of the north-east of the European part of the USSR and Western Siberia. In: *Problemy kriolitologii* [Problems of Cryolithology]. Moscow, Moscow University Publishing House, 1976, No. V, p. 95–159 (in Russian).
- Zykina V.S., Zykina V.S., Vol'vah A.O. et al. Upper Quaternary deposits of the Nadym Ob area: stratigraphy, cryogenic forms and deposition environments. *Earth's Cryosphere*, 2017, vol. XXI, No. 6, p. 12–20.
- Kac N.Ya., Kac S.V., Skobeeva E.I. Atlas rastitel'nyh ostatkov v torfah [Atlas of Plant Debris in Peat]. Moscow, Nedra, 1977, 370 p. (in Russian).
- Landshafty kriolitozony Zapadno-Sibirskoj neftegazonosnoj provincii [Landscapes of the Permafrost Zone of the West Siberian Oil and Gas Province]. Novosibirsk, Nauka, 1983, 159 p. (in Russian).
- Moskalenko N.G., Ponomareva O.E. Changes of frost mounds, disturbed by linear building in northern taiga of West Siberia. *Kriosfera Zemli* [Earth's Cryosphere], 2004, vol. VIII, No. 2, p. 10–16 (in Russian).
- Moskalenko N.G., Ponomareva O.E., Gravis A.G., Berdnikov N.M. Change in geocryological conditions. In: *Kompleksnyj monitoring severotaezhnyhgeosistem Zapadnoj Sibiri* [Integrated Monitoring of Northern Taiga Geosystems in Western Siberia]. Novosibirsk, Academic Publishing House "Geo", 2012, p. 105–119 (in Russian).
- Ponomareva O.E. Nature conservation zoning in Nadym river basin (West Siberia). *Kriosfera Zemli* [Earth's Cryosphere], 2010, vol. XIV, No. 2, p. 46–55 (in Russian).
- Ponomareva O.E., Gravis A.G., Berdnikov N.M. Contemporary dynamics of frost mounds and flat peatlands in northern taiga of West Siberia (on the example of Nadym site). *Kriosfera Zemli* [Earth's Cryosphere], 2012, vol. XVI, No. 4, p. 21–30 (in Russian).
- Popov A.I. Merzlotnye yavleniya v zemnoj kore (kriolitologiya) [Permafrost Phenomena in the Earth's Crust (Cryolithology)]. Moscow, Moscow University Publishing House, 1967, 304 p. (in Russian).
- Rastitel'nyj pokrov Zapadno-Sibirskoj ravniny [Vegetation of the West Siberian Plain]. Novosibirsk, Nauka, 1985, 248 p. (in Russian).
- Ruhin L.B. Osnovy litologii: Uchenie ob osadochnyh porodah [Basics of Lithology: The Doctrine of Sedimentary Rocks]. Leningrad, Nedra, 1969, 703 p. (in Russian).
- Sizov O.S., Volvakh A.O., Vishnevsky A.V., Soromotin A.V. Lithological and geomorphological signs of the genesis of the upper stratum of Quaternary deposits in the lower reaches of the river Nadym. *Problemy Regional'noj Ekologii*, 2020, No. 3, p. 84–97.
- Tyrtikov A.P. Dinamika rastitel'nogo pokrova i razvitie merzlotnyh form rel'efa [The Dynamics of Vegetation and the Development of Permafrost Landforms]. Moscow, Nauka, 1979, 116 p. (in Russian).
- Tyuremnov S.N. Torfyanye mestorozhdeniya [Peat Deposits]. Moscow, Nedra, 1976, 488 p. (in Russian).
- Habakov A.V. About pebble roundness indices. *Sovetskaya geologiya* [Soviet Geology], 1946, No. 10, p. 46–52.
- Shpolyanskaya N.A., Evseev V.P. Convex peatlands of the northern taiga of Western Siberia. In: *Prirodnye usloviya Zapadnoj Sibiri* [Natural Conditions of Western Siberia]. Moscow, Moscow University Publishing House, 1972, p. 134–146 (in Russian).
- Bronk R., Lee S. Recent and planned developments of the Program OxCal. *Radiocarbon*, 2013, vol. 55, No. 2/3, p. 720–730.
- Calmels F.C., Delisle G., Allard M. Internal structure and the thermal and hydrological regime of a typical lithalsa: significance for permafrost growth and decay. *Can. J. Earth Sciences*, 2008, vol. 45, No. 1, p. 31–43.
- Friedman G., Sanders J. *Principles of Sedimentology*. N.Y., Wiley, 1978, 792 p.
- Krinsley D.H., Doornkamp J.C. *Atlas of Quartz Sand Surface Textures*. Cambridge, Cambridge University Press, 2011, 102 p.
- Velichko A., Timireva S. Morphoscopy and morphometry of quartz grains from loess and buried soil layers. *GeoJournal*, 1995, vol. 36 (2/3), p. 143–149.
- Wolfe S., Stevens C., Gaanderse A., Oldenborger G. Lithalsa distribution, morphology and landscape associations in the Great Slave Lowland, Northwest Territories, Canada. *Geomorphology*, 2014, vol. 204, p. 302–313.

*Поступила в редакцию 20 апреля 2020 г.,
после доработки – 5 ноября 2020 г.,
принята к публикации 24 декабря 2020 г.*