

# ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БУГРИСТЫХ ЛАНДШАФТОВ В РАЙОНЕ УЧЕБНО-НАУЧНОГО ПОЛИГОНА «ХАНОВЕЙ»

## ENGINEERING-GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF PALSA AND LITHALSA LANDSCAPES IN THE AREA OF THE KHANOVEY SCIENCE EDUCATION STATION

### **БУДАНЦЕВА Н.А.**

*Старший научный сотрудник географического факультета МГУ им.*

*М.В. Ломоносова, к.г.н., г. Москва*

### **ГОРШКОВ Е.И.**

*Научный сотрудник геологического факультета МГУ им. М.В.*

*Ломоносова, к.г.-м.н., г. Москва*

### **ИСАЕВ В.С.**

*Старший научный сотрудник геологического факультета МГУ им. М.В.*

*Ломоносова, к.г.-м.н., г. Москва*

### **СЕМЕНКОВ И.Н.**

*Аспирант географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, г.*

*Москва*

### **УСОВ А.Н.**

*Научный сотрудник геологического факультета МГУ им. М.В.*

*Ломоносова, г. Москва*

### **ЧИЖОВА Ю.Н.**

*Старший научный сотрудник географического факультета МГУ им.*

*М.В. Ломоносова, к.г.н., г. Москва*

### **ВАСИЛЬЧУК Ю.К.**

*Профессор географического и геологического факультетов МГУ им.*

*М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., действительный член Российской*

*академии естественных наук, г. Москва, vasilch\_geo@mail.ru ,*

*vasilch@geol.msu.ru*

### **BUDANTSEVA N.A.**

*Senior staff scientist of the Geography Faculty of Lomonosov Moscow State*

*University, PhD (candidate of science in Geography), Moscow*

### **GORSHKOV E.I.**

*Staff scientist of the Geology Faculty of Lomonosov Moscow State*

*University, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), Moscow*

### **ISAEV V.S.**

*Senior staff scientist of the Geology Faculty of Lomonosov Moscow State*

*University, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), Moscow*

### **SEMENKOV I.N.**

*Postgraduate student of the Geography Faculty of Lomonosov Moscow State*

*University, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), Moscow*

### **USOV A.N.**

*Staff scientist of the Geology Faculty of Lomonosov Moscow State*

*University, Moscow*

### **CHIZHOVA JU.N.**

*Senior staff scientist of the Geography Faculty of Lomonosov Moscow State*

*University, PhD (candidate of science in Geography), Moscow*

### **VASIL'CHUK YU.K.**

*Professor of the Geography and Geology Faculties of Lomonosov Moscow*

*State University, DSc (doctor of science in Geology and Mineralogy),*

*member of the Russian Academy of Natural Sciences, Moscow,*

*vasilch\_geo@mail.ru, vasilch@geol.msu.ru*

### **Ключевые слова:**

*бугристый ландшафт; криогенный рельеф; полигональный рельеф; бугры пучения; пальза; литальза; учебно-научный полигон «Хановей»; Большеземельская тундра; многолетнемерзлые породы.*

### **Key words:**

*hillock (palsa and lithalsa) landscape; cryogenic relief; polygonal relief; frost heaving hillock; palsa; lithalsa; Khanovey science education station; Bol'shezemel'skaya tundra; permafrost soils.*

### **Аннотация**

**Выполнено первое обобщение данных об инженерно-геологических и геохимических особенностях бугристых ландшафтов в районе учебно-научного полигона «Хановей», расположенного за Полярным кругом на крайнем северо-востоке Республики Коми в Большеземельской тундре. Полигон расположен в зоне сплошного с поверхности распространения многолетнемерзлых пород со среднегодовой температурой от минус 1 до минус 4 °С. На поверхности грунтов развита сеть морозобойных трещин, формирующая слабовыраженный полигональный рельеф. Бугры пучения с торфом на поверхности (пальза) и полностью минеральные (литальза) — одна из самых распространенных форм криогенного рельефа в пределах Хановейского полигона.**

### **Abstract**

**The authors carried out the first integration of data on engineering-geological and geochemical features of hillock (palsa and lithalsa) landscapes in the area of the Khanovey science education station which is situated beyond the Arctic Circle in the far north-east of the Komi Republic in the Bolshezemel'skaya tundra. The Khanovey science education station is situated in the area of continuous (from the surface) permafrost with the average ground temperature varying from minus 1 to minus 4 °C. A network of frost fissures having slight evident polygonal relief is developed on the earth surface. Frost heaving hillocks covered with peat (palsa) and totally mineral ones (lithalsa) are among the most common cryogenic relief forms within the Khanovey science education station.**



## Введение

Учебно-научный полигон «Хановей» находится в районе станции (и одноименного поселка) Хановей (рис. 1) на железнодорожном перегоне Воркута — Печора Северной железной дороги. Он расположен за Полярным кругом на крайнем северо-востоке республики Коми в Большеземельской тундре и административно входит в состав Воркутинского городского округа.

Поселок Хановей расположен в 31 км от города Воркуты (67°16'58'' с.ш., 63°39'06'' в.д.) на берегу одноименной реки. Он был образован 21 июня 1949 г. Название поселка переводится с ненецкого языка как «сокол», «ястреб». С 1949 по 1966 г. он имел статус поселка городского типа. В 1959 г. население Хановей составляло 3134 человека, а в 2011 г. — 4 человека.

Район исследования характеризуется сплошным развитием с поверхности четвертичных отложений, залегающих на коренных пермских породах (рис. 2). На вскрытую глубину до 5 м четвертичные грунты представлены современными аллювиальными и покровными образованиями, толщей надморенных озерно-аллювиальных отложений. Покровные грунты представлены суглинками и супесями (PrQ-IV) желто-коричневого цвета, озерно-аллювиальные — серо-коричневыми суглинками (IaQ-III) с линзами сильно опесчаненных супесей, прослоями песка, присутстви-



Рис. 1. Вид с вертолета на станцию Хановей Северной железной дороги (фото Р. Габбасова)

ем полусгнивших растительных остатков и редкими включениями гравия.

Инженерно-геологические условия района осложнены наличием многолетнемерзлых пород (ММП).

В ландшафтном отношении участок представляет собой торфяно-бугристую тундру с системой микропонижений, ложбинок, перемежающихся с караваяобразными многолетнемерзлыми буграми.

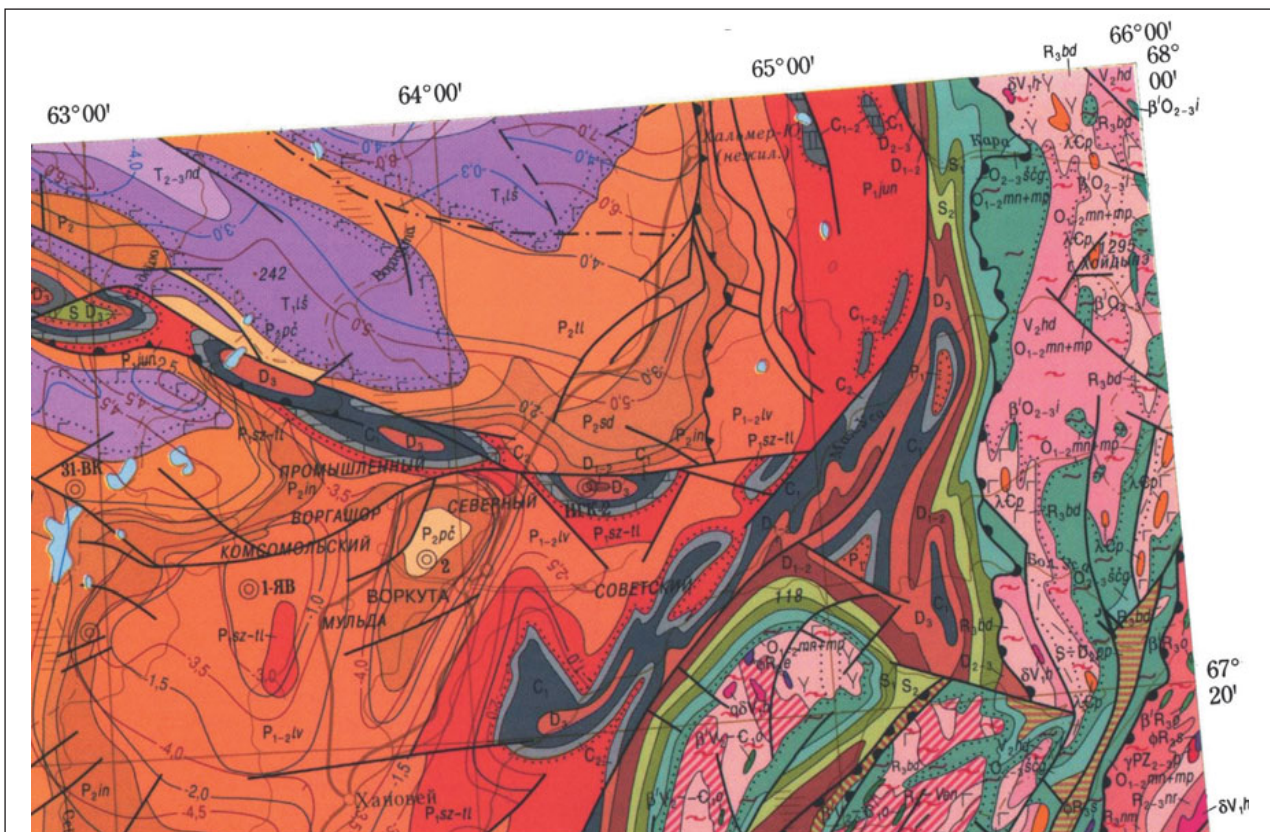
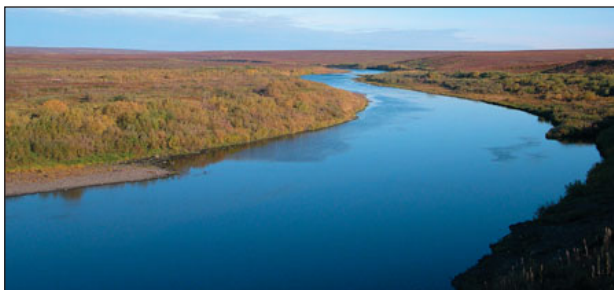


