

УДК 551.345
DOI: 10.15372/KZ20230602
EDN: HRXPJQ

МЕРЗЛОТНО-ЛАНДШАФТНЫЕ УСЛОВИЯ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ И ИХ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ДАННЫХ

Г.Г. Осадчая¹, Е.И. Пижанкова^{2,*}

¹ Ухтинский государственный технический университет,
169300, Ухта, ул. Первомайская, 13, Республика Коми, Россия

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический ф-т,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия

*Автор для контакта; e-mail: pijanikova@yandex.ru

На основе мерзлотно-ландшафтных крупномасштабных исследований значительной части Большеземельской тундры и дешифрирования среднемасштабных космических снимков (Landsat-7) составлена ее обзорная геоэкологическая карта масштаба 1:1 000 000, охватывающая площадь 136 700 км². За основу принят метод ландшафтной индикации, реализованный применительно к геоэкологическим подзонам. Пространственная изменчивость геоэкологических характеристик получила отражение на уровнях природных подзон и групп доминирующих урочищ.

Ключевые слова: геоэкологическое картографирование, дистанционные данные, ландшафтная индикация, геоэкологические подзоны.

Ссылка для цитирования: Осадчая Г.Г., Пижанкова Е.И. Мерзлотно-ландшафтные условия Большеземельской тундры и их картографирование на основе использования дистанционных данных // Криосфера Земли, 2023, т. XXVII, № 6, с. 12–26. DOI: 10.15372/KZ20230602. EDN: HRXPJQ.

PERMAFROST-LANDSCAPE CONDITIONS OF THE BOLSHHEZEMEL'SKAYA TUNDRA AND THEIR MAPPING BASED ON REMOTE SENSING DATA

G.G. Osadchaya¹, E.I. Pizhankova^{2,*}

¹ Ukhta State Technical University, Pervomayskaya St. 13, Ukhta, Republic of Komi, 169300 Russia

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, Leninskiye Gory 1, Moscow, 119991 Russia

*Corresponding author; e-mail: pijanikova@yandex.ru

An overview geocryological map (1:1 M scale) for an area of 136 700 km² covering a significant part of the Bolshhezemelskaya tundra was compiled on the basis of large-scale field permafrost-landscape surveys and interpretation of medium-resolution Landsat-7 satellite images. The method of landscape indication implemented in relation to geocryological subzones was used. Spatial variability of geocryological characteristics was analyzed at the levels of natural subzones and groups of dominant landscape units.

Keywords: geocryological mapping, remote sensing data, landscape indication, geocryological subzones.

ВВЕДЕНИЕ

Большеземельская тундра (БЗТ) представляет собой обширную равнинную территорию с мало-контрастным рельефом, абсолютные отметки которого изменяются от первых метров (на побережье Печорского моря) до 220–240 м на востоке. Среднегодовые температуры воздуха варьируют от максимальной –2.7 °С на юге (гидрометеостанция (ГМС) Усть-Уса, 1936–2022 гг.) до минимальной –5.4 °С на северо-востоке (ГМС Воркута, 1946–2022 гг.). В целом климат является субарктическим. При этом в БЗТ присутствуют все зональные типы многолетнемерзлых пород (ММП), которые, кроме геолого-геоморфологических условий, тесно связаны с геоботанической зональностью. Геоэкологические подзоны

сплошной (I), прерывистой (II), массивно-островной (III) и островной (IV) мерзлоты условно совпадают соответственно с природными зонами/подзонами тундры (южной кустарниковой и типичной), северной лесотундры, южной лесотундры и северной частью крайнесеверной тайги [Атлас..., 1964, с. 50–51; Осадчая, Тумель, 2012]. По характеру растительного покрова выделяются традиционные для северных территорий группы урочищ зонального типа: лесные, тундровые, болот и торфяников; всего – порядка 30 репрезентативных урочищ.

До настоящего времени нет единого мнения о генезисе и возрасте кайнозойских отложений рассматриваемой территории, а значит, и ее геомор-

фологическом строении. Одни исследователи [Арсланов и др., 1981; Гуслицер и др., 1985; Лаврушин и др., 1989; Андреева, 2002; Лавров, Потапенко, 2005, 2012; Астахов, Свенсен, 2011; Карта..., 2014; Государственная... карта..., 2015; Svendsen et al., 2004] считают валунные суглинки (диамиктоны) роговской свиты ледниковыми образованиями, сопоставляя глинисто-песчаные горизонты с межледниковьями (вашуткинская, чирвинская свиты). Другие [Попов, 1963; Данилов, 1978; Государственная... карта..., 2007, 2013, 2014; Зархидзе и др., 2010; Иванов, 2011] считают эти отложения бассейновыми, предполагая разнос наиболее грубого материала плавающими льдами. В геоморфологическом плане холмисто-грядовые равнины, сложенные наиболее древними отложениями, занимают самые возвышенные позиции с абсолютными высотами от 100 до 240 м. Более молодые отложения расположены на более низких абсолютных высотах (0–100 м), которые можно разделить на пять уровней: 0–2,7 м – лайда и пойма низовой рек; 5–12, 12–25, 30–50 и 60–100 м – морские и аллювиально-морские террасы и озерно-аллювиальная (либо озерно-ледниковая) равнина верхне-неоплейстоцен-голоценового возраста.

Зональность геокриологических условий тесно связана с природной зональностью, но эта взаимосвязь (природная зона/подзона – геокриологическая зона/подзона) по-разному реализуется в различных секторах криолитозоны России. Для БЗТ существует своя специфика этих взаимосвязей, которая нашла отражение на приводимой геокриологической карте масштаба 1:1 000 000, составленной с использованием принципа ландшафтной индикации, реализованного при дешифрировании космических снимков на исследуемую территорию на различных ландшафтных уровнях – от зонального до локального.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Анализ карт геокриологического содержания масштабов 1:1 000 000–1:2 500 000 на территорию европейского Северо-Востока России показал, что они составлены с учетом разных принципов показа геокриологической информации. Эти различия касаются двух основных позиций: распространения ММП с использованием градаций прерывистости в процентах (пороговые значения); в меньшей степени – интервалов температур для тех или иных зональных или региональных территориальных подразделений.

В ходе мерзлотно-инженерно-геологических и мерзлотно-гидрогеологических работ, выполненных в 1970–1980-х гг. ПГО “Полярноуралгеология”, Н.Г. Оберманом с соавторами составлялись соответствующие карты масштабов 1:500 000–1:1 500 000, нашедшие отражение в монографиях [Почвенно-геологические условия...,

1984; Геокриология СССР, 1988], на Карте мерзлотных условий Нечерноземной зоны РСФСР м-ба 1:1 500 000 [1983] и Геокриологической карте СССР м-ба 1:2 500 000 [1997]. Известны также обзорная карта геокриологического районирования криолитозоны С.Е. Суходольского [1982], схемы районирования Мало-Большеземельского региона по степени прерывистости многолетнемерзлых пород, схема экзогенных процессов и явлений (м-б 1:200 000–1:4 000 000) [Казначеева и др., 1988], карта инженерно-геологического районирования Тимано-Печорской НПП (м-б 1:1 000 000) [Попова, 2012; Попова et al., 2005]. На территорию Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции Д.С. Дроздовым [2004] составлены региональные карты-модели геосистем и производные карты (м-б 1:1 000 000–1:4 000 000). Схематические карты, а также карты на отдельные части криолитозоны БЗТ, в том числе более крупного масштаба, составлялись Г.Г. Осадчей, А.Д. Масловым [Маслов и др., 2005].

Анализ геокриологических карт масштаба 1:1 000 000–2 500 000 на территорию европейского Северо-Востока России показал, что при едином принципе показа распространения ММП сами процентные отношения (пороговые значения) для подзон по распространению ММП у разных авторов различаются (табл. 1). При этом реализовано несколько подходов к картографированию ММП.

1. К участкам без ММП (подзоны II и III) относятся площади с устойчивыми во времени мало-мощными (до 2,0–2,5 м) ММП. Такие участки воспринимаются как участки с глубоким сезонным промерзанием, тогда как в реальности они

Таблица 1. Пороговые значения площади распространения ММП в различных источниках информации

Картографический источник	Распространение ММП (пороговые значения, %)
Карта распространения ММП и средней годовой температуры горных пород Северо-Востока европейской части СССР [Суходольский, 1982]	30, 70, 90, 95
Карта мерзлотных условий Нечерноземной зоны РСФСР, м-б 1:1 500 000 [1983]	–
Геокриологическая карта СССР, м-б 1:2 500 000 [1997]	1, 3, 20, 50, 80, 95, 97, 99
Карта инженерно-геокриологического районирования севера Тимано-Печорской НПП, м-б 1:1 000 000 [Попова et al., 2005]	1–3, 20, 50, 80
Типизация криогенной толщи по распространению [Фотиев, 2009]	5, 25, 50, 75, 95
Обзорная геокриологическая карта Большеземельской тундры (Республика Коми и Ненецкий автономный округ), м-б 1:1 000 000 [Осадчая и др., 2015]	10, 50, 90

обладают мелким сезонным оттаиванием (около 0,5 м), но являются мерзлыми.

