

Геоинформатика. 2023. № 1. С. 71–78.  
*Geoinformatika*. 2023;(1):71–78.

### Решение практических задач

Научная статья  
 УДК 551.345.1  
<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-1-71-78>

## Современное состояние мерзлотных ландшафтов Приленского плато (на примере участка «Межаласье»)

© 2023 г. — Николай Александрович Федоров<sup>а)</sup>, Алена Алексеевна Шестакова<sup>б)</sup>

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук; Россия, Якутск  
<sup>а)</sup>[nfeda96@gmail.com](mailto:nfeda96@gmail.com), <sup>б)</sup>[aashest@mail.ru](mailto:aashest@mail.ru)

**Аннотация:** В статье приведены результаты изучения структуры мерзлотных ландшафтов в районе прерывистого пространства многолетнемерзлых грунтов в крупномасштабном картографировании. Фактический материал был собран авторами в ходе научно-исследовательских и полевых работ по объекту «Сила Сибири». Составлены карты типов рельефа, типов растительности и мерзлотно-ландшафтная карта ключевого участка «Межаласье». Систематизированы природно-территориальные комплексы на территории исследования. Изучены особенности распространения мерзлотных ландшафтов, проведена их дифференциация, рассчитана площадь распространения льдистых грунтов.

**Ключевые слова:** мерзлотные ландшафты, ледовый комплекс, картирование, Приленское плато, прерывистая мерзлота.

Для цитирования: Федоров Н.А., Шестакова А.А. Современное состояние мерзлотных ландшафтов Приленского плато (на примере участка «Межаласье») // Геоинформатика. — 2023. — № 1. — С. 71–78. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-1-71-78>.

### Practical application

Original article

## Current State of Permafrost Landscapes of the Prilensky Plateau

© 2023 — Nikolai A. Fedorov<sup>а)</sup>, Aliona A. Shestakova<sup>б)</sup>

Melnikov Permafrost Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Yakutsk, Russia  
<sup>а)</sup>[nfeda96@gmail.com](mailto:nfeda96@gmail.com), <sup>б)</sup>[aashest@mail.ru](mailto:aashest@mail.ru)

**Abstract:** The article presents the results of studying the structure of permafrost landscapes in the area of discontinuous distribution of permafrost soils in large-scale mapping. The actual material was collected by the authors in the course of research and field work on the Power of Siberia project. Maps of terrain types, types of vegetation and a permafrost-landscape map of the key area "Mezhalasie" were compiled. Natural territorial complexes in the area of survey were systematized. The features of the permafrost landscapes distribution were studied, their differentiation was carried out, and the area of icy soils distribution was calculated.

**Key words:** permafrost landscapes, ice complex, mapping, Prilensky Plateau, discontinuous permafrost.

For citation: Fedorov N.A., Shestakova A.A. Current State of Permafrost Landscapes of the Prilensky Plateau. *Geoinformatika*. 2023;(1):71–78. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-1-71-78>. In Russ.

### Введение

В данной работе рассматриваются особенности распространения многолетнемерзлых пород в природно-территориальных комплексах (ПТК) на уровне типов урочищ центральной части Приленского плато, под которым понимается географическая региональная структура, входящая в провинцию Среднесибирского плоскогорья [2]. В отношении мерзлотно-ландшафтного районирования рассматриваемая территория расположена в Нюе-Олекминской провинции в зоне распространения прерывистой мерзлоты Средней Сибири [8] (рис. 1).

Основной задачей работы является проведение крупномасштабного (1:25 000) мерзлотно-ландшафт-

ного картографирования Приленского плато. Для решения поставленной задачи было проведено картирование типов урочищ на ключевом участке «Межаласье», где ярко выражены криогенные процессы, в частности термокарст. Был проработан ранее опубликованный научный материал по области исследования, использован фондовый материал Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН по литологическому строению, температурному режиму грунтов, полевые наблюдения ландшафтов, а также мультиспектральные, радарные космоснимки и ортофотоснимки с беспилотных летательных аппаратов.

