

ISSN 1609-364X (print)

ГЕОИНФОРМАТИКА

Журнал о геоинформационных технологиях
в геологии и геоэкологии

3

Издается
с 1992 года

2024



GEOINFORMATIKA

Journal of geoinformation technologies
in geology and geoecology

Since 1992

Геоинформатика. 2024. № 3. С. 45–52.
Geoinformatika. 2024;(3):45–52.

Геоэкология

Научная статья
 УДК 528.8, 551.34
<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-3-45-52>

Оценка устойчивости мерзлотных ландшафтов осваиваемых территорий Западной Якутии

© 2024 г. — Алена Алексеевна Шестакова

ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук; Россия, Якутск
aashest@mail.ru

Аннотация: С использованием ГИС-технологий составлена карта устойчивости мерзлотных ландшафтов осваиваемых территорий Западной Якутии к техногенным воздействиям масштаба 1:1 000 000. В качестве критериев устойчивости были приняты льдистость подстилающих горных пород, температура грунтов, мощность деятельного слоя и распространение криогенных процессов. При этом использовалась балльная система оценки устойчивости ландшафтов. Пространственный анализ мерзлотных ландшафтов показал, что наибольшие площади занимают устойчивые ландшафты (66,8 %), на относительно устойчивые и относительно неустойчивые ландшафты приходится 19,5 и 13,7 % соответственно.

Ключевые слова: *мерзлотные ландшафты; устойчивость, криогенные процессы; природные риски; антропогенное воздействие; температура грунтов; льдистость отложений.*

Для цитирования: Шестакова А.А. Оценка устойчивости мерзлотных ландшафтов осваиваемых территорий Западной Якутии // Геоинформатика. — 2024. — № 3. — С. 45–52. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-3-45-52>.

Geocology

Original article

Assessment of the stability of permafrost landscapes in the developed territories of Western Yakutia

© 2024 — Alena A. Shestakova

Melnikov Permafrost Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Yakutsk, Russia
aashest@mail.ru

Abstract: Using GIS technologies, a Map of the resistance of permafrost landscapes of the developed territories of Western Yakutia on a scale of 1:1,000,000 to anthropogenic impacts was compiled. The ice content of the underlying rocks, soil temperature, the thickness of the active layer and the distribution of cryogenic processes were accepted as stability criteria. At the same time, a point system for assessing the stability of landscapes was used. Spatial analysis of permafrost landscapes showed that the largest areas are occupied by stable landscapes (66.8%), relatively stable and relatively unstable landscapes occupy 19.5 and 13.7%, respectively.

Key words: *permafrost landscapes; stability; cryogenic processes; natural risks; anthropogenic impact; soil temperature; ice content of sediments.*

For citation: Shestakova A.A. Assessment of the stability of permafrost landscapes in the developed territories of Western Yakutia. *Geoinformatika*. 2024;(3):45–52. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-3-45-52>. In Russ.

Введение

Экологическая оценка природно-территориальных комплексов (ПТК) при освоении территорий является неотъемлемой задачей научного сопровождения. Для оценки относительной устойчивости ландшафтов к техногенным воздействиям необходимо проведение последовательно связанных исследований начиная от изучения современного состояния, реакции на воздействие и

до процесса восстановления исходного состояния. В области вечной мерзлоты устойчивость ландшафтов была впервые детально изучена Н. А. Граве [1, 2], которым в качестве критериев устойчивости были приняты льдистость подстилающих горных пород и характер проявления криогенных процессов. Понятие «устойчивость» в мерзлотоведении в разные годы принималось как сохранение мерзлого состояния горных пород [3, 4], или сохранение структуры

мерзлотного ландшафта [5, 6]. Ландшафтоведами же устойчивость трактуется как способность ПТК сохранять свою структуру и характер функционирования в пространстве и во времени при изменяющихся условиях среды (изменениях климата, антропогенных нарушениях) [7], затем возвращаться после воздействия (возмущения) в исходное состояние [8] и адаптироваться к новым условиям [8, 9].

Целью данных исследований является составление карты устойчивости мерзлотных ландшафтов осваиваемых территорий Западной Якутии к техногенным воздействиям масштаба 1:1 000 000. Для достижения цели были изучены основные факторы (критерии), определяющие устойчивость мерзлотных ландшафтов, и оценена степень устойчивости ландшафтов к естественным и антропогенным изменениям среды.

Материалы и методика исследований

Западная Якутия занимает восточную половину Среднесибирского плоскогорья и составляет одну треть площади Якутии. На юго-западе и на западе ее граница сходится с административно-территориальной границей Республики Саха (Якутия). Последняя граничит с Иркутской областью и Красноярским краем. На северо-востоке граница проходит по западному подножию Верхоянского хребта, а на юго-востоке — по западному очертанию Центральной якутской равнины. На севере рассматриваемый регион омывается морем Лаптевых. На рассматриваемой территории расположены предприятия группы АК «АЛРОСА», главной корпорации по добыче и производству драгоценных металлов и камней.