Рис. 2. Фрагмент карты донеогеновых образований, в пределах которого расположен учебно-научный полигон «Хановей». Условные обозначения: P<sub>1-2</sub> — ранний и поздний пермский период, Воркутинская серия; P<sub>1-2</sub> Iv — Лекворкутинская свита — переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитов, пласты угля (более 730 м); P<sub>1</sub>tl — Талатинская свита — переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитов (около 400 м); P<sub>1</sub>cz — Сизымская свита — мергели, глинистые известняки (около 6 м); C<sub>1-2</sub> — ранний и средний каменноугольный период; D<sub>1-2</sub> — ранний и средний девонский период, D<sub>3</sub> — поздний девонский период; S<sub>1-2</sub> — ранний и средний силурский период; O<sub>1-2</sub> — ранний и средний ордовикский период; O<sub>3</sub> — поздний ордовикский период



**Рис. 3.** Схема расположения учебно-научного полигона «Хановей» (в красной рамке) на берегу реки Воркуты на основе аэрофотоснимка



**Рис. 4.** Река Воркута в месте ее пересечения железной дорогой Воркута — Москва близ устья реки Юнь-Яга (Юньяха)



**Рис. 5.** Тундра на левобережье и лесотундровые сообщества в пойме реки Воркуты вблизи железнодорожной станции Хановей (фото И. Бекирова)



**Рис. 6.** Кустарники вблизи станции Хановей

Полигон располагается на правом берегу реки Воркуты (рис. 3, 4), являющейся притоком реки Усы. Общая длина Воркуты составляет 182 км. В районе полигона эта река протекает вдоль Северной железной дороги от железнодорожного моста до станции 1515 км (рис. 4). На данном участке находятся железнодорожные станции Тальник, Хановей, Песец и 1515 км. В районе станции Тальник в Воркуту впадает река Юнь-Яга. Затем русло Воркуты поворачивает на юго-восток. Здесь начинается зона лесотундры. В нескольких километрах выше устья через Воркуту перекинут мост железнодорожного переезда Сейда — Лабытнанги.



**Рис. 7.** Мхи, лишайники и кустарнички на кочковатых болотах на территории полигона «Хановей»



## Климат

Характерной особенностью климата исследуемой территории является продолжительная холодная зима (с октября по май включительно), сменяющаяся коротким и прохладным летом, длящимся около двух месяцев (июль — август).

Район характеризуется умеренно континентальным умеренно холодным климатом. Среднегодовое количество осадков варьирует от 700 до 800 мм, составляя 450–500 мм в теплый период и 175–275 мм — в холодный. Среднегодовая температура воздуха — минус 5,2 — минус 5,3 °С, средняя температура января — минус 19 — минус 20,8 °С, средняя температура июля — плюс 11,6 — плюс 13,6 °С, годовая сумма положительных темпе-

ратур составляет 800–1400 °С (по данным метеостанций «Воркута» и «Сивая Маска» [3]). В декабре 1978 г. была зафиксирована температура минус 57 °С. Абсолютная максимальная температура воздуха — плюс 31 °С. Полярная ночь длится 11 суток (с 17 по 27 декабря), полярный день — 46 суток (с 30 мая по 14 июля).

## Растительность

Для бугристых ландшафтов в районе Хановей характерно господство сфагновых или торфяных белых болотных мхов. Для напочвенного растительного покрова характерны и зеленые мхи родов политрихум, плеуроциум и дикранум. Из сфагновых мхов постоянны только виды рода сфагнум.



Рис. 8. Растения, типичные для бугристых торфяников полигона «Хановей»: а — багульник; б — сфагнум; в — брусника; г — пушица



Рис. 9. Тимьян голостебельный из семейства яснотковых (фото С.П. Пасхального)

В сложении напочвенного покрова тундровых ценозов, выпуклобугристых и плоскобугристых болот значительное участие принимают также лишайники. Из кустистых лишайников доминируют цетрария и кладония. Специфичен по составу набор травянистых растений и кустарничков. Среди них преобладают багульник, пушица, морошка, карликовая береза, клюква,

брусника, черника. Менее постоянны и обильны на буграх кассандра и андромеда. В долине реки развиты кустарники и отдельные деревья (рис. 5, 6). В межбугровых понижениях распространены пушицево-сфагновые, осоково-сфагновые, вахтовые и разнотравно-сфагновые сообщества (рис. 7, 8).

На территории полигона «Хановой» встречается редкий вид полукустарничка, включенный в Красную книгу, — тимьян голостебельный (*Thymus glaberrimus* Klok.) из семейства яснотковых, или губоцветных (рис. 9). Он распространен на Северном, Приполярном и Полярном Урале, впервые был описан в окрестностях железнодорожной станции Хановой [8]. Этот вид очень уязвим в связи с его очень небольшим ареалом, малочисленностью популяций, низкой семенной продуктивностью. Трансформация его местообитаний особенно активна в связи со строительными работами.

Мезорельеф представлен небольшими холмами, собранными в гряды, и холмисто-грядовыми формами субмеридионального простирания, чередующимися с обширными, часто заболоченными понижениями. Относительная высота увалов над уровнями рек колеблется в пределах 25–70 м, ширина — от 2 до 6 км и

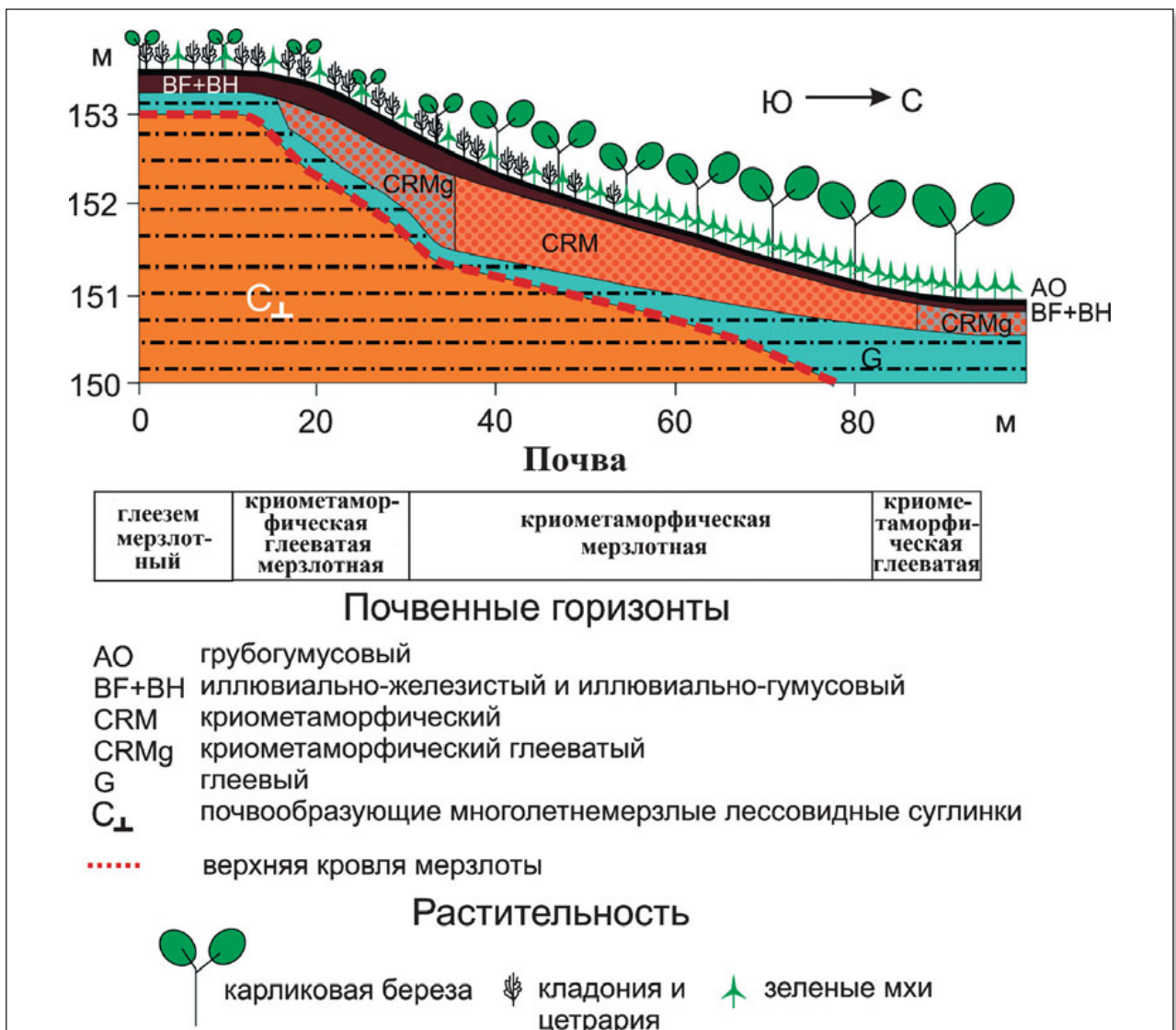


Рис. 10. Продольный профиль водосбора в пределах полигона «Хановой»



более. Поверхность увалов представляет собой волнистую равнину с колебанием относительных высот от 1,5 до 2 м. Здесь широко распространены сравнительно неглубокие и неширокие понижения удлиненной формы с временными водотоками, покрытые травянистой растительностью и зарослями ив [13].