Рис. 1. Зона распространения прерывистой мерзлоты

Fig. 1. Discontinuous permafrost distribution zone



### Материалы и методика исследований

Предварительно проанализировав Мерзлотно-ландшафтную карту масштаба 1:1 500 000 [11], были выделены участки детализации, где возможна активизация криогенных процессов вследствие антропогенного воздействия (рис. 2). Участок межлассного типа местности в Нюе-Олекминской провинции в зоне распространения прерывистых многолетнемерзлых пород характеризуется проявлениями просадков поверхности грунтов в форме полигональных нарушений — «былларов» на нарушенных участках (рис. 3). Межлассный тип местности представляет интерес ввиду наличия льдистых грунтов и неустойчивости мерзлотных условий из-за внешнего воздействия и изменения климата.

Основным руководящим положением мерзлотно-ландшафтных исследований является тесная взаимосвязь внешнего облика ПТК с его внутренним содержанием [1]. Из него следует, что сходные по внешним признакам ПТК характеризуются одними и теми же геоэкологическими, инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями. В данной работе была использована методика мерзлотно-ландшафтных исследований, разработанная на основе методики Ф.Н. Милькова [6, 7].

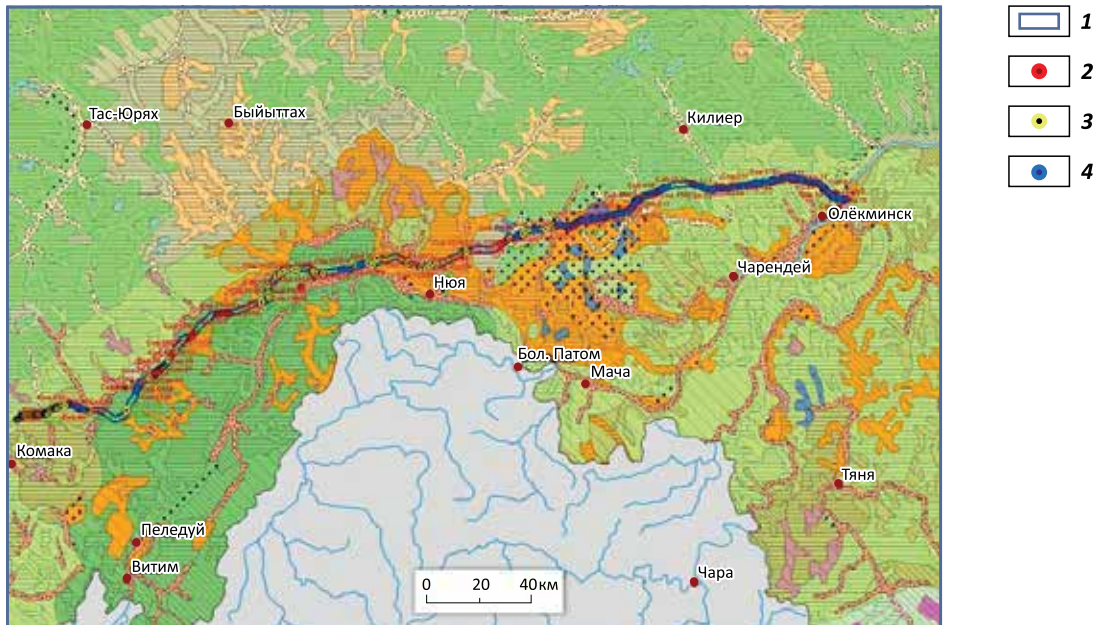
В качестве основной единицы картографирования были выбраны типы урочищ в среднетаежном типе ландшафта. Урочище — это природно-терри-

ториальный комплекс с однородным литолого-фациальным комплексом поверхностных отложений, имеющий один тип температурно-влажностного режима. Типологический комплекс урочищ является одной из основных единиц в ландшафтном картографировании и представляет собой закономерный комплекс фаций, достаточно хорошо обособленный в природе в связи с неровностями рельефа и неоднородным составом почв и грунтов [5, 9].