2. Лесные и редколесные урочища традиционно рассматриваются как талые, тогда как к ним приурочены острова ММП (до 10 % площади урочища).

3. При инженерно-геологическом картировании учитывается в основном распространение ММП с поверхности: участки с несвязными таликами, приуроченными к межблочным понижениям мощностью более 10 м в ряде случаев могут считаться тальми. Несвязные талики на участках крупноивняковых тундр (мощностью до 20–30 м) также учитываются как талье. Поскольку в зоне тундры на минеральных грунтах широко распространены блочные формы мезорельефа, это приводит к “сдвиганию” границы между сплошной и прерывистой мерзлотой на север. При анализе распространения массивов ММП (учитывается их наличие по всей глубине) – она сплошная [Осадчая, Шполянская, 2021].

Следовательно, на сегодняшний день для территории существует несколько вариантов обзорных геокриологических карт, которые мало сравнимы по грациям прерывистости, принципам учета распространения ММП и их температурных характеристик. Соответственно, зональные геокриологические границы, как правило, отличаются, совпадая лишь на отдельных участках, преимущественно при нанесении южной границы криолитозоны. На представленной в работе карте они смещены к югу по сравнению с приведенными на других картах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для составления геокриологической карты территории привлекались собственные полевые материалы за более чем 40-летний период [Осадчая и др., 2016], материалы дистанционного зондирования, информация, полученная из опубликованных и фондовых работ. Обобщающий анализ имеющихся температурных данных на значительных глубинах содержится в монографии И.Ю. Быкова и Т.В. Бобылевой [2005]. Данные по температурам ММП актуализированы в соответствии с современными условиями с использованием научных публикаций [Малкова и др., 2016; Шполянская и др., 2022; Malkova et al., 2022].

Дешифрирование дистанционных данных на территорию Большеземельской тундры проводилось с использованием дистанционной основы (ДО), изготовленной во ВСЕГЕИ по материалам многоспектральных космических снимков (КС) Landsat-7/ETM+ с пространственным разрешением 15–30 м, трансформированным в картографическую проекцию Гаусса–Крюгера и приведенным в топографо-геодезическую систему координат (Пулково-42). ДО на исследуемую территорию (рис. 1)

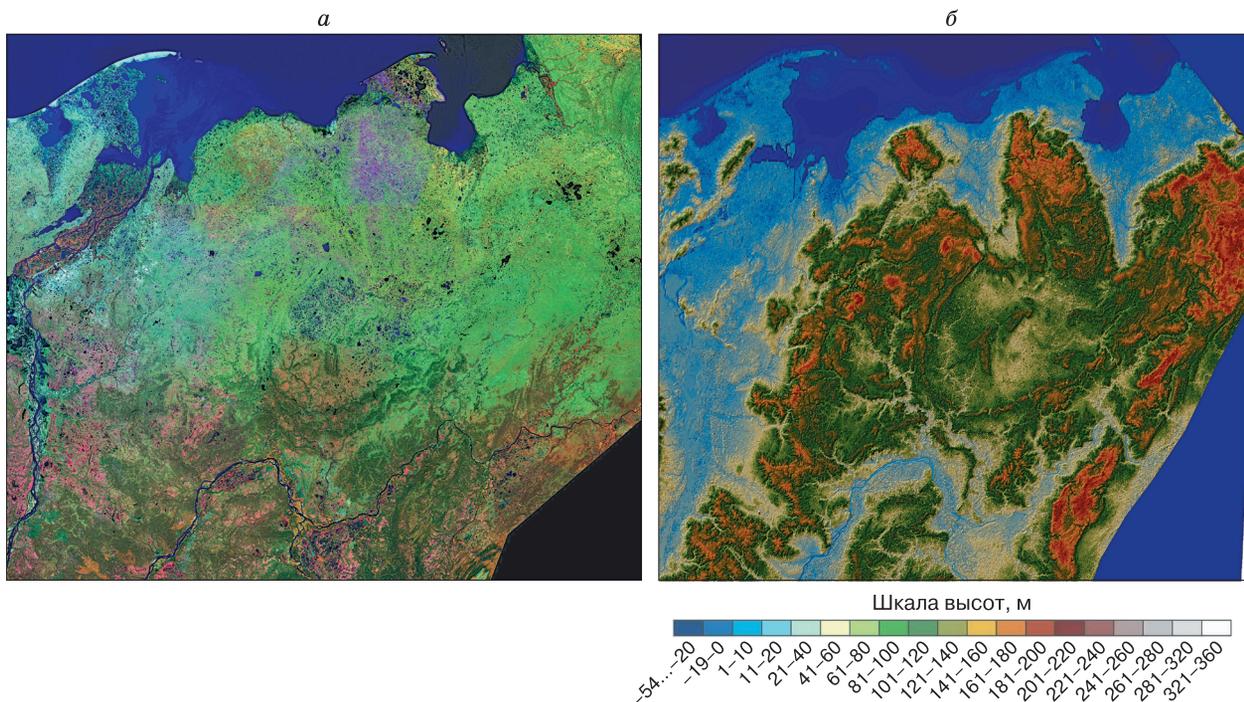


Рис. 1. Дистанционные данные, использованные при геокриологическом картировании территории Большеземельской тундры:

а – мозаика космоснимков Landsat-7, синтез 4–5–3 каналов (ближнего инфракрасного (ИК), среднего ИК и красного); б – цифровая модель рельефа по данным Terra/ASTER.

представляет собой мозаику из 17 фрагментов изображений за 2000–2001 гг., снятых в близкие сроки, что обеспечило возможность тональной балансировки изображений на всю картируемую площадь. При дешифрировании использовались два варианта синтеза по трем спектральным каналам: 6–5–3; 4–5–3. Гидрологические особенности территории (увлажнение поверхности и заболоченность) наилучшим образом отражаются на варианте синтеза 6–5–3. Для дешифрирования растительных сообществ оказался предпочтительнее вариант 4–5–3, который взят как основной (см. рис. 1, а). Важная информация была получена из цифровой модели рельефа (ЦМР), применявшейся в цветном варианте (см. рис. 1, б). Для создания ЦМР использовалась обработка архива космических снимков Terra/ASTER. Для выявления особенностей мезорельефа поверхности, изменений ландшафтов, произошедших с момента съемки, их антропогенной нарушенности и оценки дешифрируемости пирогенных сукцессий использовались изображения веб-картографических сервисов [<http://maps.google.ru/>; <http://maps.yandex.ru/>].

Важным методическим приемом для выявления ландшафтных индикаторов геоэкологических условий стала «привязка» имеющихся картографических материалов к дистанционной основе, осуществлявшаяся с помощью программы ScanEx Image Processor. Установление соответствия единиц картографирования их изображению на дистанционных материалах наиболее точно осуществляется при оцифровке карт. Для этого и для отрисовки границ ландшафтов использовалась ГИС-среда Mapinfo Professional. Дешифрирование основных литологических подразделений – литогенной основы ландшафтов – производилось путем сопоставления их изображения на ДО и ЦМР с имеющимися картографическими источниками (геологическими картами четвертичных отложений). Важной частью работ было полевое дешифрирование космоснимков, проводившееся в июле 2015 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ландшафтная дифференциация территории зависит от природно-зональных особенностей, а также рельефа, состава и свойств поверхностных отложений (региональный фактор). Использование дистанционных данных для мелкомасштабного картографирования позволяет объективизировать выделение геоэкологических подзон с учетом природной зональности, индицируемой распространением тех или иных растительных сообществ.

Соотношение суммарной площади массивов с ММП и общей площади ландшафтов различных природных зон/подзон [Осадчая, Тумель, 2012] позволяет доказательно утверждать, что на европейском Северо-Востоке геоэкологические под-

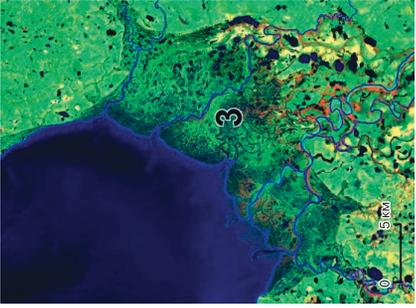
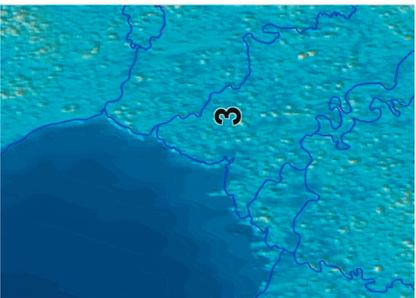
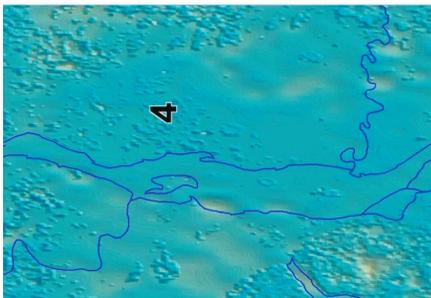
зоны соответствуют природным: зона тундры – подзоне сплошного распространения ММП с площадью, занятой ММП до 90 % в южной кустарниковой тундре и до 95 % в типичной тундре, подзона северной лесотундры – подзоне прерывистого (50–90 % ММП), южной лесотундры – массивно-островного (10–50 % ММП), крайне-северной тайги – островного (менее 10 %) распространения ММП. Такой подход вполне логичен и реализуем при использовании дистанционных методов [Пижанкова и др., 2016а,б].