Водораздельные поверхности и другие положительные формы рельефа заняты кочковато-ерниковыми участками с мелкобугристым микрорельефом [17]. Так как мощность снежного покрова на этих открытых пространствах в зимнее время составляет 10–20 см, произрастающие здесь кустарнички (карликовая береза, багульник, голубика) угнетены и имеют форму одноствельных растений. Под такой растительностью почвенные микрокомплексы не формируются, так как равномерное распределение растительности на поверхности не создает ощутимой разницы во время замерзания почвы. В верхних частях склонов, где снежный покров сохраняется и произрастают разветвленные кустарнички, высота бугров несколько увеличивается [7].

## Почвы

Структура почвенного покрова на рассматриваемой территории была изучена на примере небольшого водосбора одной из балок площадью 0,25 га, продольный профиль которого представлен на рис. 10. Глубина сезонно-талого слоя на этом водосборе в связи с латеральным внутрипочвенным переносом влаги увеличивается от водораздела (30–40 см) к склонам (40–100 см). В днище водосбора его мощность превышает 1 м.

Междуречье с хорошо выраженным кочковато-западным микрорельефом (кочки имеют высоту 20 см и диаметр 1–2 м) покрыто ерником зеленомошно-беломошным, произрастающим на тиксотропных глеевых криоземах, или криогенных глееземах, мощностью 30–40 см (см. рис. 10). Стелющиеся неразветвленные особи карликовой березы высотой 15–20 см покрывают 15–20% поверхности (табл. 1).

Трансэлювиальные ландшафты приурочены к верхним частям пологих склонов, покрытых беломошно-

зеленомошным ерником, произрастающим на криометаморфических мерзлотных почвах, оттаивающих до глубины 40–70 см. Увеличение глубины протаивания и улучшение дренажа приводят к формированию криогенно оструктуренных почв с окислительной обстановкой в их верхней части. В отличие от автономных ландшафтов здесь микрорельеф не выражен, а карликовые березы имеют подушкообразный вид, хорошо разветвлены и достигают высоты 20–40 см, покрывая 20–50% поверхности.

Трансэлювиально-аккумулятивными ландшафтами с зеленомошными ерниками на криометаморфических глееватых почвах заняты нижние части склонов балки и ее днище, где мерзлота залегает на глубине более 1 м. Скапливающееся здесь значительное количество снега обуславливает произрастание высоких хорошо разветвленных карликовых берез высотой 50–60 см, покрывающих 30–40% поверхности. Дополнительное поступление влаги с латеральным переносом и ее застой приводят к формированию глеевой обстановки.

По мере роста уклона склонов и улучшения дренажа оглеенность и тиксотропность почв уменьшается. Одновременно с этим наблюдается формирование икряной структуры в срединном горизонте почв, который состоит из идиоморфных округлых образцов диаметром до 5 мм на наиболее дренированных участках. Оструктуренность снижается в почвах с глубиной и по мере уменьшения уклона склонов из-за оглеения. В результате в первом случае формируются криогенно-слоистые агрегаты, а во втором — крупитчатые отдельности разной степени выраженности (рис. 11).

## Геохимические особенности почвенного покрова

Почвы изученного балочного водосбора являются легкосуглинистыми. В их гранулометрическом составе доминирует крупная пыль, содержание которой остается постоянным в большинстве разрезов или монотонно убывает с глубиной. В верхней части почвенного профиля ее доля в 2–3 раза выше, чем любой другой гранулометрической фракции. Содержание илистой и пылевой фракций слабо варьирует по профилю почв с коэффициентом вариации  $C_v = 2 \div 38\%$  (ко-

Таблица 1

Краткая характеристика ландшафтов в пределах изучаемого водосбора							
Род ландшафта	Показатель						
	Микрорельеф	Растительность				Мощность СТС*, см	Почвы
		Карликовая береза			Доминанты мохово-лишайникового яруса		
		Проективное покрытие, %	Жизненная форма	Высота, см			
Автономный междуречный	кочковато-западный	5–15	стелющаяся	15–20	Cladonia	30–40	глееземы криогенные
Трансэлювиальный склоновый	не выражен	30–40	подушко-видная	15–50	Heliconium, Cladonia	40–100	криометаморфические типичные и глееватые
Трансэлювиально-аккумулятивный (на днище временного водотока)	мелко-кочковатый	30–40	кустарниковая	50–60	Heliconium	> 100	криометаморфические глееватые

\* СТС — сезонно-талый слой.

личество образцов  $n = 37$ ). Вариабельность содержания песчаных фракций существенно выше и составляет 80–140%.

Вариабельность содержания гранулометрических фракций не снижается при рассмотрении более однородной выборки данных по органоминеральным горизонтам, за исключением мелкого песка, для которого  $C_v$  уменьшается с 80 до 36% ( $n = 37$  и 12 соответственно), что может указывать на криогенную дезинтеграцию наиболее крупных частиц в верхней части почвенного профиля. В почвах отсутствуют устойчивые тренды латерального и радиального распределения гранулометрических фракций. Это связано с криогенной гомогенизацией — диспергированием крупных и коагуляцией мелких частиц до размеров частиц крупной пыли, которая является доминирующей в гранулометрическом составе. Только физическая глина слабо накапливается в средней части почв, что является реликтом более теплых эпох. Слабая текстурная дифференциация почв ландшафтов юга Большеземельской тундры ранее отмечалась в литературе [11, 18].

В отличие от гранулометрического состава смена кислотно-щелочных условий и содержания углерода органических веществ в почвах существенно более контрастна. Средняя величина pH в верхней части почв составляет  $3,7 \pm 0,3$  ( $n = 13$ ) и достоверно не различается между почвами, развивающимися в различных ландшафтных условиях ( $C_v = 7,8\%$ ).

Выделено три типа радиального распределения величины pH: равномерное, регрессивное и элювиально-иллювиальное (рис. 12). Первый тип характерен для почв водораздела и верхней части склонов левого борта водосбора. В почвах нижней части склонов и днища балки актуальная кислотность монотонно возрастает с глубиной от 3–4 до 4–5 единиц pH. В трех разрезах (на водораздельных позициях, а также в средней части днища балки) выявлено элювиально-иллювиальное распределение pH.

Среднее содержание углерода органических веществ в грубогумусовом горизонте почв составляет  $24 \pm 4\%$  ( $n = 13$ ) и экспоненциально снижается с глубиной до 0,2% в почвообразующей породе. Оно досто-



Рис. 11. Почвы междуречных пространств — глееземы криогенные (а) и криометаморфические почвы склонов (б)



верно не различается между почвами, развивающимися в различных ландшафтных условиях.

Содержание Fe и Co в почвах района учебно-научного полигона «Хановой» близко к их содержанию в торфяниках Мульда и Советский Воркутинского района [9]. Рассматриваемые почвы обогащены Zn, Sr, Cr, Cu, Ni, Mn, Pb по сравнению с их содержанием в торфяниках за счет их повышенного захвата растениями тундры по сравнению с болотистыми.

Содержание биофильных элементов (Co, Mn) в почвах полигона ниже, чем в криоземах Ямала, Pb — выше, а концентрации Cu, Cr, Ni, Sr и Zn существенно не отличаются [21, 10].

Удельная активность искусственного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в рассматриваемых почвах варьирует в пределах 16–240 Бк/кг и соответствует уровням, выявленным в горно-тундровых почвах Алтая [14, 6], но несколько выше, чем в тундрах Якутии, Гыданского и Кольского полуостровов, где его активность составляет 26–90 Бк/кг [20, 2, 19].

Удельная активность таких природных радионуклидов в почвах района учебно-научного полигона «Хановой», как  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , варьирует в пределах 0–180, 15–31 и 4–13 Бк/кг соответственно. Удельная активность  $^{40}\text{K}$  незначительно выше (4–223 Бк/кг) в подстильно-торфяных горизонтах мерзлотно-таежных почв бассейна реки Нижней Тунгуски [15] и существенно выше (158–865 Бк/кг) в горно-тундровых почвах Алтая [6]. Аналогичное распределение свойственно  $^{232}\text{Th}$ , составляя 4–16 Бк/кг в бассейне Нижней Тунгуски и 11–34 Бк/кг на Алтае, что, вероятно, связано с минералогическим составом почвообразующих пород.

### Геохимические особенности отложений

Для характеристики регионального фона химического состава водных вытяжек из образцов различных толщ плейстоценовых отложений Воркутинского района можно использовать данные химического состава глубокой скважины, полученные И.Д. Даниловым [4]. Эта скважина расположена на плоском водоразделе рек Воркута и Сейда. Абсолютная высота ее устья —

228 м, то есть она заложена на одном из наиболее высоких уровней района. Общая мощность четвертичных отложений, вскрытых скважиной, составляет 123,5 м.

Сверху вниз скважиной вскрыты: покровные суглинки (мощностью 1,7 м), бурые суглинки с гравием и галькой (3,5 м), валунно-галечниковые отложения с супесчано-суглинистым заполнителем (10,5 м), толща мелко- и тонкозернистых песков и алевритов с прослоями глин и суглинков (около 80 м) и, наконец, серые плохо сортированные суглинки с галькой, гравием и мелкими валунами (около 30 м).