В данной работе ведущими факторами выделения типов урочищ являются типы растительности, особенности микрорельефа и литолого-фациального комплекса. Именно эти три фактора определяют пространственное распределение свойств многолетнемерзлых пород. Растительность тесно связана с климатическими и почвенно-грунтовыми условиями, что является основой криоиндикационного метода картирования. При классификации растительности использовались такие методы дешифрирования, как неконтролируемая классификация, классификация по индексу NDVI, классификация по индексу LST, дешифрирование ортофотопланов с квадрокоптера. Температурный режим грунтов также зависит от экспозиции склона. Так, на затененных склонах северной экспозиции являются наиболее суровые мерзлотные условия. Литологический состав в свою очередь формирует геотемпературный режим ввиду дифференциации

**Рис. 2.** Карта-схема фактического материала

Fig. 2. Map-scheme of the actual material



1 — границы исследуемой территории; **скважины** (2–4): 2 — вскрывшие талые грунты ( $t > 0$  °C), 3 — вскрывшие высокотемпературные ММП ( $-0,5 < t < 0$  °C), 4 — вскрывшие низкотемпературные ММП ( $t < -0,5$  °C)

1 — boundaries of the study area; **boreholes** (2–4): 2 — penetrating thawed soils ( $t > 0$  °C), 3 — penetrating warm permafrost ( $-0.5 < t < 0$  °C), 4 — penetrating cold permafrost ( $t < -0.5$  °C)

**Рис. 3.** Спутниковый снимок ключевого участка «Межаласье»

Fig. 3. Satellite image of the key area "Mezhalasie"





теплофизических свойств грунтов, таких как теплопроводность, теплоемкость, теплота фазовых переходов грунтов и т.п.

Для построения карты типов урочищ масштаба 1:25 000 были предварительно построены карты фаций масштаба 1:5 000. Геоморфологической основой для составления карт послужили локальные цифровые модели поверхности (рис. 4).

При классификации типов рельефа учитывался состав четвертичных отложений и их генетический тип. Надо отметить, что ArcticDEM не учитывает высоту растительного покрова от поверхности Земли при выделении абсолютного значения над уровнем моря.

Температура грунтов была изучена по результатам инженерно-геологических изысканий и мониторинга режимных и фоновых скважин по магистральному газопроводу. При наличии типизации температурного режима и геоморфологических особенностей территории представилась возможность учесть дополнительно растительный покров, чтобы провести классификацию типов урочищ для составления карт и изучения особенностей мерзлотных условий Приленского плато. Также в ходе работ были проведены ландшафтно-рекогносцировочные работы, в ходе которых определялись парагенетические особенности ПТК и растительности, применявшиеся в дальнейшем при их классификации с использованием мультиспектральных космоснимков.

### Результаты

Территория исследуемого участка «Межаласье» имеет сложную структуру генетических типов четвертичных отложений [4]. Повсеместно наблюдаются оторфованность и отложения техногенного характера. Также выявлены участки с активными проявлениями термокарста, которые образуют просадочные формы рельефа. Всего без учета нарушенных территорий выделяется 7 комплексов форм рельефа, характерных для долин крупных рек (рис. 5).

По результатам дешифрирования космоснимков методом неконтролируемой классификации типов растительности, а также комбинациями с влажностным и температурными индексами [3] были выделены 18 типов растительности на исследуемой территории (рис. 6). С помощью метода оверлея (наложения) слоев типов рельефа и типов растительности была составлена мерзлотно-ландшафтная карта исследуемого участка, на которой показан 31 тип урочищ (рис. 7).

Отдельно были выделены территории с признаками сукцессионных процессов, так как они вызывают существенное повышение температур многолетнемерзлых пород [10]. Выявленные типы урочищ позволили оценить распространение межаласного типа местности на исследуемой территории.

В сумме со всеми нарушенными участками выделены 7 пространственных типов, включая водоемы, порожденные термокарстовыми процессами. Площадное распространение данных территорий занимает 28% всей исследуемой территории. На этих территориях наблюдается активизация криогенных процессов, таких как термокарст, солифлюкция, морозное пучение и морозобойное растрескивание.

Распределение ледового комплекса, согласно криоиндикационному методу, базируется под всей территорией межаласного типа местности. Согласно мерзлотно-ландшафтной карте, это 60% площади участка, или 17 км<sup>2</sup> в абсолютных значениях. Оценены мерзлотные характеристики трех вариаций межаласья с помощью геотермических исследований: плоскоравнинный тип высокого межаласья, пологонаклонное межаласье и плоскоравнинный тип низкого межаласья (табл. 1). Также приведено сравнение их геокриологических свойств, выделенных в ходе классификации и генерализации типов урочищ на исследуемой территории, по результатам инженерно-геокриологических изысканий.