Анализ имеющихся материалов по геоэкологическим условиям территории БЗТ показал, что вблизи южной границы криолитозоны тот или иной характер распространения ММП имеет литологическую обусловленность. Так, в крайне-северотаежной зоне ММП, залегающие с поверхности, приурочены исключительно к торфяным массивам. Залесенные участки, приуроченные к территориям распространения суглинистых и песчаных отложений, свидетельствуют о наличии талых пород.

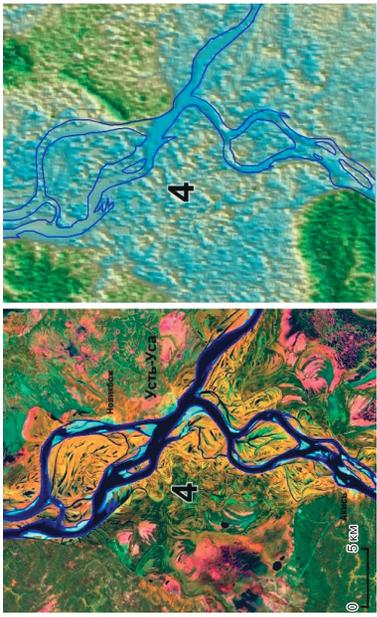
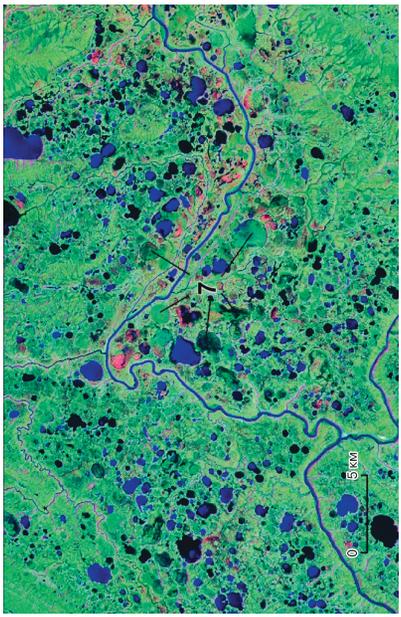
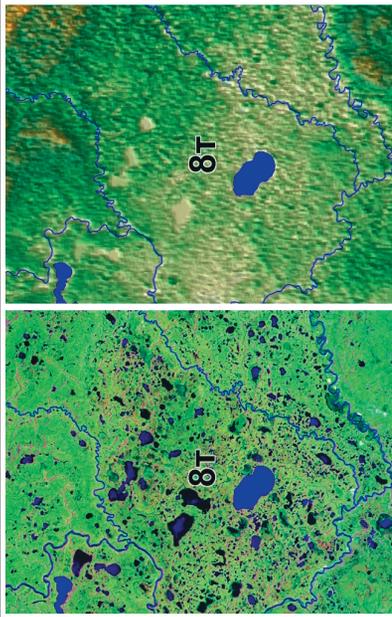
К северу торфяники чуть более распространены, зато ММП развиваются на суглинистых, преимущественно заторфованных грунтах на лесных и тундровых участках и получают массивно-островное, а затем (когда степень заторфованности не является неперенным условием сохранения мерзлоты) прерывистое распространение. Еще севернее литологический контроль сокращается и в зоне сплошного развития ММП исчезает совсем. Решающее значение приобретает общее понижение температур воздуха и перераспределение снежного покрова вследствие метелевого переноса, что контролируется особенностями рельефа: с вершинных поверхностей снег сдувается, что способствует промерзанию отложений, а в понижениях накапливается, что приводит к образованию несквозных таликов.

По КС Landsat уверенно дешифрируются лесные сообщества, состоящие из темнохвойных пород, наиболее далеко проникающих в высокие широты. Сосняки сухих местообитаний также определяются достаточно достоверно. На КС в пределах крайнесеверотаежной зоны легко читаются безлесные территории. К ним часто приурочены массивы мерзлых торфяников. Для подтверждения этого факта предпочтительнее использовать более детальные космоснимки с пространственным разрешением не хуже 2.5–5.0 м на местности, на которых хорошо проявлены бугристые структуры, а также дифференцировано изображение древесного яруса и напочвенного покрова. Для мерзлых торфяников, к примеру, характерно отсутствие древесной растительности и присутствие лишайников в составе растительных ассоциаций, покрывающих торфяник. Для экспресс-диагностики таких территорий вполне приемлемо использование космоснимков с сервисов

Таблица 2. **Ландшафтно-индикационная таблица к схеме ландшафтного дешифрирования территории Большеземельской тундры (фрагмент)**

Индекс на карте-схеме дешифрирования	Ландшафтные индикаторы		Характерное изображение		Индицируемые геоэкологические и гидро-геологические условия и объекты	
	Природная зона	Рельеф, гидрография, отложения	Урочища	На материалах КС Landsat-7 (ДО, синтез 4–5–3)		ЦМР (по материалам ASTER) Шкала высот, м
3	Азональные и интразональные ландшафты прибрежных участков долин рек (в тундре и северной лесотундре)	Приустьевые участки долин рек Печора, Море-Ю, Вельт, Сенгьяха, Нерута, с многочисленными протоками и солеными озерами. Сложены песчано-гравийно-галечными отложениями	Урочища Осоковые солончаковые луга, болота и торфяники			ММП мощностью до 50–100 м с $t = 0 \dots -2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Местами подмерзлотные и межмерзлотные пересохшие засоленные водные (криопегги)
4	Интразональные ландшафты долин рек	Пойма р. Печора и крупных притоков: а) с обширными затопленными паводковыми водами территориями, фиксируемыми на снимках, сделанных во время паводков; б) с гравийным рельефом. Сложена слоистыми аллювиальными отложениями (пески, суглинки, супеси, галечники, валунники)	Разнотравно-злаковые и осоковые луга, низинные болота			Маломощные ММП остроугольного распространения на замшелых участках. Южнее широты 67° 14' с.ш. – тальные породы. Аллювиальные грунтовые воды, УТВ = 0–1 м

Нижнее течение р. Печора

7	Тундра и лесотундра	Хасырей – котловины спущенных озер (преимущественно термокарстовых) и приозерные низины на слабоволнистой слаборасчлененной равнине, сложенной верхнеоплейстоценовыми суглинками и глинами, супесями и песками, перекрытыми торфом	Заболоченные низины с остаточными озерами, полигональным микрорельефом, буграми пучения на формирующихся ММП	 <p>Среднее течение р. Печора в месте впадения р. Уса</p>	Новообразования ММП мощностью до 20–50 м на месте подозерных таликов в тундре и северной лесотундре с ММП сплошного распространения $s t = -1...-3\text{ }^{\circ}\text{C}$
7				 <p>Кольвинская низменность</p>	
8г	Тундра	Равнины плоские и слабоволнистые слаборасчлененные, сложенные верхнеоплейстоценовыми суглинками и глинами, супесями и песками, перекрытые торфом	Торфяники полигональные и плоскостристые с тундрами кустарничково-моховолишайниковыми	 <p>Хорейская низменность</p>	ММП $s t = -1...-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ сплошного распространения. Воды сезонного слоя (СТС) и несвязных подозерных таликов

Яндекс Карты [<http://maps.yandex.ru/>] и Google Earth [<http://maps.google.ru/>], достаточно оперативно обновляющих мозаику из космоснимков высокого пространственного разрешения. Еще более детальные данные доступны в настоящее время на сайте [<https://bestmaps.ru/map/esri/sat/>], на котором представлено глобальное покрытие Esri WorldImagery, созданное по КС с субметровым пространственным разрешением со спутников GeoEye, WorldView-2,4.