В составе легкорастворимых солей из образцов нижней толщи серых валунных суглинков преобладают сульфаты и бикарбонаты (рис. 13). Среди катионов резко преобладают ионы калия и натрия. Общее количество легкорастворимых солей в породах, вскрытых скважиной, повышается сверху вниз (см. рис. 13). В нижней толще серых валунных суглинков, слагающих водоразделы, преобладают сульфаты и бикарбонаты, а выше — в песчано-супесчаной толще — возрастает доля ионов магния и особенно кальция в общем составе катионов. Соотношения анионов в нижних частях песчано-суглинистой толщи остаются теми же, что и в нижележащей толще серых валунных суглинков. В верхних частях песчано-суглинистой толщи, вышележащих валунно-галечных отложениях и кроющих их суглинках с гравием и галькой количественные соотношения легкорастворимых солей очень близки между собой. Характерно резкое уменьшение доли сульфатов в общем составе солей и преобладание бикарбонатов над всеми прочими. Существенно понижается содержание ионов кальция и магния, в то время как концентрации калия и натрия остаются прежними, в результате чего доля последних в общем составе катионов возрастает и местами составляет более 50%. Резкое снижение общего количества солей за счет особенно сильного сокращения содержания бикарбонатов, солей калия и натрия отмечается в покровных суглинках. Содержание хлора в целом очень мало и несколько повышается при движении вниз по разрезу.

Как уже отмечалось, общая картина распределения легкорастворимых солей отражает последовательное

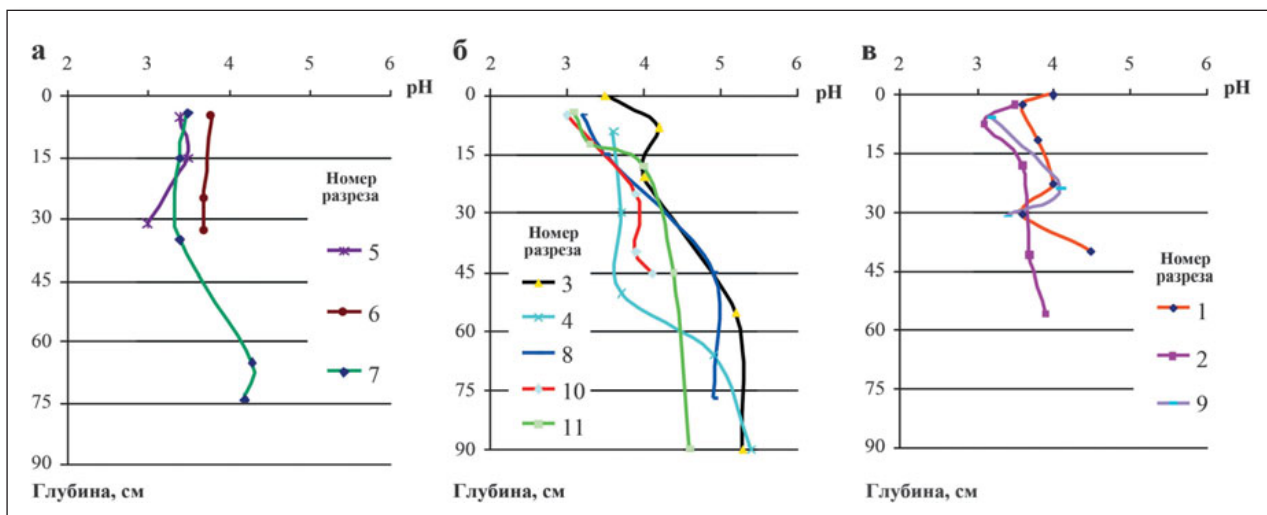


Рис. 12. Распределение актуальной кислотности в почвах: а — водораздела и верхних частей склонов левого борта изучаемой балки; б — нижних частей склонов и дна балки; в — водораздела и средней части дна балки



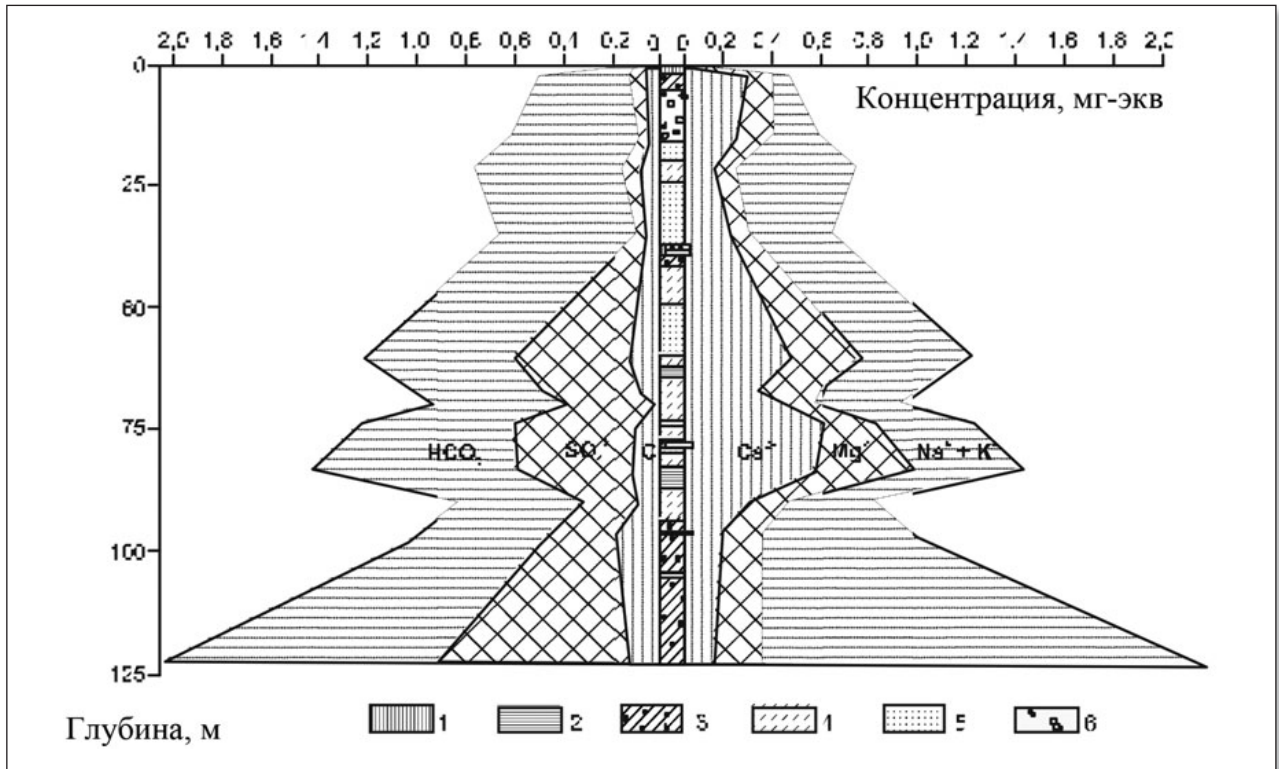


Рис. 13. Содержание ионов легкорастворимых солей в водных вытяжках из образцов скважины глубокого бурения № 1 на водоразделе рек Воркута и Сейда (по [4]). Условные обозначения: 1 — покровный суглинок; 2 — глина; 3 — суглинок валунный; 4 — супесь; 5 — песок; 6 — валунно-галечниковые отложения

уменьшение степени засоленности пород вверх по разрезу. При этом если для нижних частей разреза (серых суглинков с галькой) характерно преобладание солей калия и натрия, то для верхних и особенно средних (нижних частей песчано-алевритовой толщи) отличительной чертой является повышенное содержание солей кальция и магния. Резкое преобладание бикарбонатов в верхних частях песчано-супесчаной толщи, в перекрывающих ее валунно-галечных отложениях и в вышележащих суглинках с гравием является отражением общей повышенной карбонатности этих грунтов, что подтверждается данными минералогического и валового химического анализа.

### Криогенные ландшафты

Исследуемый участок находится в пределах экотона «тундра — лесотундра», который представляет собой

переходную зону между двумя смежными и в то же время различными экологическими системами — тундровой и таежной.

Европейские южная тундра и лесотундра представляют собой биоклиматогенный экотон, обладающий повышенной чувствительностью к фоновым изменениям климата и антропогенному влиянию, поскольку в нем происходит уменьшение в растительном покрове ценотической роли лесных и кустарниковых сообществ при переходе от фитоценозов редкостойных северотаежных лесов к лесотундровым редколесьям и далее к ерниковым и кустарничковым тундрам.

На рассматриваемой территории граница сплошного распространения многолетнемерзлых пород совпадает с южной границей тундровых ландшафтов.

Крупнобугристые болота формируются в депрессиях рельефа — преимущественно на водоразделах и надпойменных террасах. Могут встречаться в виде не-

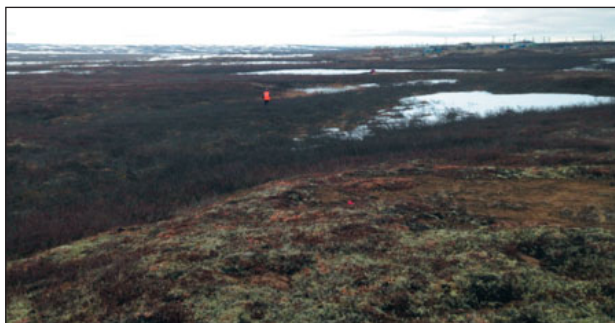


Рис. 14. Склон бугра пучения высотой 2 м и диаметром 50 м и межбугровое понижение с галиковой зоной на учебно-научном полигоне «Хановей»



Рис. 15. Блочные формы микрорельефа на поверхности плоскобугристого мерзлого массива



больших массивов, состоящих из нескольких бугров, но чаще образуют обширные системы со сложной морфологической структурой. Такие системы представляют собой комплексы бугров разной высоты и расположенных между ними обводненных пространств (топей, ложбин, ручьев, озерков) с сочетанием крупнобугристых (рис. 14) и площадных плоскобугристых (рис. 15) форм, на поверхности которых отмечаются полигонально-блочный микрорельеф и термокарстовые ложбинки.