Рис. 4. Использование цифровой модели рельефа (ЦМР) ArcticDEM при выделении типов рельефа

Fig. 4. Using the ArcticDEM Digital Elevation Model (DEM) to identify terrain types

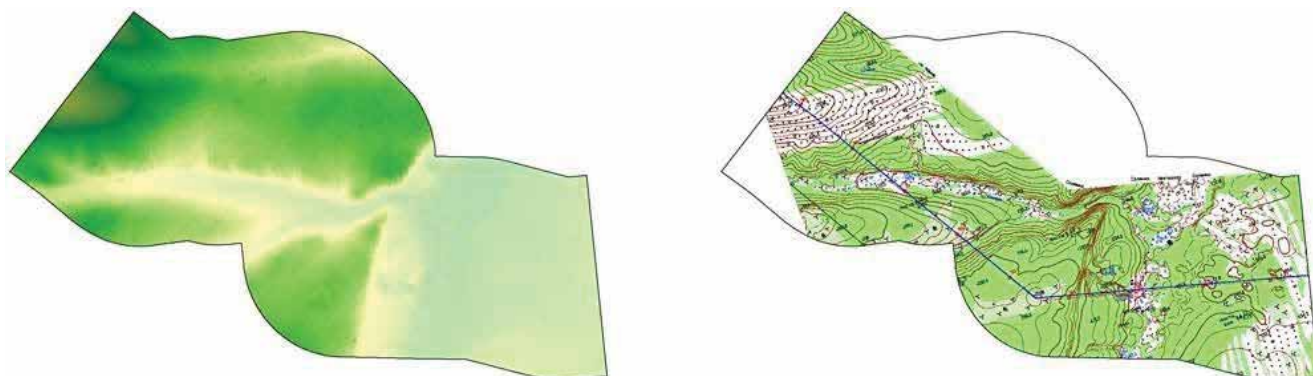
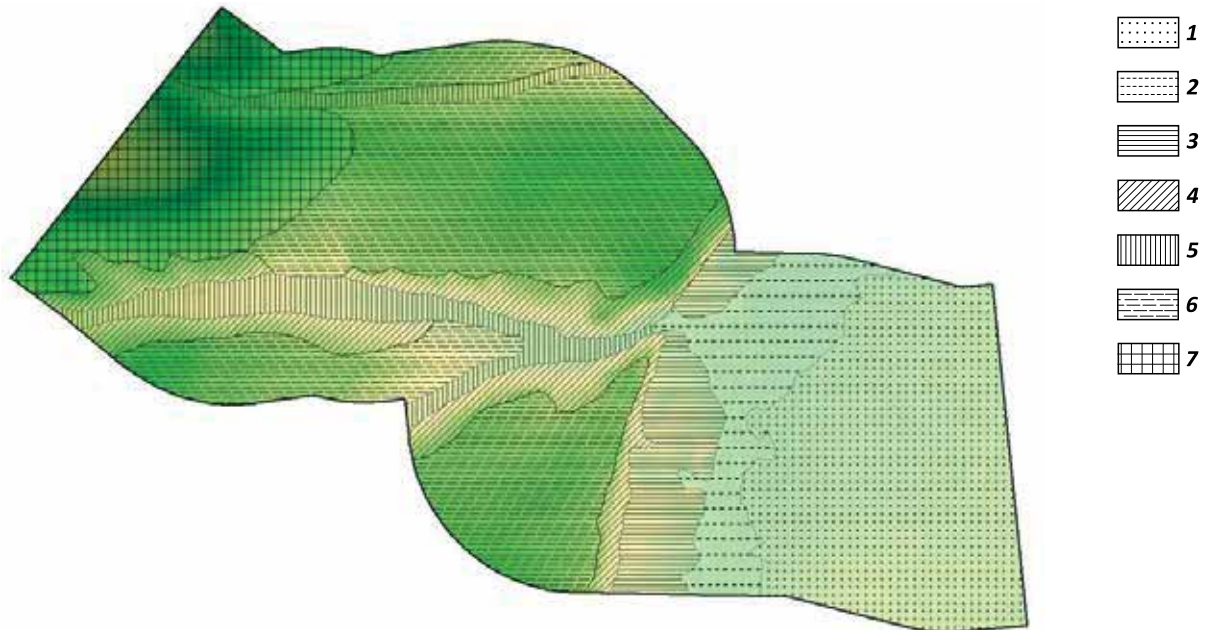