Наиболее физиономичны аллювиальные ландшафты территории (табл. 2). Пойменные ландшафты имеют характерный гривистый мезорельеф со следами блуждания русел и старичными озерами. Долины мелких водотоков, впадающих в Печорское море и р. Печора, имеют невыраженный пояс меандрирования, а их устьевые части – форму эстуариев. На ЦМР это наиболее гипсометрически низкие позиции, читающиеся по цветам голубой и синей гаммы. Поверхности террас выше пойменной интенсивно обводнены и заболочены, опознаются по округлым ограничениям тыловых частей. В тундре и северной лесотундре эти формы практически отсутствуют. В тех местах, где в строении террас участвуют хорошо фильтрующие отложения (пески с галькой и гравием), растительный покров представлен сосновыми лесами разной сомкнутости и возраста (вследствие повышенной горимости сосняков сухих местообитаний), отражающихся на космоснимках зеленовато-серыми тонами.

Весьма физиономичны ландшафты поздне-неоплейстоценовых равнин, поскольку подавляющую площадь в их пределах занимают болота, среди которых преобладают верховые травяно-моховые и кустарниково-кустарничково-травяно-моховые в подзонах крайнесеверной тайги и южной лесотундры. В тундровой зоне и северной лесотундре это торфяники, к которым приурочены массивы мерзлых пород. Весьма значительна заозеренность этой территории, особенно проявленная в Колвинской депрессии (см. табл. 2). Торфяники имеют наиболее низкие среднегодовые температуры пород (в тундре до $-2...-4$ °С) и небольшую глубину сезонного оттаивания (0.5–0.7 м).

На правом берегу Печоры в среднем и нижнем течении на отрезке от пос. Усть-Уса до р. Лая и от р. Сосья до р. Щучья, а также на левобережье среднего течения от пос. Щельябож до р. Шерью значительную долю занимают песчаные и гравийно-галечные отложения, формирующие своеобразные округлые холмы размером 0.5–1.8 км, высотой 15–20 м, местами сливающиеся в гряды. Они покрыты сосняками-беломошниками, часто подвергающимися пожарам. Пространство между холмами занято болотами кустарниково-кустарничковыми травяно-моховыми с единичной сос-

ной. К северу сосняки сменяются лиственничниками, еще севернее – березовыми криволесьями, а болота – мерзлыми торфяниками. На обнаженных холмах развита дефляция. Такие участки с песчаным составом отложений свидетельствуют о более мягких мерзлотных условиях (ММП с глубоко залегающей кровлей) по сравнению с остальной территорией.

Поздненеоплейстоценовые равнины, занимающие высокоширотные позиции, характеризуются преобладанием блочных тундр. Для вершинных поверхностей в зоне прерывистого и сплошного распространения ММП характерны низкотемпературные породы с температурами, достигающими $-2...-4$ °С, что подчеркивается обеднением растительного покрова (преобладает тундровый тип растительности). В зимний период снежный покров с возвышенностей сдувается, в результате чего происходит сильное выхолаживание пород.

Использование ЦМР в цветном варианте при дешифрировании возвышенных гряд, именуемых мусюрами, дает наилучший результат. По итогам дешифрирования дистанционных данных на территорию БЗТ была составлена ландшафтно-индикационная таблица (фрагмент см. в табл. 2).

Для БЗТ выявлена следующая ландшафтная особенность региона: как правило, определенное урочище может встречаться в нескольких подзонах, при этом ее геоэкологические характеристики меняются. Так, если не учитывать азональные и интразональные урочища, количество урочищ природных/геоэкологических зон/подзон меняется следующим образом: I – 12, II – 19; III – 14; IV – 10 шт.; при этом число “общих” для соседних подзон урочищ близкое: I и II – 10, II и III – 12, III и IV – 10. Как результат, индикационные характеристики для ландшафтов в ранге урочищ и фаций могут быть использованы только в “привязке” к определенной геоэкологической подзоне. Это обстоятельство определяет первостепенную задачу проведения как южной границы криолитозоны, так и границ между зональными типами распространения ММП по площади (от сплошной до островной). Таким образом, определить зональную принадлежность конкретной территории становится возможным только по сочетанию урочищ различных групп [Осадчая, Тумель, 2012].

В табл. 3 даны основные позиции, позволяющие представить для БЗТ ландшафтную индикацию границ геоэкологических подзон. Поэтому при картографировании границ геоэкологических подзон наиболее значимым показателем при использовании урочищ-индикаторов является криогенный рельеф. В подзонах IV и III это прежде всего обширные площади пучения (в основном бугры) в стадии роста; в подзонах II и I – древний, реликтовый рельеф в стадии нисходящего развития (различные мезоформы блочности).

Таблица 3. Ландшафтные индикаторы границ геокриологических подзон

Границы	Индикаторы
Южная граница криолитозоны	Условно проводится по линии южного распространения выпуклобугристых торфяников, которые в настоящее время преимущественно находятся в стадии роста
Граница между подзонами островного (IV) и массивно-островного (III) распространения ММП	При переходе от подзоны IV к подзоне III: – не встречаются леса сосновые и сосново-березовые лишайниковые; – практически перестают встречаться грядово-мочажинные болота; – появляются плоскобугристые торфяники; – выпуклобугристые торфяники по-прежнему находятся преимущественно в стадии роста. Индикация в целом более очевидна для участков торфяников и болот, в меньшей степени – для лесов
Граница между подзонами массивно-островного (III) и прерывистого (II) распространения ММП	При переходе от подзоны III к подзоне II: – исчезают сплошные лесные массивы; – появляются хасыреи (котловины спущенных озер); – на плоскобугристых торфяниках появляются фрагменты полигональности; – значительно реже встречаются выпуклобугристые торфяники в стадии роста; – большая часть тундровых урочищ характеризуется блочным (на песках – полигональным) мезорельефом. Индикация в целом более очевидна для лесных и тундровых массивов, менее очевидна для болот и торфяников
Граница между подзонами прерывистого (II) и сплошного (I) распространения ММП	При переходе от подзоны II к подзоне I: – не встречаются леса и редколесья; – не встречаются плоско- и пологоволнистые тундры; – не встречаются выпуклобугристые торфяники; – появляются полигональные и полигонально-валиковые торфяники заозеренные. Индикация наиболее явственна для торфяников и лесов, менее – для группы тундровых урочищ

Универсальная группа урочищ-индикаторов – торфяники. Наиболее значимый показатель при индикации – криогенный рельеф: в южной криолитозоне – площади (бугры) пучения в стадии роста, в северной – древний блочный рельеф.

СОДЕРЖАНИЕ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ

Геокриологические карты представляют собой обобщенное изображение комплекса параметров, которые отражают геокриологические условия. На картах геокриологического районирования (преимущественно выделения подзон) на основе качественных и количественных показателей (расчетов “веса” массивов ММП при проведении морфологического анализа для различных генетических типов рельефа в разных геокриологических подзонах [Осадчая и др., 2016]) выделяются природно-территориальные комплексы (ПТК) разного порядка (например, на представленной в работе карте – природные подзоны, группы ПТК, состоящие из сочетания урочищ).

Для БЗТ составлена геокриологическая карта масштаба 1:1 000 000, базирующаяся на индикационных свойствах природных комплексов территории (рис. 2).

Картографической основой послужила карта-схема ландшафтного дешифрирования космических снимков масштаба 1:1 000 000. Используются сочетания различных групп растительности для условий типичной, южной кустарниковой тундры, северной и южной лесотундры, северной части

крайнесеверной тайги. При характеристике сочетаний растительности выявлены индикационные растительные сообщества. Это позволяет обоснованно провести границы геокриологических подзон – важный элемент содержания карты.

Весь массив информации представлен на геокриологической карте, исходя из зональной принадлежности ландшафтов, и охарактеризован в экспликации, фрагмент которой дан в табл. 4. В подзоне сплошного распространения ММП, приуроченной к типичной тундре, выделено 4 укрупненные группы ПТК (1–4), в южной кустарниковой тундре – также 4 (5–8), в области азональных приморских ландшафтов – 3 (9–11); в подзоне прерывистого распространения ММП (северная лесотундра) – 5 (12–16); в подзоне массивно-островного распространения ММП (южная лесотундра) – 6 (17–22); в подзоне островного распространения ММП (крайнесеверная тайга) – 5 (23–27). Отдельно анализируются две укрупненные группы урочищ, приуроченные к интразональному долинному комплексу (28, 29).