Наиболее характерной ландшафтной чертой района является развитие плоскобугристых и выпуклобугристых мерзлых болот с выраженными в рельефе межбугровыми понижениями. Бугры пучения — как торфяные, так и минеральные — мерзлые, но межбугровые понижения могут быть как мерзлыми, так и тальми, обводненными. В летний период глубина протаивания на буграх составляет 40–70 см.

По форме бугры пучения, как правило, невысокие, выпуклые и плосковершинные, высотой от 1 до 3 м, диаметром от 5 до 60 м. С поверхности и на буграх, и в понижениях отмечается разный по мощности слой торфа, составляющий, как правило, от 0,5 до 1 м.

### Геокриологические условия

Полигон находится в зоне сплошного с поверхности распространения многолетнемерзлых пород. Среднегодовая температура мерзлых грунтов колеблется от минус 1 до минус 4 °С. Нормативная глубина промерзания грунтов согласно СНиП 2.01.01-82 со-

ставляет от 2,0 до 2,5 м. По данным Северного отделения Института мерзлотоведения им. В.А. Обручева АН СССР (преобразованного в 1964 г. в Северное (Воркутинское) отделение НИИ оснований и сооружений Госстроя СССР), глубина сезонного оттаивания на изучаемой территории составляет от 0,2 до 2,5 м. По степени морозоопасности грунты являются сильнопучинистыми.

Одной из особенностей бугристых ландшафтов является сочетание в плане многолетнемерзлых и немерзлых участков. Несмотря на то что район г. Воркуты находится в зоне сплошного (> 80%) распространения многолетнемерзлых пород со средней мощностью мерзлой толщи 100–200 м, ее сплошность нарушается наличием сквозных и несквозных таликов. Так, при бурении двух скважин в районе 2237 км железной дороги Москва — Воркута вблизи станции Хановой в июне 2012 г. (рис. 16) в пределах 20 м в плане были разбурены мерзлые по всей мощности и талые по всей мощности грунты. Интересной особенностью было полное отсутствие торфяного покрова и наличие лишь маломощного почвенно-растительного слоя. Возможно, это было связано с тем, что скважины были заложены вблизи железнодорожного полотна, при устройстве которого был снят почвенно-растительный и торфяной слой.

В 1 км к северу от станции Хановой между железнодорожными ветками северного направления (на Воркуту и Мульду) на удалении 150 м от них была пробурена скважина БП-1 (рис. 17), которая прошла через мерзлый плосковершинный бугор пучения с мохово-травяной растительностью без кустарников. На отобранных в результате бурения образцах проводилось определение физических свойств грунтов (табл. 2), в гранулометрическом составе которых преобладала фракция крупной пыли (ее содержание доходило почти до 45%). Результаты определения гранулометрического состава образцов приведены в табл. 3.

Примерно в 20 км восточнее г. Воркуты в июле 2007 г. сотрудниками института «Фундаментпроект» разбурено два крупных выпуклых бугра высотой 5 м (рис. 18) и 9 м. Первый из них располагался отдельно и был перекрыт с поверхности торфом мощностью около 1 м. В его ядре были вскрыты сильнольдистые грунты. Второй, более высокий, бугор являлся самым крупным из трех бугров, образовавшихся грядой, и был с поверхности сложен минеральным грунтом. Особенности расположения этих бугров, характер покрывавшего их растительного покрова и, главное, их высокая льдистость позволяли с большой долей уверенности отнести их к выпуклым буграм миграционного типа.

Ранее бугры пучения вблизи г. Воркуты изучались в середине 1970-х годов в процессе исследований геокриологических условий района. Тогда был составлен геокриологический профиль, проходивший через миграционный бугор пучения типа пальза [5], с поверхности покрытый торфом мощностью около 2 м, подстилаемым суглинком мощностью немногим более 5 м. Температура грунта, измеренная в скважине, пробуренной на вершине бугра, на глубине 7 м составляла минус 2,0 °С (рис. 19). На смежной территории встречены молодые бугры пучения (рис. 20).

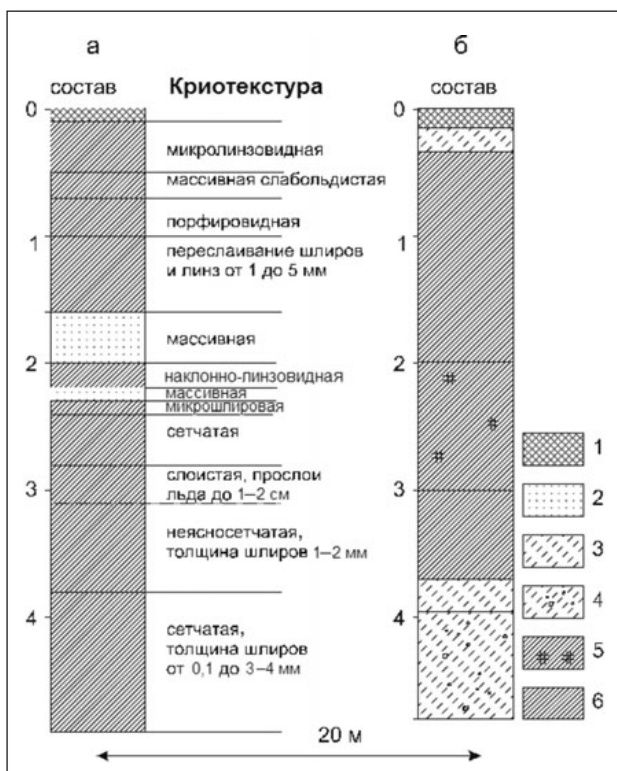


Рис. 16. Состав грунтов и криогенные текстуры в скважинах ВП 14-2 (а) и ВП 14-3 (б) на 2237 км вблизи полигона «Хановой»: 1 — почвенно-растительный слой; 2 — песок; 3 — супесь; 4 — супесь с включением дресвы, гравия; 5 — суглинок оторфованный; 6 — суглинок

## Инженерно-геологические свойства грунтов

Грунты, вскрытые скважинами, представлены песками, супесями и суглинками. Пески разнородные и супеси относятся к сравнительно прочным рыхлым грунтам, имеют плотность от 1,86 до 1,99 г/см<sup>3</sup>. Угол внутреннего трения супеси — 24°, песков — 26 и 38° (табл. 4).

Суглинки отличаются небольшим разнообразием физических свойств: их плотность изменяется от 1,85 до 2,00 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости — от 0,67 до 0,86, естественная влажность — от 22 до 27%. Анализируя изменчивость физико-механических свойств, можно отметить лишь вариативность показателя текучести, который изменяется от 0,42 для суглинков тугопластичных до 1,2 для суглинков текучепластичных. Прочностные свойства меняются незначительно: удельное сцепление — от 16 до 28 кПа, угол внутреннего трения — от 16 до 22°.

Глубина, м	Описание
0–0,2	Талый почвенно-растительный слой. Флора – мох, трава
0,2–0,5	Суглинок мерзлый серый с большим количеством центров ожелезнения. Керн выходит плитками по 3–5 см
0,5–1,3	Суглинок мерзлый коричневый тонкошпировый с видимой льдистостью порядка 30% и с прожилками льда большей мощности. Льдистость растет с увеличением глубины 
1,3–1,7	Суглинок мерзлый серо-бежевый пылеватый с массивной криогенной текстурой, с редкими шпирями. Количество шпиров растет с увеличением глубины 
1,7–2,0	Суглинок мерзлый серый с шпировой криогенной текстурой. Шпирь достигают размера 2 мм. Редко встречаются жилы белого и прозрачного льда толщиной 7–9 мм
2,0–2,1	Прослой крупнокристаллического чистого льда
2,1–3,0	Суглинок мерзлый серый с шпировой криогенной текстурой. Шпирь достигают размера 2 мм. Редко встречаются жилы белого и прозрачного льда толщиной 7–9 мм. В нижней части грунта содержат хорошо разложившееся органическое вещество 

Рис. 17. Данные по скважине БП-1, расположенной на поверхности плосковершинного бугра пучения в 1 км к северу от станции Хановей

По результатам полевых работ 2012 г. было отобрано большое количество образцов в мерзлом состоянии для проведения лабораторных исследований, целью которых было определение параметров пльвунности в условиях трехосного сжатия. Объект исследований был выбран неслучайно — гранулометрический состав грунтов (большое количество пылеватых частиц), представленный в табл. 3, соответствовал теоретическим предпосылкам наличия у них пльвунных свойств. Образцы мерзлого грунта устанавливались в камеру трехосного сжатия, которая впоследствии заполнялась водой. На рисунке 21, а показан образец в момент начала консолидации, а на рисунке 21, б — образец после 30 минут консолидации. На приведенных фотографиях отчетливо видно, что образец после оттаивания не держит форму — происходят значительные объемные деформации, которые делают невозможной дальнейшую работу с такими образцами. Это связано с большой объемной льдистостью этих грунтов в мерзлом состоянии. Таяние льда в грунте приводит к существенным объемным деформациям. Впоследствии для реализации цели исследований — определения параметров пльвунности в лабораторных условиях — был выбран не менее интересный объект исследований — пльвунные