Рис. 5. Карта типов рельефа ключевого участка «Межаласье»

Fig. 5. Map of terrain types of the key area "Mezhalasie"

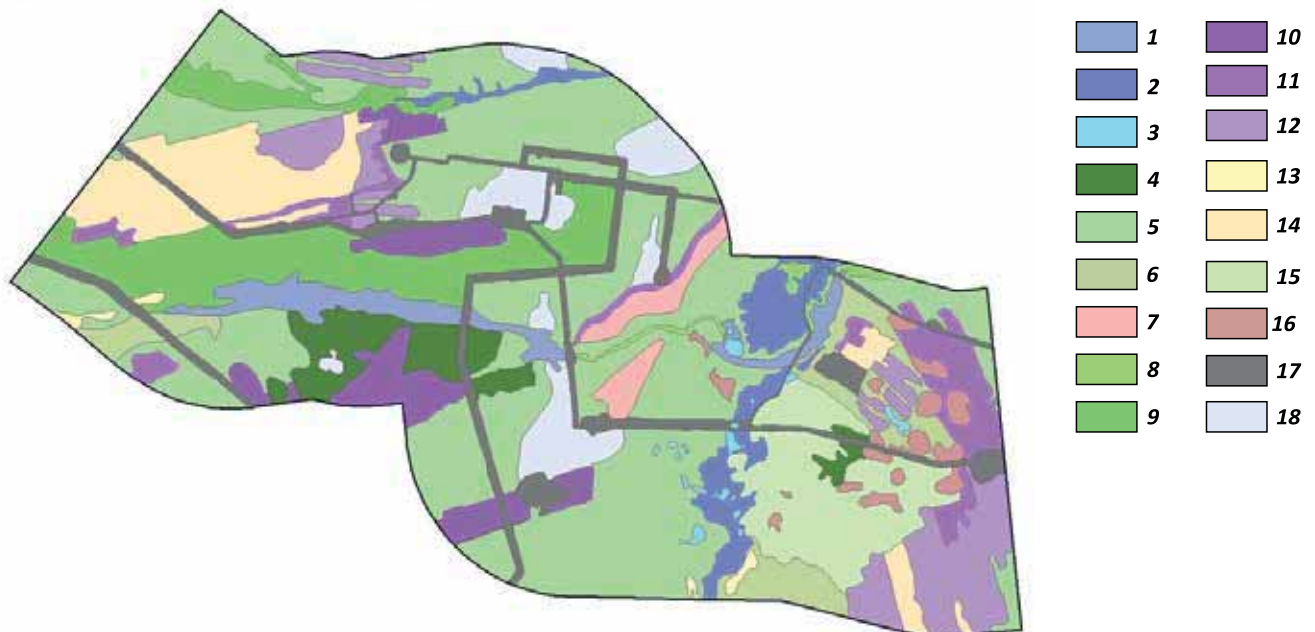


**Типы рельефа (1–7):** 1 — верхняя пойма р. Лена, 2 — понижение на верхней пойме, 3 — I-ая надпойменная терраса, 4 — уступ террасы, 5 — долина ручьев, 6 — пологий склон II-й надпойменной террасы, 7 — склон водораздела

**Landforms (1–7):** 1 — high floodplain of the Lena River, 2 — depression in the high floodplain, 3 — first terrace, 4 — terrace ledge, 5 — stream valley, 6 — gentle slope of the second terrace, 7 — hill slope

Рис. 6. Карта растительности ключевого участка «Межаласье»

Fig. 6. Vegetation map of the key area "Mezhalasie"



1 — сухой комплекс долинной растительности; 2 — влажный комплекс долинной растительности; 3 — водоемы; **лес (4–9):** 4 — лиственнично-еловый, 5 — лиственничный, 6 — смешанный, 7 — сосново-лиственничный, 8 — березовый, 9 — березово-лиственничный; **сукцессии (10–12):** 10 — более 50 лет, 11 — от 20 до 50 лет, 12 — до 10 лет; **луг (13–15):** 13 — сухой разнотравный, 14 — остепенённые луга на пашнях, 15 — разнотравно-кустарничковые луга с березовым подростом; 16 — термокарстовые котловины; 17 — техногенные участки; 18 — выборочная рубка