Экспликация (см. табл. 4) содержит как основную геокриологическую информацию (температура и распространение ММП), отраженную в условных обозначениях к рис. 2, так и дополни-

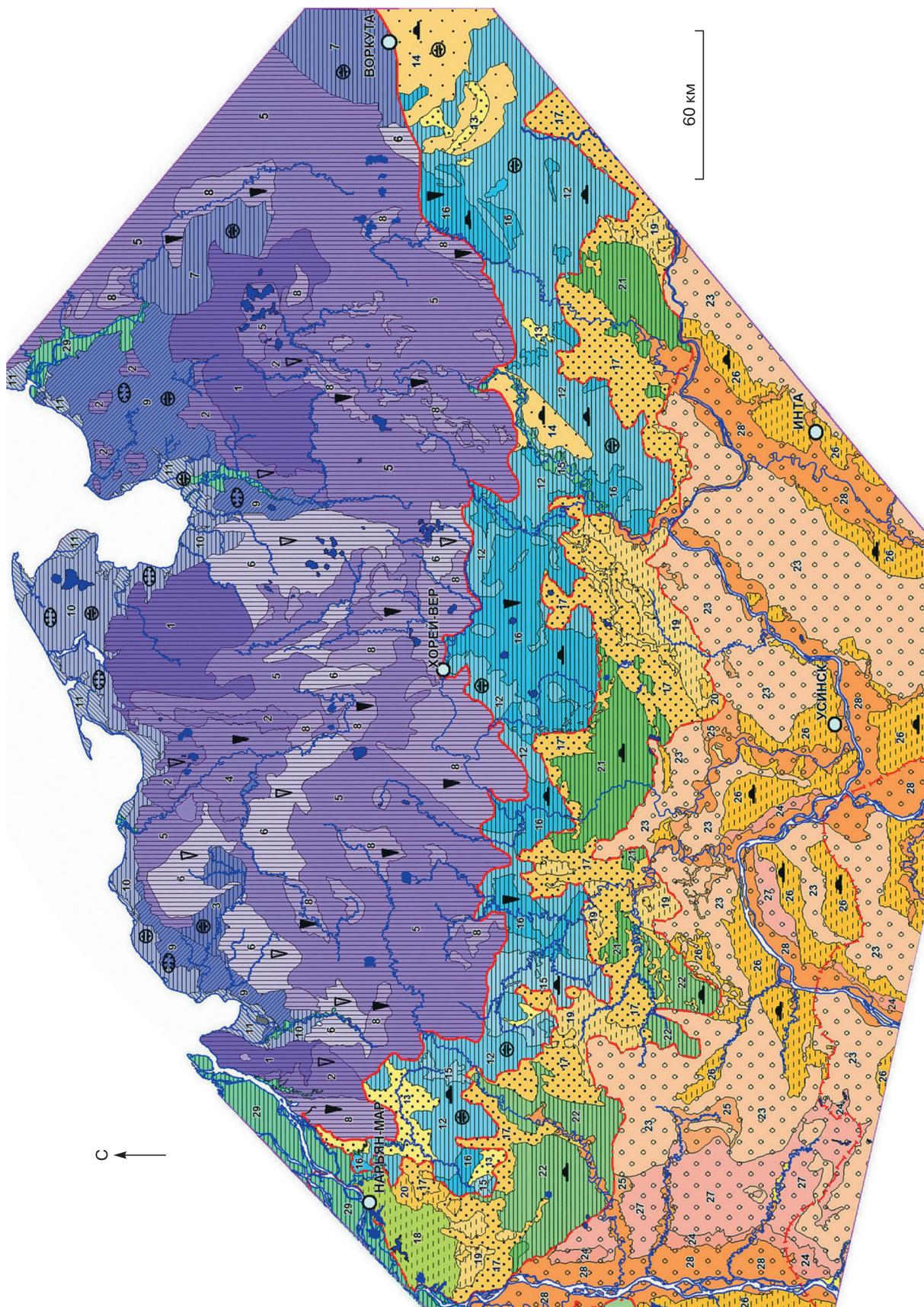


Рис. 2. Геориологическая карта Большесемельской тундры масштаба 1:1 000 000.

Условные обозначения к геокриологической карте Большеземельской тундры

I. Распространение и фоновые температуры ММП

Распространение ММП по площади (для групп ПТК), %	Фоновая температура ММП для доминирующих ПТК (в ранге урочищ), °С						Температура талых пород, °С	
	-2...-4	0...-3	0...-2	0...-1	0..-0.5	0	≥ 0	
Больше 90	1 2 3 4 5 6 8							
Больше 90 с обширными участками несливающихся ММП		9	3 7 10 11					
70-90			16					
60-80			12					
50-70			15					
10-50			21 22 23					
10-50 с обширными участками несливающихся ММП				18				
1-10					19 20 26	14		
1-10 с участками несливающихся ММП						17 13		
Менее 1							23 25 28	
Без ММП							24 27	26 27 28

II. Типы сезонного оттаивания и промерзания

Тип сезонного оттаивания (СТС) и его глубина, м	Тип сезонного промерзания (СМС) и его глубина, м	
	Глубокий > 1.5	Средний 0.7-1.5
Мелкий ≤ 0.7	18, 20, 21, 22, 24, 25, 28	11, 23, 26, 27
Средний 0.7-1.5	3, 7, 10, 12, 14, 29	15
Глубокий > 1.5	13	9

Цифры в ячейках – группы ПТК.

III. Криогенные процессы

- Пучение с новообразованием ММП
- Морозобойное растрескивание с формированием полигонально-жильных льдов
- Морозобойное растрескивание с формированием грунтовых жил
- Термокарст

IV. Границы геокриологических подзон

- Южная граница сплошного распространения ММП
- Южная граница прерывистого распространения ММП
- Южная граница массивно-островного распространения ММП
- Южная граница распространения современных ММП

- Прочие знаки
- Обширные участки с несливающимися ММП

Таблица 4. Ландшафтно-геокриологическая характеристика ПТК (фрагмент экспликации к геокриологической карте)

Обозначение на карте	Зональный тип распространения ММП/природная подзона	Группы ПТК (по преобладанию типа растительности)	Температура ММП*, °С	Распространение ММП по площади**, %	Преобладающий тип криолитогеоэда верхнего горизонта ММП и его состав			Современные криогенные процессы
					Эпигенетический		Сингенетический	
					Суглинки	Пески		
	Иб. Слошное распространение ММП/южная кустарниковая тундра	Тундры блочные кустарниково-кустарничково-мохово-лишайниковые с торфяниками полигональными и плоскобугристыми	$\frac{0 \dots -4}{-2 \dots -4}$	≥90 (с неславяющими ММП в межблочьях)	+			
		Крупноивняковые тундры с тундрами блочными кустарниково-кустарничково-мохово-лишайниковыми и торфяниками плоскобугристыми	$\frac{0 \dots -2}{0 \dots -2}$	≥90 (с обширными участками неславяющихся ММП)	+		Локальное пучение с новообразованием ММП	
		Торфяники полигональные и плоскобугристые с тундрами блочными кустарниково-кустарничково-мохово-лишайниковыми	$\frac{0 \dots -4}{-2 \dots -4}$	≥95			Морозобойное растрескивание с формированием ПЖЛ	
	II. Прерывистое распространение ММП/северная лесотундра	Тундры блочные и нечеткблочные кустарниково-моховые и кустарниково-кустарничково-мохово-лишайниковые с словыми редколесьями и торфяниками плоско- и выпуклобугристыми	$\frac{0 \dots -2}{0 \dots -2}$	60–80 (с участками неславяющихся ММП)	+			
	III. Массивно-островное распространение ММП/южная лесотундра	Болота травяно-моховые и торфяники выпукло- и плоскобугристые кустарниково-кустарничково-моховые с тундрами пологоволнистыми кустарниково-кустарничково-моховыми и плоскими кустарниково-кустарничково-мохово-лишайниковыми с редколесьями словыми и елово-березовыми	$\frac{0 \dots -2}{0 \dots -2}$	10–50			Пучение с новообразованием ММП	
	IV. Островное распространение ММП и талые породы/крайне-северная тайга	Леса словые и елово-березовые кустарниково-кустарничково-моховые с болотами травяно-моховыми, грядово-мочажинными и торфяниками выпуклбугристыми, с тундрами пологоволнистыми кустарниково-кустарничково-травяно-моховыми	≥0	≤1	+			
	IV. Островное распространение ММП и талые породы/крайне-северная тайга	Болота травяно-моховые, кустарниково-кустарничково-травяно-моховые, грядово-мочажинные и торфяники выпуклбугристые с лесами словыми и елово-березовыми кустарниково-кустарничково-моховыми, с тундрами пологоволнистыми кустарниково-кустарничково-травяно-моховыми	$\frac{0 \dots -0.5}{0 \dots -0.5}$	≤10			Пучение с новообразованием ММП	

* Для доминирующей группы ПТК. Интервал/фоновая.

** Суммарное значение для группы ПТК.

тельную (преобладающий состав верхнего от поверхности горизонта ММП и тип криолитоге-неза при наличии ММП, современные криогенные процессы).

Основным изобразительным средством – цветом – на карте показано *распространение ММП* по площади в целом для конкретной укрупненной группы ПТК (суммарное значение, %). Используются пять основных цветов для групп ПТК по распространению ММП: 1) более 90 (фиолетовая и сине-фиолетовая гаммы), 2) 50–90 (голубая гамма), 3) 10–50 (зеленая гамма), 4) менее 10 (желтая гамма), 5) ММП отсутствуют (оранжевая гамма). Каждый цвет представлен несколькими оттенками, которые означают принадлежность к определенной укрупненной группе ПТК. Благодаря полученным сведениям о морфологической структуре ландшафтов территории [*Осадчая и др., 2016*] для наиболее пестрой по природным сочетаниям подзоны прерывистого распространения ММП при картографировании в м-бе 1:1 000 000 стала возможной более дробная дифференциация диапазонов распространения ММП.