Рис. 18. Гряды пучения (а) и выпуклый миграционный бугор пучения высотой 5 м (б, в) в 20 км восточнее г. Воркуты, исследованный в июле 2007 г. (фото Е.С. Поповой)



Таблица 2

Физические свойства грунтов, отобранных из скважины БП-1							
Глубина отбора образца, м	Влажность			Число пластичности $I_p, \%$	Показатель текучести $I_L$ , д.ед.	Плотность частиц грунта $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	Наименование грунта по ГОСТ 25100-2011
	природная $W_{ес}, \%$	на границе текучести $W_L, \%$	на границе раскатывания $W_P, \%$				
1,1–1,3	125,18	37,8	28,3	9,5	10,18	2,67	Суглинок легкий пылеватый текучий
1,3–1,5	125,82	32,4	24,9	7,5	13,54	2,61	Суглинок легкий пылеватый текучий

Таблица 3

Гранулометрический состав грунтов, отобранных из скважины БП-1									
Глубина отбора образца, м	Содержание фракций, %, с размером частиц, мм								
	5–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	< 0,005
1,1–1,3	-	0,2	0,5	2,5	8,3	21,0	44,7	12,2	10,6
1,3–1,5	0,0	0,1	0,5	3,0	12,4	19,3	43,1	10,8	10,8

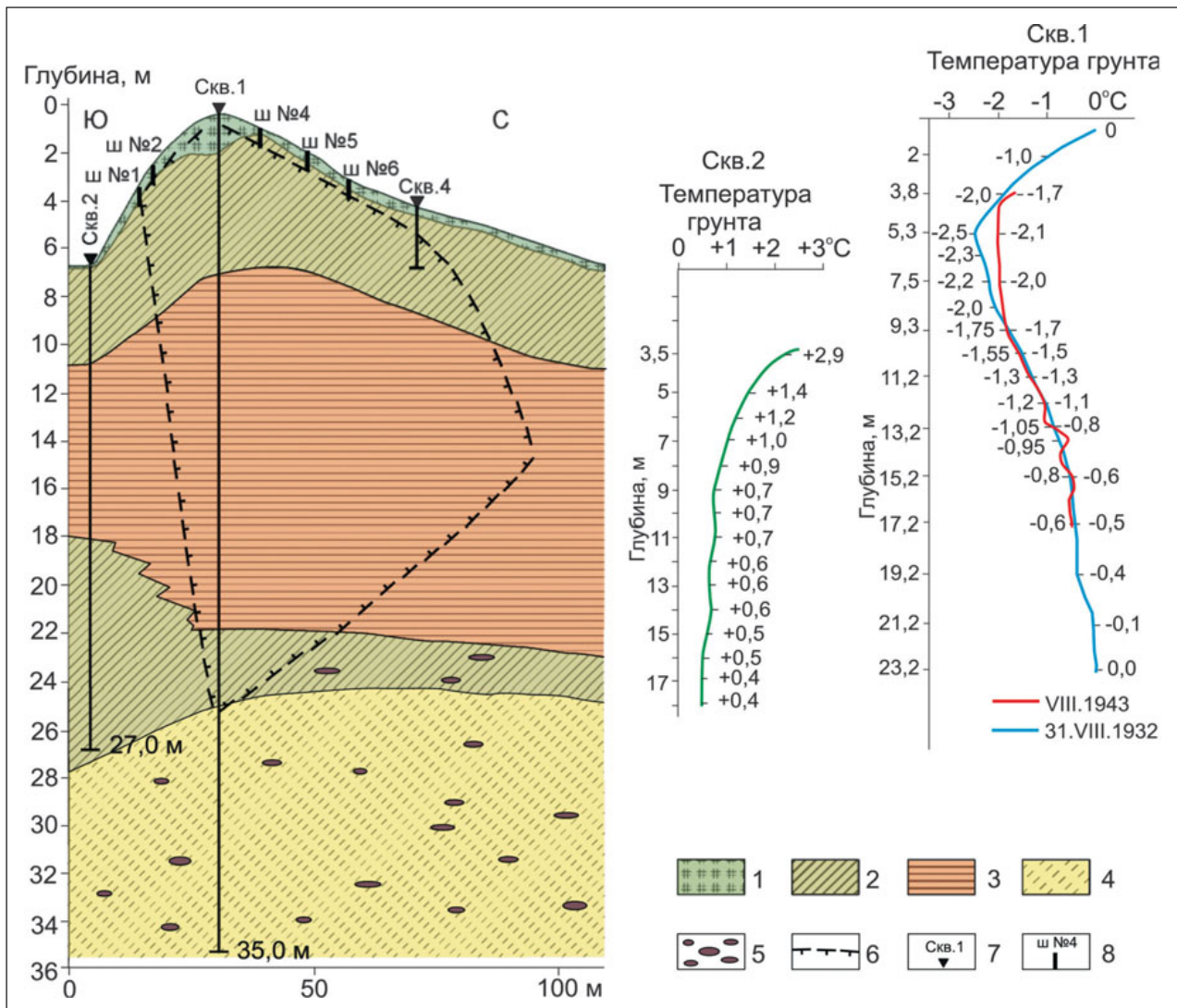


Рис. 19. Геокриологический разрез сегрегационного (миграционного) бугра пучения (пальца) вблизи устья реки Воркуты, составленный В.П. Евсеевым [5] (1974) по материалам Н.Г. Датского и Д.В. Редозубова. Условные обозначения: 1 — торф, 2 — суглинок, 3 — глина, 4 — супесь, 5 — галька, 6 — граница многолетнемерзлых пород, 7 — скважина, 8 — шурф; пунктиром с насечками на разрезе выделено мерзлое ядро бугра



**Рис. 20. Молодой растущий бугор пучения в долине реки Воркуты (фото из архива института «Фундаментпроект»)**

норвежские глины (так называемые quick clay). Эти грунты широко распространены на Скандинавском полуострове и обладают специфическими особенностями. Так, даже при незначительных углах наклона поверхности этих глин они могут приходиться в текучее состояние от незначительного динамического воздействия. В Норвегии, в частности, было несколько оползней с катастрофическими последствиями в результате мгновенной потери несущей способности таких грунтов. Изученные норвежские плывунные глины и грунты района Хановейского полигона обладают некоторым сходством с вышеуказанными, а именно большим количеством пылеватых частиц в своем составе. Однако это пока не позволяет дать точный прогноз поведения этих грунтов как при оттаивании, так и в мерзлом со-

Таблица 4

Характеристики грунтов в районе 2237 км железной дороги Москва — Воркута*										
Значения	Характеристика	Грунт (индекс)								
		Песок гравелистый (t-IV)	Песок (t-IV)	Песчано-гравийная смесь (t-IV)	Супесь пластичная (Pr-IV)	Суглинок мягкопластичный (Pr-IV)	Суглинок мягкопластичный (Ia-III)	Суглинок текучепластичный (Ia-III)	Суглинок текучепластичный (Ia-III)	
Нормативные	Влажность природная $W_e$ , д.ед.	-	-	-	0,24	0,26	0,22	0,27	0,24	
	Влажность на границе текучести $W_L$ , д.ед.	-	-	-	0,28	0,30	0,25	0,25	0,31	
	Влажность на границе раскатывания $W_p$ , д.ед.	-	-	-	0,21	0,21	0,16	0,15	0,19	
	Показатель текучести $I_L$	-	-	-	0,43	0,55	0,67	1,20	0,42	
	Коэффициент пористости, $e$	0,70	0,75	0,70	0,69	0,77	0,67	0,86	0,68	
	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,86	1,90	1,95	1,99	1,95	1,98	1,85	2,00	
	Плотность частиц грунта $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,66	2,66	2,65	2,70	2,71	2,71	2,71	2,71	
	Удельное сцепление $C$ , кПа	-	2	-	13	20	25	16	28	
	Угол внутреннего трения $\phi$ , град.	38	26	-	24	18	19	16	22	
	Модуль деформации $E$ , МПа	30	11	-	16	12	17	8	19	
Коэффициент фильтрации $K_f$ , усл. ед.	8,0	2,0	-	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1		
Расчетные	Удельное сцепление $C$ , кПа, при доверительной вероятности, д.ед.	0,95	-	1,3	-	9	13	17	11	19
		0,85	-	2	-	13	20	25	16	28
	Угол внутреннего трения, град., при доверительной вероятности, д.ед.	0,95	35	24	-	21	16	17	14	19
		0,85	38	26	-	24	18	19	16	22
	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup> , при доверительной вероятности, д.ед.	0,95	1,84	1,88	1,93	1,97	1,93	1,96	1,83	1,98
		0,85	1,86	1,90	1,95	1,99	1,95	1,98	1,85	2,00

\* Физико-механические свойства и плотность приведены для грунтов в мерзлом состоянии.



стоянии. Но в связи со все нарастающим интересом к освоению территории полигона исследования этих грунтов авторами продолжатся.

### Опасные геокриологические процессы

В пределах исследуемого участка на поверхности были отмечены морозобойные трещины и слабовыраженный полигональный рельеф [24].