1 — dry valley vegetation association; 2 — wet valley vegetation association; 3 — lakes and rivers; **forest (4–9):** 4 — larch-spruce, 5 — larch, 6 — mixed, 7 — pine-larch, 8 — birch, 9 — birch-larch; **successions (10–12):** 10 — >50 years, 11 — 20-50 years, 12 — <10 years; **meadow (13–15):** 13 — dry forb meadows, 14 — steppe meadows on arable land, 15 — forb-shrub meadows with birch undergrowth; 16 — thermokarst basins; 17 — anthropogenic sites; 18 — selective felling

Рис. 7. Мерзлотно-ландшафтная карта участка «Межаласье»

Fig. 7. Permafrost-landscape map of the area "Mezhalasie"

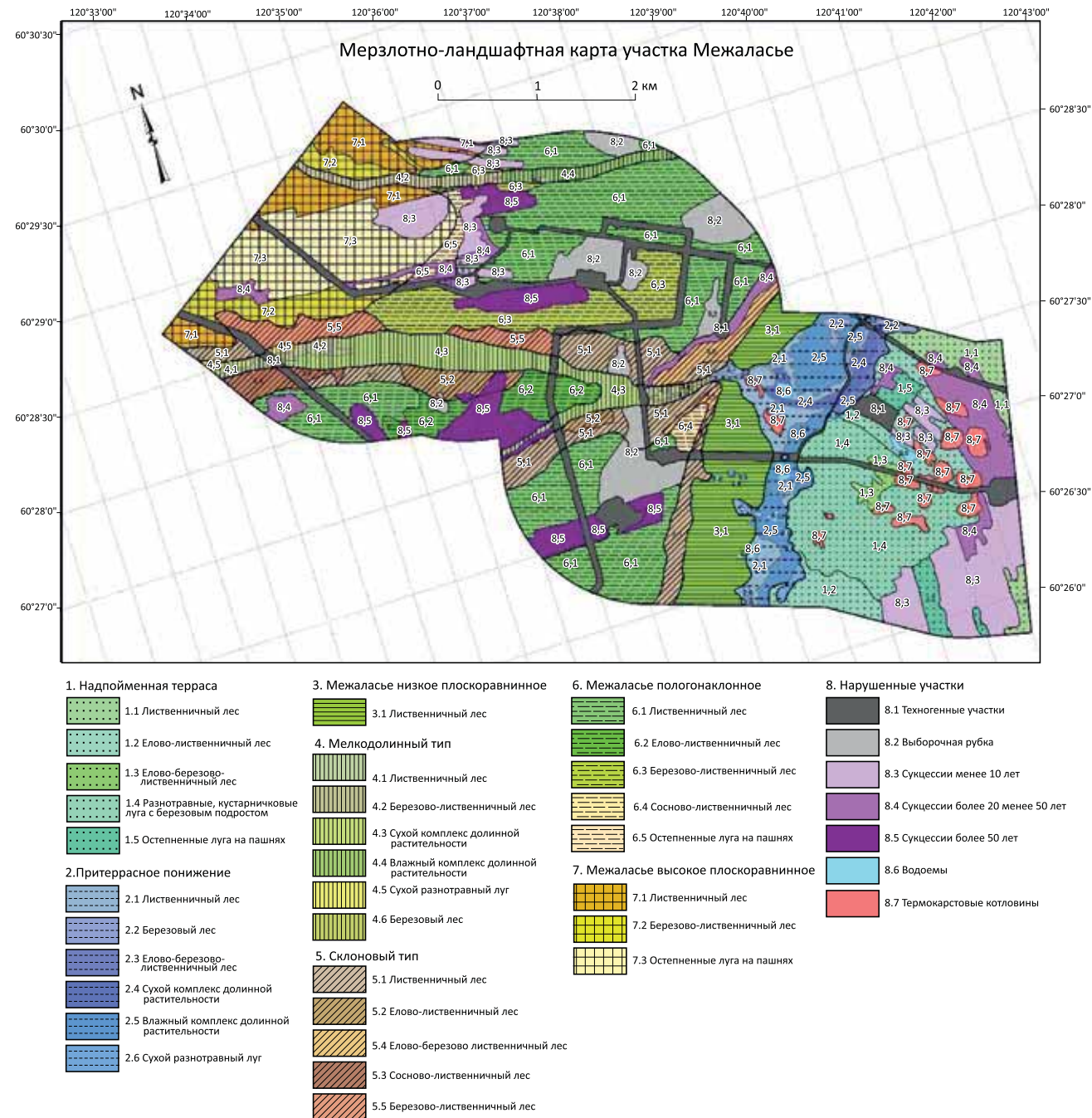


Табл. 1. Сравнение основных геокриологических свойств типов межаласье

Tabl. 1. Comparison of the main geocryological properties of the interalier

Тип межаласье	Средняя температура, °С	Фактический СТС		Расчетный СТС на нарушенном участке
		Дата	Мощность	
Межаласье высокое плоскоравнинное	-1,7	20.08.2011	0,6 м	2,3 м
Межаласье пологонаклонное	-1,1	20.08.2011	1,0 м	2,6 м
Межаласье низкое лоскоравнинное	-1,0	07.09.2011	1,9 м	3 м



## Заключение

Проделанная работа позволила составить карту типов урочищ в масштабе 1:25 000 на основании комплекса факторов, влияющих на мерзлотные характеристики многолетнемерзлых пород. Составленная карта позволяет представить разнообразие мерзлотных ландшафтов рассматриваемой терри-

тории. Любые внешние воздействия на сильнольдистые межгаласные природно-территориальные комплексы могут вызвать активизацию криогенных процессов, если не предпринимать превентивные меры, такие как расчистка снега в зимний период и восстановление растительного покрова.

## Список источников

1. Босиков Н.П., Васильев И.С., Федоров А.Н. Мерзлотные ландшафты зоны освоения Лено-Алданского междуречья. – Якутск : ИМ, 1985. – 124 с.