Вторым по значимости изобразительным средством – штриховкой и точечным крапом – показана среднегодовая температура ММП (в случае отсутствия ММП кольцевым крапом – температура талых пород) (см. рис. 2). Температуры соответствуют фоновым для доминирующего в укрупненной группе вида ПТК. Из-за высокой мозаичности мерзлотных условий, связанной, в частности, с широким развитием блочных и бугристых форм мезорельефа, температурный интервал практически во всех контурах начинается с 0 °С, т. е. температуры ММП на границе мерзлого блока и талых пород. Такая же температура ММП формируется в случае, если мерзлота несливающаяся и приурочена к межблочьям или межбугровым понижениям. Наиболее низкие температуры формируются в привершинной части блоков (бугров).

Преобладающий *состав* верхнего от поверхности горизонта ММП (3–5 м) и *тип криолито-генеза* (при наличии ММП) приводится для доминирующего в укрупненной группе ПТК. Сингенетический тип криолитогенеза характерен для торфов, озерных глин и песков, т. е. для групп ПТК с преобладанием растительности болот и торфяников; эпигенетический тип криолито-генеза – для всех остальных групп ПТК, причем в верхней части разреза преобладают суглинки, реже пески, что также отмечено в экспликации.

Современные *мерзлотные (криогенные) процессы* в экспликации указаны для доминирующей ПТК в пределах укрупненной группы урочищ, их распространение отражено также местами на карте внемасштабными знаками.

Информация о *глубинах сезонноталого (СТС) и сезонномерзлого слоев (СМС)* приведена (см. рис. 2) в виде таблицы типов сезонного оттаивания и промерзания в соответствии с классификацией Н.В. Тумель [*Маслов и др., 2005*] по максимальным значениям глубин в урочищах-доминантах. С учетом того, что нумерация укрупненных групп ПТК идет с севера на юг (за исключением интразональных), из табл. 4 следует, что зональность в изменениях глубин СТС/СМС в регионе не наблюдается.

На приводимой карте не показана мощность ММП, так как она практически не коррелирует с современной ландшафтной обстановкой и, по нашим представлениям, может быть откартирована в этом масштабе только при достаточном количестве скважин, вскрывших подошву ММП. Вертикальное строение криолитозоны региона представляет собой чередование горизонтов мерзлых, охлажденных и талых пород [*Баулин и др., 1978*], а также включает слой реликтовых ММП и газогидратов [*Карта..., 1983; Какунов, 2001; Оберман и др., 2004*].

ВЫВОДЫ

1. Работы по геокриологическому картографированию территории Большеземельской тундры, проведенные на основе ландшафтного дешифрирования дистанционных данных, позволили составить геокриологическую карту этой территории в масштабе 1:1 000 000.

Для каждого выделенного на карте контура приводится следующая информация: принадлежность к группе урочищ (по преобладанию типа растительности в порядке убывания); принадлежность к зональному типу распространения ММП, природной подзоне, а зональным/интразональным ландшафтам; температура ММП доминирующего типа урочищ (интервал и фоновая температура); распространение ММП по площади (включая участки несливающейся и ультрамаломощной мерзлоты); преобладающий тип криолитогенеза верхнего от поверхности горизонта ММП, его состав; тип СТС/СМС по мощности.

2. Анализ мерзлотной информации, выполненный на ландшафтно-индикационной основе, показал следующее.

Геокриологическая зональность в соответствии с ландшафтной проявляется в распространении мерзлых пород по площади и в меньшей степени – в их температурном режиме. Последний в основном определяется ландшафтными условиями на уровне урочищ. Даже в районах со сплошной мерзлотой температура пород поднимается до 0 °С. ММП четырех геокриологических подзон характеризуются температурным диапазоном всего в 4 °С.

Глубины сезонного оттаивания и промерзания пород не коррелируют с ландшафтной зональ-

ностью, но четко связаны с характеристиками урочищ, в первую очередь с составом пород, характером напочвенного покрова и мезорельефом.

Представленная карта может применяться для проведения геокриологического мониторинга, а также служить основой для составления инженерно-геологических, экологических и других карт, стать информационной базой для прогноза изменения геокриологических условий в связи с современным изменением климата, использоваться при экономических оценках и разработке планов хозяйственного использования территории.

***Благодарности.** Авторы выражают благодарность А.А. Поповой за поддержку и высказанные замечания, позволившие улучшить работу.*

Литература

- Андреичева Л.Н.** Плейстоцен европейского Северо-Востока. Екатеринбург, Изд-во УрО РАН, 2002, 210 с.
- Арсланов Х.А., Лавров А.С., Никифорова Л.Д.** О стратиграфии, геохронологии и изменениях климата среднего и позднего плейстоцена и голоцена на северо-востоке Русской равнины // Плейстоценовые оледенения Восточно-Европейской равнины. М., Наука, 1981, с. 37–52.
- Астахов В.И., Свенсен Й.И.** Покровная формация финального плейстоцена на крайнем северо-востоке Европейской России // Регион. геология и металлогения, 2011, № 47, с. 12–27.
- Атлас** Коми Автономной Советской Социалистической Республики. М., Гл. упр-ние геодезии и картографии Гос. геол. Комитета СССР, 1964, 113 с.
- Баулин В.В., Быков И.Ю., Садчиков П.Б. др.** Реликтовые мерзлые породы на северо-востоке европейской части СССР // Докл. АН СССР, 1978, т. 421, № 1, с. 430–433.
- Быков И.Ю.** Термозащитное оборудование при строительстве и эксплуатации скважин в мерзлых породах / И.Ю. Быков, Т.В. Бобылева. М., ИРЦ Газпром, 2005, 198 с.
- Геокриологическая** карта СССР. М-б 1:2 500 000 / Гл. ред. Э.Д. Ершов. Винница, Картогр. ф-ка, 1997, 16 л.
- Геокриология** СССР. Европейская территория СССР / Под ред. Э.Д. Ершова. М., Недра, 1988, 358 с.
- Государственная** геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1 000 000 (третье поколение). Сер. Уральская. Лист Q-41 – Воркута. Объяснит. зап. СПб., ВСЕГЕИ, 2007, 541 с.
- Государственная** геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1 000 000 (третье поколение). Уральская сер. Лист Q-40 – Печора. Объяснит. зап. СПб., ВСЕГЕИ, 2013, 365 с.
- Государственная** геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1 000 000 (третье поколение). Сер. Северо-Карско-Баренцевоморская. Лист R-39, 40 – о. Колгуев – прол. Карские Ворота. Объяснит. зап. СПб., ВСЕГЕИ, 2014, 405 с.
- Государственная** геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1 000 000 (третье поколение). Сер. Мезенская. Лист Q-39 – Нарьян-Мар. Объяснит. зап. СПб., ВСЕГЕИ, 2015, 393 с.
- Гуслицер Б.И., Дурягина Д.А., Кочев Д.А.** Возраст рельефообразующих морен в бассейне Нижней Печоры и граница распространения последнего покровного ледника // Тр. Ин-та геологии Коми ФАН СССР, 1985, вып. 54, с. 97–107.
- Данилов И.Д.** Плейстоцен морских субарктических равнин. М., Изд-во Моск. ун-та, 1978, 280 с.
- Дроздов Д.С.** Информационно-картографическое моделирование природно-техногенных сред в геокриологии: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Тюмень, 2004, 49 с.
- Зархидзе Д.В., Гусев Е.А., Аникина Н.Ю. др.** Новые данные по стратиграфии плейстоцен-четвертичных отложений бассейна р. Море-Ю (Большеземельская тундра) // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. Тр. ВНИИОкеангеология, 2010, т. 210, вып. 7, с. 96–110.
- Иванов Н.Ф.** Геолого-геоморфологическое строение Тимано-Печорской провинции // Материалы докл. Всерос. науч.-практ. конф. “Проблемы управления в XXI веке” (Ухта, Республика Коми, Россия, 28–29 марта 2011 г.). Ухта, ИУИБ, 2011, с. 3–19.
- Казначеева И.А., Суходольский С.Е., Горбачева В.М. др.** Мало-Большеземельский район // Геокриология СССР. Европейская территория СССР / Под ред. Э.Д. Ершова. М., Недра, 1988, с. 275–301.
- Какунов Н.Б.** Геотермическое районирование геокриологической провинции территории Европейского Северо-Востока // Материалы второй конф. геокриологов России. М., Изд-во Моск. ун-та, 2001, т. 3, с. 134–141.
- Карта** мерзлотных условий Нечерноземной зоны РСФСР. М-б 1:1 500 000. М., МГУ, 1983.
- Карта** четвертичных образований территории Российской Федерации. М-б 1:2 500 000. СПб., ВСЕГЕИ, 2014.
- Лавров А.С.** Неоплейстоцен северо-востока Русской равнины / А.С. Лавров, Л.М. Потапенко. М., Аэрогеология, 2005, 221 с.
- Лавров А.С.** Неоплейстоцен Печорской низменности и западного Притиманья (стратиграфия, палеогеография, хронология) / А.С. Лавров, Л.М. Потапенко. М., Можайский полигр. комбинат, 2012, 192 с.
- Лаврушин Ю.А., Чистякова И.А., Гайдаманчук А.С. и др.** Строение и вещественный состав отложений гляциального палеошельфа Большеземельской тундры // Литология кайнозойских отложений. М., Геол. ин-т АН СССР, 1989, с. 3–51.
- Малкова Г.В., Садуртдинов М.Р., Скворцов А.Г. др.** Температурный режим верхних горизонтов пород в нарушенных и ненарушенных криогенных ландшафтах Европейского Севера // Материалы V конф. геокриологов России. Ч. 6: Динамическая геокриология (Москва, 14–17 июня 2016 г.). М., Унив. книга, 2016, с. 63–69.
- Маслов А.Д.** Основы геокриологии: учеб. пособие / А.Д. Маслов, Г.Г. Осадчая, Н.В. Тумель, Н.А. Шполянская. Ухта, Изд-во Ин-та управления, информации и бизнеса, 2005, 176 с.
- Оберман Н.Г.** Экология Республики Коми и восточной части Ненецкого Автономного округа / Н.Г. Оберман, И.Г. Шеслер, А.И. Рубцов. Сыктывкар, ПрологПлюс, 2004, 256 с.
- Осадчая Г.Г., Тумель Н.В.** Локальные ландшафты как индикаторы геокриологической зональности (на примере европейского Северо-Востока) // Криосфера Земли, 2012, т. XVI, № 3, с. 62–71.
- Осадчая Г.Г., Тумель Н.В., Зенгина Т.Ю. др.** Обзорная геокриологическая карта Большеземельской тундры (Республика Коми и Ненецкий автономный округ). М-б 1:1 000 000 // Отчет проекта ПРООН/ГЭФ/ЕС “Укрепле-