Наиболее опасными процессами в районе Хановой являются пучение и проседание грунтов, особенно когда они вызывают ежегодные деформации железнодорожного полотна. Так, в 2012 г. деформации земляного полотна выражались в просадках пути на участках между пикетами ПК2226.1+50 и ПК2226.2+80 (с просадками до 23 см), ПК2226.3+75 и ПК2226.5+80 (до 32 см), ПК2226.5+80 и ПК2226.6+80 (9–17 см). По данным центра диагностики Северной железной дороги ОАО «РЖД», просадки происходят с начала эксплуатации дороги. Они начинаются в конце лета, но главным образом путь проседает в сентябре — октябре. Это связано в основном с постепенным оттаиванием (деградацией) и понижением верхней границы многолетнемерзлых пород. Места просадок совпадают с участками, на которых сезонное промерзание не достигает ММП, залегающих в основании насыпи, то есть где между слоем сезонного промерзания и мерзлыми грунтами постоянно имеется слой талых грунтов. В местах таликов и на участках, на которых слой сезонного промерзания смыкается с ММП, просадок пути, как правило, не происходит.

Основной причиной деградации многолетнемерзлой толщи является нарушение ее теплового режима в связи с постройкой железнодорожной линии (рис. 22).

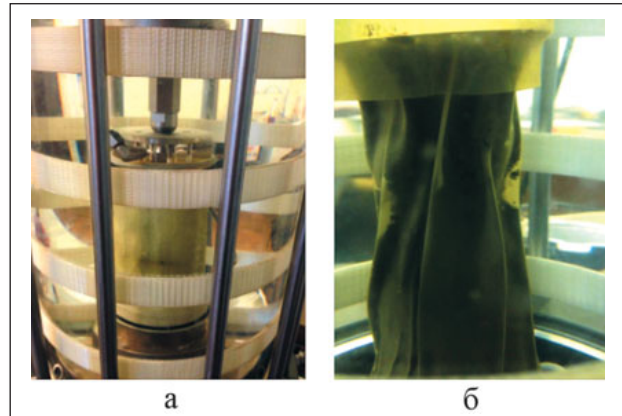


Рис. 21. Образец грунта, отобранный из скважины БП-1 в процессе эксперимента: а — грунт в мембране в момент начала консолидации, б — грунт в мембране после 30 минут консолидации



Рис. 22. Нарушения железнодорожного полотна из-за пучения грунтов на перегоне Хановой — Мульда летом 2006 г. (фото И. Бакирова)



Рис. 23. Бугры пучения (пальза и литальза) в пределах учебно-научного полигона в районе станции Хановой. Красным цветом выделены границы полигона. Желтые точки — участки геодезической съемки



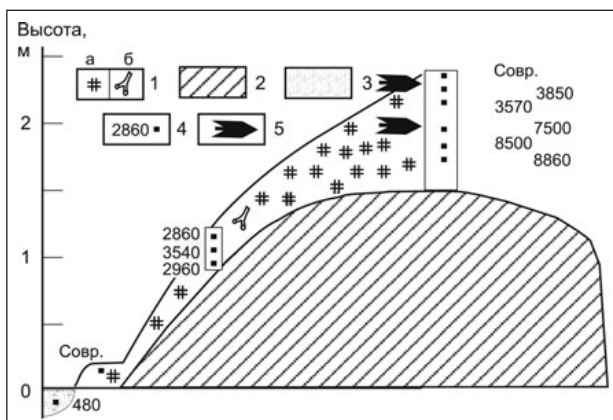
**Рис. 24. Бугор пучения миграционного типа (пальза) высотой 2,5 м близ поселка Хановей**

Процессы деградации ММП усугубляются при неправильной организации работ при возведении земляного полотна, в частности при удалении торфяно-мохового покрова из-под насыпи и около нее.

### Радиоуглеродная хронология пучения

Бугры пучения с торфом на поверхности (пальза) и полностью минеральные (литальза) — одни из самых распространенных форм криогенного рельефа в пределах Хановейского полигона. Нередко морозобойное растрескивание предопределяет плановую конфигурацию бугристых массивов — и тогда бугры пучения располагаются по полигональной (или морфологически близкой к ней) сетке (рис. 23).

В 2 км южнее поселка Хановей (в 25 км юго-западнее г. Воркуты) авторами был изучен бугор пучения высотой 2,5 м с размерами в плане 45×60 м. На его поверхности отмечены пятна оголенного торфа, которые могут возникать в результате раздувов и образования пятен-медальонов. В торфе мощностью около 1 м в вершинной части бугра, который находился в мерзлом состоянии начиная с глубины 0,3 м, отмечена сетчатая криотекстура с размером вертикальных шпиров от 2–3 до 3–4 см, горизонтальных — до 2–3 см. С глубиной льдистость торфа увеличивалась. Мощность торфа на склоне бугра составляла всего 0,3 м. Он подстилался льдистым суглинком [1].



**Рис. 25. Результаты радиоуглеродного датирования торфа, перекрывающего бугор пучения миграционного типа (пальза) высотой 2,5 м близ поселка Хановей: 1 — торф (а) и фрагменты древесины (б); 2 — суглинок; 3 — вода; 4 — результат радиоуглеродной датировки (лет); 5 — уровень, соответствующий моменту пучения**

Для образцов торфа и органического вещества из бугра пучения высотой 2,5 м (рис. 24) с размерами в плане 45×60 м, обнаруженного в 2 км южнее поселка Хановей (на 2233 км железной дороги Москва — Воркута), был выполнен радиоуглеродный анализ.

В составе растительности, покрывавшей этот бугор, были встречены карликовая береза, багульник, ягель, морошка, клюква, мхи, на кочках — злаки. Шурфом, заложенным на вершине бугра, на разной глубине сверху вниз были вскрыты:

- 0–0,03 м — моховой покров;
  - 0,03–0,08 м — торф светло-коричневый с корешками;
  - 0,03–0,2 м — торф темно-коричневый влажный, средней степени разложения;
  - 0,20–0,30 м — торф коричневый, с глубины 0,30 м мерзлый, льдистый, с сетчатой криотекстурой, с вертикальными (2–4 см) и горизонтальными (2–3 см) шпирями;
  - 0,30–0,70 м — торф коричневый и темно-коричневый льдистый;
  - 0,75–0,80 м — торф светло-коричневый с крупными остатками водных растений с сильным запахом гниения;
  - 0,80–0,85 м — торф коричневый льдистый.
- На склоне бугра был заложен второй шурф, который вскрыл:
- 0–0,07 м — моховой покров;
  - 0,07–0,30 м — торф темно-коричневый с корешками, с глубины 0,20 м мерзлый;
  - глубже 0,30 м — суглинок сероватый, на контакте с торфом рыжеватого-коричневого.

Третий шурф, заложенный на пьедестале у основания бугра, вскрыл слой черного торфа с корнями растений мощностью 15 см, подстилаемый мерзлым серовато-коричневым суглинком.

Радиоуглеродное датирование, выполненное по 6 образцам, отобранным из осевой части бугра, продемонстрировало, что торф здесь начал накапливаться 8,8 тыс. лет назад, около 1,3 тыс. лет его накопление продолжалось в эвтрофном режиме с остатками водных растений (рис. 25).

Судя по длительному перерыву в торфообразовании (или резкому замедлению торфообразовательного процесса), в это время (7,5–3,5 тыс. лет назад) здесь произошло промерзание массива и сформировался сравнительно небольшой бугор пучения. Торфообразование возобновилось здесь ненадолго примерно 3,5 тыс. лет назад [22, 23].

Радиоуглеродное датирование, выполненное для трех образцов, отобранных из шурфа на склоне этого бугра, продемонстрировало, что возраст торфа здесь существенно меньше, чем в осевой части пальза (2,9–2,8 тыс. лет) — его мощность здесь не превышала 0,25 м. Кроме того, здесь была отмечена инверсия результатов датировок (3,5 тыс. лет между датами 2,9 и 2,8 тыс. лет назад), весьма редкая для бугров пучения этого региона и, вероятно, связанная с оползанием торфа вниз с поверхности сформировавшегося ранее бугра.

Еще более молодой возраст — современный и 480 лет — был получен для образцов, взятых у основания бугра и в обводненном понижении вокруг него соответственно (табл. 5).



Отметим, что такое распределение радиоуглеродных дат — более древних в осевой части бугра и более молодых на склоне — было получено впервые, и оно явно продемонстрировало два важнейших момента. Во-первых, то, что это именно бугор пучения, а не остаточная форма, возникшая в результате эрозии первоначально плоского торфяника, как считали не только сторонники гипотезы эрозионного происхождения бугров [16], но и те исследователи, которые в принципе признавали пучение в качестве основного механизма формирования выпуклобугристых форм, но полагали, что в Большеземельской тундре он присутствует в более южных районах, а бугристые формы рельефа на севере вблизи г. Воркуты (в условиях более низких температур грунта) относили к остаточным крупноблочным формам [12], образовавшимся в результате эрозии по морозобойным трещинам. Во-вторых, здесь очень явно зафиксирован первоначальный момент пучения (7,5 тыс. лет назад) и вторичный момент дополнительного пучения (примерно от 3,5 до 2,8 тыс. лет назад), когда из первично небольшого бугра (диаметром в первые метры и высотой, возможно, не более 1,0–1,5 м) образовался бугор высотой более 3 м и диаметром более 45 м, охвативший окружающее его ранее обводненное понижение, в котором еще 2,8 тыс. лет назад шло накопление торфа, которое после пучения приостановилось.

## Заключение

В процессе данного исследования было выполнено первое обобщение данных об инженерно-геологических и геохимических особенностях бугристых ландшафтов в районе учебно-научного полигона «Хановей».