2. Воскресенский С.С. Геоморфология Сибири. – М. : МГУ, 1962. – 352 с.
3. Калинин С.В., Железняк М.Н., Кириллин А.Р., Федоров А.Н. Выявление и картографирование мерзлых участков с использованием космических снимков (на примере Эльконского горста в Южной Якутии) // Наука и образование. – 2017. – № 3 (87). – С. 30–37.
4. Карта четвертичных отложений Российской Федерации. Масштаб 1:2 500 000 [Электронный ресурс] / ФГУП «ВСЕГЕИ», ФГУП «ВНИИОкеангеология»; редкол.: О.В. Петров (председ.) и др. – 2014. – Режим доступа: <http://www.vsegei.ru/ru/info/quaternary-2500/> (дата обращения 20.01.2023 г.).
5. Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР. Масштаб 1: 2 500 000 / Гл. ред. П.И. Мельников. – М.: ГУГК, 1991. – 2 л.
6. Мильков Ф.Н. Ландшафтная география и вопросы практики. – М. : Мысль, 1966. – 256 с.
7. Мильков Ф.Н. Физическая география: учение о ландшафте и географическая зональность. – Воронеж: ВГУ, 1981. – 328 с.
8. Федоров А.Н. Мерзлотные ландшафты Якутии: методика выделения и вопросы картографирования. – Якутск: ИМЗ, 1991. – 140 с.
9. Федоров А.Н., Ботулу Т.А., Варламов С.П. и др. Мерзлотные ландшафты Якутии : пояснительная записка к «Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР масштаба 1:2 500 000. – Новосибирск: ГУГК, 1989. – 169 с.
10. Шестакова А.А. Картографирование мерзлотных ландшафтов с учетом сукцессий растительности (на примере Приленского плато) : автореф. дис.... канд. геогр. наук. – Якутск, 2011. – 20 с.
11. Fedorov A.N., Vasilyev N.F., Torgovkin Y.I. et al. Permafrost-landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia) at scale 1:1,500,000 // *Geosciences*. – 2018. – Vol. 8. – Iss. 12. – 465. DOI: 10.3390/geosciences8120465.