ние системы особо охраняемых природных территорий Республики Коми в целях сохранения биоразнообразия первичных лесов в районе верховьев р. Печора”. Сыктывкар, 2015, 112 с.

Осадчая Г.Г., Тумель Н.В., Королева А.М. Морфологическая структура криогенных ландшафтов Большеземельской тундры // Криосфера Земли, 2016, т. XX, № 3, с. 14–23.

Осадчая Г.Г., Шполянская Н.А. Географические особенности изменчивости геокриологических характеристик Большеземельской тундры // Междунар. науч.-исслед. журн., 2021, ч. 1, № 02 (104), с. 124–131.

Пижанкова Е.И., Осадчая Г.Г., Попова А.А. О ландшафтной дифференциации и геокриологической зональности европейского Северо-Востока России на основе использования дистанционных данных // Материалы Пятой конф. геокриологов России (Москва, 14–17 июня 2016 г.). М., Univ. книга, 2016а, т. 3, ч. 12, с. 268–273.

Пижанкова Е.И., Осадчая Г.Г., Попова А.А. Дистанционные данные в картографировании распространения многолетнемерзлых пород севера Печорского артезианского бассейна // Сб. тез. Всерос. науч. конф. “Международный год карт в России. Объединяя пространство и время” (Москва, 25–28 окт. 2016 г.). М., МГУ, 2016б, с. 229–230.

Попов А.И. Плейстоценовые отложения в нижнем течении р. Печоры // Кайнозойский покров Большеземельской тундры. М., Изд-во Моск. ун-та, 1963, с. 24–49.

Попова А.А. Геоинформационное картографическое моделирование инженерно-геокриологических условий севера Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции по верхнему горизонту криолитозоны: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Тюмень, 2012, 20 с.

Почвенно-геологические условия Нечерноземья / Ред. Е.М. Сергеев. М., Изд-во Моск. ун-та, 1984, 608 с.

Суходольский С.Е. Парагенезис подземных вод и многолетнемерзлых пород. М., Наука, 1982, 152 с.

Фотиев С.М. Криогенный метаморфизм пород и подземных вод (условия и результаты). Новосибирск, Акад. изд-во “Geo”, 2009, 280 с.

Шполянская Н.А., Осадчая Г.Г., Малкова Г.В. Современные изменения климата и реакция криолитозоны (на примере Западной Сибири и Европейского севера России) // Геогр. среда и живые системы, 2022, № 1, с. 6–30.

Malkova G., Drozdov D., Vasiliev A. et al. Spatial and temporal variability of permafrost in the western part of the Russian Arctic // Energies, 2022, vol. 15, p. 2311.

Popova A.A., Rivkin F.M., Ivanova N.V. Map of engineering–geocryological zoning of European North-East, Scale 1:1 000 000 // 2nd Europ. Conf. on Permafrost: Abstr. (Potsdam, Germany, 11–18 June, 2005). Potsdam, 2005, p. 190–191.

Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I. et al. Late Quaternary ice sheet history of Northern Eurasia // Quat. Sci. Rev., 2004, vol. 23 (11–13), p. 1229–1271.

URL: <http://maps.yandex.ru/> (дата обращения: 11.09.2021).

URL: <http://maps.google.ru/> (дата обращения: 11.09.2021).

URL: <https://bestmaps.ru/map/esri/sat/> (дата обращения: 15.10.2022).

References

Andreicheva L.N. Pleystotsen yevropeyskogo Severo-Vostoka [Pleistocene of the European Northeast]. Ekaterinburg, Izd-vo Ural. Otd-niya RAN, 2002, 210 p. (in Russian).

Arslanov Kh.A., Lavrov A.S., Nikiforova L.D. On stratigraphy, geochronology and climate changes in the Middle and Late

Pleistocene and Holocene in the northeast of the Russian Plain. In: Pleistotsenovue oledneniya Vostochno-Evropeiskoi Ravninu [Pleistocene glaciations of the East European Plain]. Moscow, Nauka, 1981, p. 37–52 (in Russian).

Astakhov V.I., Svendsen J.I. Cover formation of the final Pleistocene in the extreme northeast of European Russia. Regionalnaya geologiya i metallogeniya [Regional Geology and Metallogeny], 2011, No. 47, p. 12–27.

Atlas Komi Avtonomnoy Sovetskoy Sotsialisticheskoy Respubliki [Atlas of the Komi Autonomous Soviet Socialist Republic]. Moscow, Glavnoe upravlenie geodezii i kartographii Gos. Geol. Komiteta SSSR, 1964, 113 p. (in Russian).

Baulin V.V., Bykov I.Yu., Sadchikov P.B. et al. Relic frozen rocks in the north-east of the European part of the USSR. Doklady AN SSSR [Reports of the Academy of Sciences of the USSR], 1978, vol. 421, No. 1, p. 430–433.

Bykov I.Yu., Bobyleva T.V. Termozashchitnoye oborudovaniye pri stroitel'stve i ekspluatatsii skvazhin v merzlykh porodakh [Thermal protection equipment for the construction and operation of wells in frozen rocks]. Moscow, Gazprom LLC, 2005, 198 p. (in Russian).

Geokriologicheskaya karta SSSR [Geocryological map of the USSR]. Scale 1:2,500,000. E.D. Ershov (ed.). Vinnitsa, Kartogr. f-ka, 1997, 16 p. (in Russian).

Geokriologiya SSSR. Yevropeyskaya territoriya SSSR [Geocryology of the USSR. European territory of the USSR]. E.D. Ershov (ed.). Moscow, Nedra, 1988, 358 p. (in Russian).

Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii [State geological map of the Russian Federation]. Scale 1:1,000,000 (third generation). Ural series. Sheet Q-41 – Vorkuta. Explanatory note. St. Petersburg, VSEGEI, 2007, 541 p. (in Russian).

Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii [State geological map of the Russian Federation]. Scale 1:1,000,000 (third generation). Ural series. Sheet Q-40 – Pechora. Explanatory letter. St. Petersburg, VSEGEI, 2013, 365 p. (in Russian).

Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii [State geological map of the Russian Federation]. Scale 1:1,000,000 (third generation). Series North Kara-Barents Sea. Sheet R-39, 40 – Kolguev Island – Kara Gate Strait. Explanatory letter. St. Petersburg, VSEGEI, 2014, 405 p. (in Russian).

Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii [State geological map of the Russian Federation]. Scale 1:1,000,000 (third generation). Mezenskaya series. Sheet Q-39 – Naryan-Mar. Explanatory letter. St. Petersburg, VSEGEI, 2015, 393 p. (in Russian).

Guslitsa B.I., Duryagina D.A., Kochev D.A. Age of reliefforming moraines in the Lower Pechora basin and the boundary of the distribution of the last glacier. In: Proc. of the Institute of Geology, Komi Branch AN SSSR, 1985, No. 54, p. 97–107.