Бугры пучения с торфом на поверхности (пальза) и полностью минеральные (литальза) — одни из са-

мых распространенных форм криогенного рельефа в пределах Хановейского полигона. С поверхности на данной территории залегает сплошной чехол четвертичных отложений, залегающих на коренных пермских породах. В ландшафтном отношении участок характеризуется распространением торфяно-бугристой тундры. Среднегодовая температура воздуха здесь составляет примерно минус 5 °С, средняя температура наиболее холодного месяца — примерно минус 20 °С, наиболее теплого месяца — выше плюс 11 °С. Между речью с хорошо выраженным кочковато-западным микрорельефом покрыто зеленомошно-беломошным ерником, произрастающим на тиксотропных криоземах глеевых, или глееземах криогенных, мощностью 30–40 см.

Среднее содержание углерода органических веществ в грубогумусовом горизонте почв составляет 20–28%. Оно экспоненциально снижается с глубиной до 0,2% в почвообразующей породе.

Удельная активность таких природных радиоизотопов, как  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , в почвах полигона «Хановей» варьирует в пределах 0–180, 15–31 и 4–13 Бк/кг соответственно.

Общее количество легкорастворимых солей в породах, слагающих водоразделы, повышается сверху вниз. В нижней толще серых валунных суглинков здесь преобладают сульфаты и бикарбонаты, а выше в песчано-супесчаной толще возрастает доля участия ионов магния и особенно кальция в общем составе катионов.

Полигон «Хановей» находится в зоне сплошного с поверхности распространения многолетнемерзлых пород, среднегодовая температура которых колеблется от минус 1 до минус 4 °С. Глубина сезонного оттаивания составляет от 0,2 до 2,5 м.

В пределах изучаемого участка на поверхности отмечены морозобойные трещины и слабовыраженный полигональный рельеф.

Таблица 5

Результаты радиоуглеродного датирования бугров пучения в районе поселка Хановей в Большеземельской тундре					
Место расположения шурфа	Материал, описание	$^{14}\text{C}$ -возраст	Лабораторный номер	Полевой номер	Глубина, м
На вершине бугра высотой 2,5 м	Торф	соврем.	ГИН-12072	393-YuV/1	0–0,05
	Торф	3850±40	ГИН-12073	393-YuV/3	0,10–0,20
	Торф	3570±40	ГИН-12074	393-YuV/4	0,20–0,30
	Торф мерзлый	7500±40	ГИН-12075	393-YuV/7	0,40–0,50
	Торф темно-коричневый мерзлый	8500±60	ГИН-12076	393-YuV/10	0,60–0,65
	Торф светло-коричневый мерзлый с остатками водных растений, очень резко пахнущий	8860±40	ГИН-12077	393-YuV/20	0,65–0,70
На склоне бугра	Торф темно-коричневый талый с корешками	2860±30	ГИН-12078	393-YuV/11	0,07–0,15
	Торф темно-коричневый талый	3540±40	ГИН-12079	393-YuV/12	0,15–0,20
	Торф коричневый мерзлый на контакте с суглинком	2960±40	ГИН-12080	393-YuV/13	0,20–0,25
На пьедестале у основания бугра	Торф черный с корнями растений	соврем.	ГИН-12081	393-YuV/14	0,05–0,15
В обводненном понижении рядом с основанием бугра	Растительная кочка над водой	480±50	ГИН-12082	393-YuV/17	0,20



Наиболее опасными процессами являются пучение и проседание грунтов, проявляющиеся в ежегодных деформациях железнодорожного полотна.

Ядро такого бугра, как пальза или литальза, сложено суглинком сильнольдистым мерзлым с тонко- и среднешлировой криотекстурой.

Также была исследована плавунность грунтов, слагающих бугры пучения. В условиях трехосного сжатия грунт после оттаивания не держит форму — происходят значительные по величине объемные деформации, что связано с большой объемной льдистостью грунтов.

С помощью радиоуглеродных датировок зафиксированы первоначальный момент пучения в развитии

пальза (7,5 тыс. лет назад) и вторичный момент дополнительного пучения (примерно 3,5–2,8 тыс. лет назад). ❄

*Авторы благодарят С.Н. Булдовича, А.В. Кошурникова, А.А. Погорелова и В.Е. Тумского за помощь в полевых исследованиях и А.Н. Хименкова за сделанные замечания. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 14-27-00083 — Ю.К. Васильчук и И.Н. Семенов) и Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-05-00842 — Н.А. Буданцева и Ю.Н. Чижова).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Сулержницкий Л.Д., Буданцева Н.А., Волкова Е.М., Чижова Ю.Н. Радиоуглеродная хронология бугров пучения Большеземельской тундры // Доклады Российской академии наук. 2003. Т. 393. № 1. С. 101–105.
2. Величкин В.И., Кузьменкова Н.В., Кошелева Н.Е., Мирошников А.Ю., Асадулин Э.Э., Воробьева Т.А. Оценка эколого-геохимического состояния почв на северо-западе Кольского полуострова // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2012. № 1. С. 41—50.
3. Воркута — город на угле, город в Арктике / отв. редактор и составитель — М.В. Гецен. Сыктывкар: ГУ «Республиканский экологический центр по изучению и охране восточноевропейских тундр» при Министерстве природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Карелия, 2011. 512 с.
4. Данилов И.Д. Некоторые результаты изучения химического состава плейстоценовых отложений Большеземельской тундры // Кайнозойский покров Большеземельской тундры. М.: Изд-во МГУ, 1963. С. 50–65.
5. Евсеев В.П. Миграционные бугры пучения Северо-Востока Европейской части СССР и Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1974.
6. Егорова И.А., Кислицина Ю.В., Пузанов А.В. Радионуклиды в почвах Северо-Западного Алтая // География и природные ресурсы. 2012. № 3. С. 31–35.
7. Иванова Е.Н. Основные закономерности в распределении почв вдоль трассы Печорской железной дороги // Труды Коми филиала АН СССР. Вып. 1. Почвы Воркутинских тундр. М.: Изд-во АН СССР, 1952. С. 3–32.
8. Князев М.С., Морозова Л.М., Шурова Е.А. Флористический список сосудистых растений // Растительный покров и растительные ресурсы Полярного Урала. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2006. С. 42–159.
9. Красовская Т.М. Пространственно-временные закономерности накопления тяжелых металлов в экосистемах Воркутинского промышленного района // Труды Коми НЦ УрО РАН. 1996. № 143. С. 42–48.
10. Москвиченко Д.В. Биогеохимическая структура криогенных ландшафтов Западной Сибири как индикатор их экологического состояния и устойчивости // Криосфера Земли. 2011. Т. 15. № 4. С. 29–32.
11. Польшинцева О.А. Почвы тундры и лесотундры вдоль Печорской железной дороги от ст. Абезь до ст. Воркута // Труды Коми филиала АН СССР. Вып. 1. Почвы Воркутинских тундр. М.: Изд-во АН СССР, 1952. С. 33–71.
12. Попов А.И. Покровные суглинки и полигональный рельеф Большеземельской тундры // Вопросы географического мерзлотоведения и перигляциальной морфологии. М.: Изд-во МГУ, 1962. С. 109–130.
13. Производительные силы Коми АССР (в 3 томах). Сыктывкар: Изд-во АН СССР, 1954.
14. Пузанов А.В., Егорова И.А., Салтыков А.В., Горбачев И.В., Балыкин Д.Н. <sup>137</sup>Cs в высокогорных почвах Северо-Западного Алтая // Мир науки, культуры, образования. 2007. № 3. С. 60–63.
15. Пузанов А.В., Балыкин С.Н., Балыкин Д.Н. Радиоактивные элементы в почвах бассейна р. Нижняя Тунгуска // Мир науки, культуры, образования. 2008. № 5. С. 26–29.
16. Пьявченко Н.И. Бугристые торфяники. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 279 с.
17. Руофф З.Ф. Типы тундры в районе Воркуты и их связь с многолетнемерзлыми породами // Труды Северного отделения Института мерзлотоведения им. В.А. Обручева АН СССР. Сыктывкар, 1960. Вып. 1. С. 147–168.
18. Русанова В.Г., Денева С.В., Шахтарова О.В. Особенности генезиса автоморфных почв северной лесотундры (юго-восток Большеземельской тундры) // Почвоведение. 2015. № 2. С. 145–155.
19. Семенов И.Н., Усачева А.А., Мирошников А.Ю. Распределение цезия-137 глобальных выпадений в таежных и тундровых катенах бассейна реки Обь // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. Вып. 2. С. 154–173.
20. Собакин П.И. Миграция <sup>137</sup>Cs в мерзлотных почвах Якутии // Радиационная биология. Радиоэкология. 2010. Т. 2. Вып. 5. С. 590–598.
21. Тентюков М.П. Геохимия ландшафтов Центрального Ямала. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1998. 104 с.
22. Chizhova Ju.N., Vasilchuk A.C., Budantseva N.A., Vasilchuk Yu.K. Palsa radiocarbon chronology and dynamics in the European Northeast of Russia / Proceedings of the 10-th International conference of «Permafrost», Salekhard, 25–29 June 2012 (edited by V.P. Melnikov, D.D. Drozdov, V.E. Romanovsky). Salekhard, Russia: The Northern Publisher, 2012. V. 2. P. 51–55.
23. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.C., Jungner H., Budantseva N.A., Chizhova Ju.N. Radiocarbon chronology of Holocene palsa of Bol'shezemel'skaya tundra in Russian North // Geography, Environment, Sustainability. 2013. V. 6. № 3. P. 38–59.
24. Vasil'chuk Yu.K., Papesch W., Rank D., Sulerzhitsky L.D., Vasil'chuk A.C., Budantseva N.A., Chizhova Ju.N. Oxygen-isotope and deuterium diagrams for ice wedge near Vorkuta: first <sup>14</sup>C-dated plots for Northern Europe // Transactions (Reports) of the Russian Academy of Sciences. Earth Science Section. 2005. V. 401. № 2. P. 221–225.