## References

1. Bosikov N.P., Vasil'ev I.S., Fedorov A.N. Merzlotnye landshafty zony osvoeniya Leno-Aldanskogo mezhdurech'ya [Permafrost landscapes of the development zone of the Lena-Aldan interfluv]. Yakutsk: IM; 1985. 124 p.
2. Voskresenskii S.S. Geomorfologiya Sibiri [Geomorphology of Siberia]. Moscow: MGU; 1962. 352 p.
3. Kalinicheva S.V., Zheleznyak M.N., Kirillin A.R., Fedorov A.N. Identification and mapping of permafrost using satellite images (on the example of the Elkon mountain in Southern Yakutia). *Nauka i obrazovanie*. 2017;87:30–37.
4. Petrov O.V. et al. (eds.) Karta chetvertichnykh otlozhenii Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1:2 500 000 [Map of Quaternary deposits of the Russian Federation. Scale 1:2,500,000]. – 2014. – Available at: <http://www.vsegei.ru/ru/info/quaternary-2500/> (accessed 20.01.2023).
5. Mel'nikov P.I. (ed.) Merzlotno-landshaftnaya karta Yakutskoi ASSR. Masshtab 1: 2 500 000 [Permafrost-landscape map of the Yakut ASSR. Scale 1: 2,500,000]. Moscow: GUGK; 1991. 2 p.
6. Mil'kov F.N. Landshaftnaya geografiya i voprosy praktiki [Landscape geography and questions of practice]. Moscow: Mysl'; 1966. 256 p.
7. Mil'kov F.N. Fizicheskaya geografiya: uchenie o landshafte i geograficheskaya zonal'nost' [Physical geography: the doctrine of the landscape and geographic zoning]. Voronezh: VGU; 1981. 328 p.
8. Fedorov A.N. Merzlotnye landshafty Yakutii: metodika vydeleniya i voprosy kartografirovaniya [Permafrost landscapes of Yakutia: methods of identification and mapping issues]. Yakutsk: IMZ; 1991. 140 p.
9. Fedorov A.N., Botulu T.A., Varlamov S.P. et al. Merzlotnye landshafty Yakutii: pojasnitel'naya zapiska k «Merzlotno-landshaftnoi karte Yakutskoi ASSR masshtaba 1:2 500 000 [Permafrost landscapes of Yakutia: Explanatory note to the “Permafrost and landscape map of the Yakut ASSR, scale 1: 2,500,000]. Novosibirsk: GUGK; 1989. 169 p.
10. Shestakova A.A. Kartografirovanie merzlotnykh landshaftov s uchetom suksessii rastitel'nosti (na primere Prilenskogo plato) : avtoref. diS.... kand. geogr. nauk [Mapping of permafrost landscapes taking into account vegetation successions (on the example of the Prilensky plateau): abstract of the PhD dissertation in geographical sciences]. Yakutsk; 2011. 20 p.
11. Fedorov A.N., Vasilyev N.F., Torgovkin Y.I. et al. Permafrost-landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia) at scale 1:1,500,000. *Geosciences*. 2018;8(12):465. DOI: 10.3390/geosciences8120465.

Статья поступила в редакцию 25.10.2022, одобрена после рецензирования 27.10.2022, принята к публикации 15.01.2023.  
The article was submitted 25.10.2022; approved after reviewing 27.10.2022; accepted for publication 15.01.2023.

### Информация об авторах

#### **Федоров Николай Александрович**

Младший научный сотрудник лаборатории геоинформационных систем (ГИС) и картографирования криолитозоны, аспирант 3-го года очной формы обучения аспирантуры

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук

677010 Якутск, ул. Мерзлотная, д. 36

e-mail: nfeda96@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4757-2906

#### **Шестакова Алена Алексеевна**

Кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории геоинформационных систем (ГИС) и картографирования криолитозоны

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук

677010 Якутск, ул. Мерзлотная, д. 36

e-mail: aashest@mail.ru

ORCID: 0000-0002-0648-0362

### Information about authors

#### **Nikolai A. Fedorov**

Junior Researcher of the Laboratory of Geographic Information Systems (GIS) and Permafrost Mapping, 3rd year full-time Postgraduate Student

Melnikov Permafrost Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

36, Merzlotnaya str., Yakutsk, 677010, Russia

e-mail: nfeda96@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4757-2906

#### **Aliona A. Shestakova**

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Geographic Information Systems (GIS) and Permafrost Mapping

Melnikov Permafrost Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

36, Merzlotnaya str., Yakutsk, 677010, Russia

e-mail: aashest@mail.ru

ORCID: 0000-0002-0648-0362