Danilov I.D. Pleystotsen morskikh subarkticheskikh ravnin [Pleistocene of marine subarctic plains]. Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 1978, 280 p. (in Russian).

Drozdov D.S. Informatsionno-kartograficheskoye modelirovaniye prirodno-tekhnogennykh sred v geokriologii [Information-cartographic modeling of natural and technogenic environments in geocryology]: Abstract of the dissertation for the degree of doctor of geol.-min. sciences. Tyumen, 2004, 49 p. (in Russian).

Zarkhidze D.V., Gusev E.A., Anikina N.Yu. et al. New data on the stratigraphy of the Pliocene–Quaternary deposits of the More-Yu river basin (Bol'shezemelskaya tundra). In: Geological and geophysical characteristics of the lithosphere of the Arctic region. Proc. of the Institute VNIIOkeangeologiya, 2010, vol. 210, No. 7, p. 96–110 (in Russian).

- Ivanov N.F. Geological and geomorphological structure of the Timan-Pechora province. In: Proc. of the All-Russ. Scientific and Practical Conf. "Problems of Management in the 21st Century" (Ukhta, Komi Republic, March 28–29, 2011). Ukhta, IUIB, 2011, p. 3–19 (in Russian).
- Kaznacheeva I.A., Sukhodolsky S.E., Gorbacheva V.M. et al. Malo-Bolshezemelsky region. In: Geocryology of the USSR. European territory of the USSR. E.D. Ershov (ed.). Moscow, Nedra, 1988, p. 275–301 (in Russian).
- Kakunov N.B. Geothermal zoning of the geocryological province of the territory of the European North-East. In: Materials of the Second Conf. of Geocryologists of Russia. Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 2001, p. 134–141 (in Russian).
- Karta merzlotnykh usloviy Nechernozemnoy zony RSFSR [Map of permafrost conditions of the Non-Chernozem zone of the RSFSR]. Scale 1:1,500,000. Moscow, Moscow State University, 1983 (in Russian).
- Karta chetvertichnykh obrazovaniy territorii Rossiyskoy Federatsii [Map of Quaternary formations of the Russian Federation territory]. Scale 1:2,500,000. St. Petersburg, VSEGEI, 2014.
- Lavrov A.S., Potapenko L.M. Neopleystotsen severo-vostoka Russkoy ravniny [Neopleistocene of the northeast of the Russian Plain]. Moscow, Aerogeology, 2005, 221 p. (in Russian).
- Lavrov A.S., Potapenko L.M. Neopleystotsen Pechorskoy nizmennosti i zapadnogo Pritiman'ya (stratigrafiya, paleografiya, khronologiya) [Neopleistocene of the Pechora Lowland and Western Timan Region (stratigraphy, paleogeography, chronology)]. Moscow, 2012, 192 p. (in Russian).
- Lavrushin Yu.A., Chistyakova I.A., Gaidamanchuk A.S. et al. Structure and material composition of deposits of the glacial paleoshelf of the Bolshezemelskaya tundra. In: Lithology of Cenozoic deposits. Moscow, Geolog. Institute AN SSSR, 1989, p. 3–51 (in Russian).
- Malkova G.V., Sadurtdinov M.R., Skvortsov A.G. et al. Temperature regime of the upper horizons of rocks in disturbed and undisturbed cryogenic landscapes of the European North. In: Proc. of the V Conf. of Geocryologists of Russia. Part 6: Dynamic geocryology (Moscow, June 14–17, 2016). Moscow, Universitetskaya kniga, 2016, p. 63–69 (in Russian).
- Maslov A.D., Osadchaya G.G., Tumel N.V., Shpolyanskaya N.A. Osnovy geokriologii [Fundamentals of Geocryology]. Ukhta, Institute of Management, Information and Business, 2005, 176 p. (in Russian).
- Oberman N.G., Shesler I.G., Rubtsov A.I. Ekologiya Respubliki Komi i vostochnoy chasti Nenetskogo Avtonomnogo okruga [Ecology of the Komi Republic and the eastern part of the Nenets Autonomous Okrug]. Syktyvkar, PrologPlus, 2004, 256 p. (in Russian).
- Osadchaya G.G., Tumel N.V. Local landscapes as indicators of geocryological zoning (case study: European Northeast). Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere], 2012, vol. XVI, No. 3, p. 62–71.
- Osadchaya G.G., Tumel N.V., Zengina T.Yu. et al. Obzornaya geokriologicheskaya karta Bol'shezemel'skoy tundry [Overview geocryological map of the Bolshezemelskaya tundra] (Republic of Komi and the Nenets Autonomous Okrug). Scale 1:1,000,000. In: Report of the UNDP/GEF/EU project "Strengthening the system of specially protected natural territories of the Komi Republic in order to preserve the biodiversity of primary forests in the area of the upper reaches of the river Pechora". Syktyvkar, 2015, 112 p. (in Russian).
- Osadchaya G.G., Tumel N.V., Koroleva A.M. Morphological structure of cryogenic landscapes of the Bolshezemelskaya tundra. Earth's Cryosphere, 2016, vol. XX, No. 3, p. 14–22.
- Osadchaya G.G., Shpolyanskaya N.A. Geographical features of the variability of geocryological characteristics of the Bolshezemelskaya tundra. Int. Res. J., 2021, pt 1, No. 02 (104), p. 124–131.
- Pizhankova E.I., Osadchaya G.G., Popova A.A. On landscape differentiation and geocryological zonality of the European North-East of Russia based on the use of remote data. In: Materials of the Fifth Conf. of Geocryologists of Russia (Moscow, June 14–17, 2016). Moscow, Universitetskaya kniga, 2016a, vol. 3, pt 12, p. 268–273 (in Russian).
- Pizhankova E.I., Osadchaya G.G., Popova A.A. Remote sensing data in mapping the distribution of permafrost in the north of the Pechora Artesian Basin. In: Proc. of the All-Russian Scientific Conference "International Year of Maps in Russia. Uniting space and time" (Moscow, Oct. 25–28, 2016). Moscow, Moscow State University, 2016b, p. 229–230 (in Russian).
- Popov A.I. Pleistocene deposits in the lower reaches of the river. Pechory. In: Kainozoiskiy pokrov Bol'shezemelskoy tundry [Cenozoic cover of the Bolshezemelskaya tundra]. Moscow, Moscow State University, 1963, p. 24–49 (in Russian).
- Popova A.A. Geoinformatsionnoye kartograficheskoye modelirovaniye inzhenerno-geokriologicheskikh usloviy severa Timano-Pechorskoy neftegazonosnoy provintsii po verkhnemu gorizontu kriolitozony [Geoinformation cartographic modeling of engineering-geocryological conditions of the north of the Timan-Pechora oil and gas province along the upper horizon of the permafrost zone]: Abstract of the dissertations for the degree of Cand. geol.-min. sciences. Tyumen, 2012, 20 p. (in Russian).
- Pochvenno-geologicheskkiye usloviya Nechernozem'ya [Soil-geological conditions of the Non-Chernozem region]. Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 1984, 608 p. (in Russian).
- Sukhodolsky S.E. Paragenesis podzemnykh vod i mnogoletnerzhnykh porod [Paragenesis of groundwater and permafrost]. Moscow, Nauka, 1982, 152 p. (in Russian).
- Fotiev S.M. Kriogennyy metamorfizm porod i podzemnykh vod (usloviya i rezul'taty) [Cryogenic metamorphism of rocks and underground waters (conditions and results)]. Novosibirsk, Acad. Publishing House "Geo", 2009, 280 p. (in Russian).
- Shpolyanskaya N.A., Osadchaya G.G., Malkova G.V. Modern climate changes and the reaction of the cryolithozone (on the example of Western Siberia and the European North of Russia). Geographical Environment and Living Systems, 2022, No. 1, p. 6–30.
- Malkova G., Drozdov D., Vasiliev A. et al. Spatial and temporal variability of permafrost in the Western Part of the Russian Arctic. Energies, 2022, vol. 15, p. 2311. – <https://doi.org/10.3390/en15072311>
- Popova A.A., Rivkin F.M., Ivanova N.V. Map of engineering-geocryological zoning of European North-East, Scale 1:1 000 000. In: 2nd Europ. Conf. on Permafrost: Abstract. Potsdam, Germany, 2005, p. 190–191.
- Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I. et al. Late Quaternary ice sheet history of Northern Eurasia. Quat. Sci. Rev., 2004, vol. 23 (11–13), p. 1229–1271.
- URL: <http://maps.yandex.ru/> (last visited: 11.09.2021).
- URL: <http://maps.google.ru/> (last visited: 11.09.2021).
- URL: <https://bestmaps.ru/map/esri/sat/> (last visited: 15.10.2022).

*Поступила в редакцию 19 мая 2023 г.,
после доработки – 10 сентября 2023 г.,
принята к публикации 27 сентября 2023 г.*