Основными критериями устойчивости ландшафтов в криолихозе являются температура и льдистость мерзлых пород. Именно они определяют характер большинства составляющих ландшафта — растительности, мощности деятельного слоя, проявления криогенных процессов. В то же время они сами находятся в прямой зависимости от климата и структуры теплового баланса поверхности, положения в рельефе, состава и генезиса отложений. Литогенная льдистая основа ландшафтов является стабилизирующим фактором при естественной эволюции, но усугубляет разрушение естественных ландшафтов при техногенных нагрузках [6]. Степень реакции ландшафта на нарушения находится в прямой зависимости от содержания подземных льдов и характера проявления мерзлотно-геологических процессов. По содержанию подземных льдов сейчас практически общепринято, что устойчивыми являются многолетнемерзлые отложения с объемной льдистостью до 20 %, а неустойчивыми — более 40 % [3]. Мерзлотные ландшафты, литогенная основа которых характеризуется средней годовой температурой -1°C и выше, относятся к переход-

ным неустойчивым, а с температурой ниже -5°C — к устойчивым. Кроме того, для оценки устойчивости ПТК следует определиться в приоритетах степени опасности проявления экзогенных мерзлотно-геологических процессов и их негативных последствий на окружающую среду после техногенного воздействия. Наиболее масштабны проявления процессов в рыхлых отложениях мощностью 3–5 м и более. На склонах процессы наиболее активно проявляются при их крутизне 5° и выше.

Полученные соотношения взаимосвязи компонентов природной среды на более мелких таксонах, например, на типах урочищ и фаций практически не работают. Это связано с неразработанностью критериев, которые показывают более детальную связь компонентов природной среды, и отсутствием данных, отражающих сущность свойств и состояний этих комплексов.

Автором статьи рассмотрена и принята за основу экспертная оценка устойчивости, достаточно детально изученная Л.И. Мухиной [10] и нашедшая применение в изучении мерзлотных ландшафтов [1, 11–15 и др.]. Также использованы разработки Ю.С. Пармузина [3], Ю.С. Пармузина и Т.Ю. Шаталовой [16] для экспертной оценки устойчивости многолетнемерзлых пород (ММП) по их температуре и льдистости.

Предварительная оценка устойчивости мерзлотных ландшафтов исследуемой территории рассмотрена при использовании предлагаемой автором статьи методики, в случае удаления почвенно-растительного слоя, нарушения (сукцессии), наиболее характерного и неизбежного при освоении территории. Эти нарушения вызывают увеличение глубины сезонно-протаивающего слоя, в результате чего геокриологические условия сильно изменяются вплоть до изменения структуры ландшафта, что ведет к активизации криогенных процессов. Использовано четыре ведущих фактора — мощность и льдистость рыхлых отложений, температура ММП и крутизна склонов как руководствующие критерии, отражающие относительную устойчивость природно-территориальных комплексов [14] (табл. 1). Но при определении относительной устойчивости ПТК следует разобраться в сочетании связи компонентов природной среды для каждого конкретного случая, где доминирует какой-то конкретный набор ведущих факторов [17]. Надо отметить и то, что приведенные в табл. 1 параметры характеристик устойчивости ландшафтов при заданных физико-географических условиях показывают лишь качественное состояние литогенной основы ПТК и их способность противостоять техногенным воздействиям и поэтому они при определении

Табл. 1. Параметры характеристик относительной устойчивости природно-территориальных комплексов

Tab. 1. Parameters of characteristics of relative stability of natural-territorial complexes

Характеристики литогенной основы ПТК	Категории относительной устойчивости ПТК			
	Устойчивые	Относительно устойчивые	Относительно неустойчивые	Неустойчивые
Объемная льдистость пород, отн. ед.	0,05	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 и более
Температура пород, °С	–5 и ниже	–4...–5	–1...–4	–1 и выше
Мощность рыхлых отложений, м	1,5 и менее	1,5 – 2,0	2 – 4	4 и более
Крутизна склонов, град.	Около 0	2 и менее	2 – 5	5 и более

относительной устойчивости строго не придерживаются.

Обсуждение результатов

В геоморфологическом отношении исследуемая территория находится на границе Верхневиллюйского базитового (траппового) плато и Приленского пластового плато и охватывает группу северотаежных провинций сплошного распространения ММП (Оленекская увалистая, Эйикская водораздельно-маревая); провинций с горно-тундровыми и горно-редколесными природными комплексами сплошного распространения ММП (Верхневиллюйская столово-останцовая) и средне-таежных провинций сплошного распространения ММП (Тунгусско-Ботуобинская ступенчато-грядовая, Средневиллюйская пологоувалистая, Виллюйская аласная) физико-географической страны Средняя Сибирь [18]. Общая площадь картографируемой территории равна 298 463 км².

На основе Мерзлотно-ландшафтной карты Республики Саха (Якутия) масштаба 1:1 500 000 [19] была составлена ландшафтная карта Западной Якутии масштаба 1:1 000 000, где представлено 12 типов местности и 10 растительных ассоциаций. Используя атрибутивные таблицы ГИС, в которых содержатся свойства и значения основных факторов, определяющих устойчивость мерзлотных ландшафтов района исследований, были составлены карты льдистости отложений, температуры грунтов, мощности деятельного слоя и распространения криогенных процессов. На рис. 1 в качестве примера приведена карта льдистости отложений Западной Якутии масштаба 1:1 000 000.

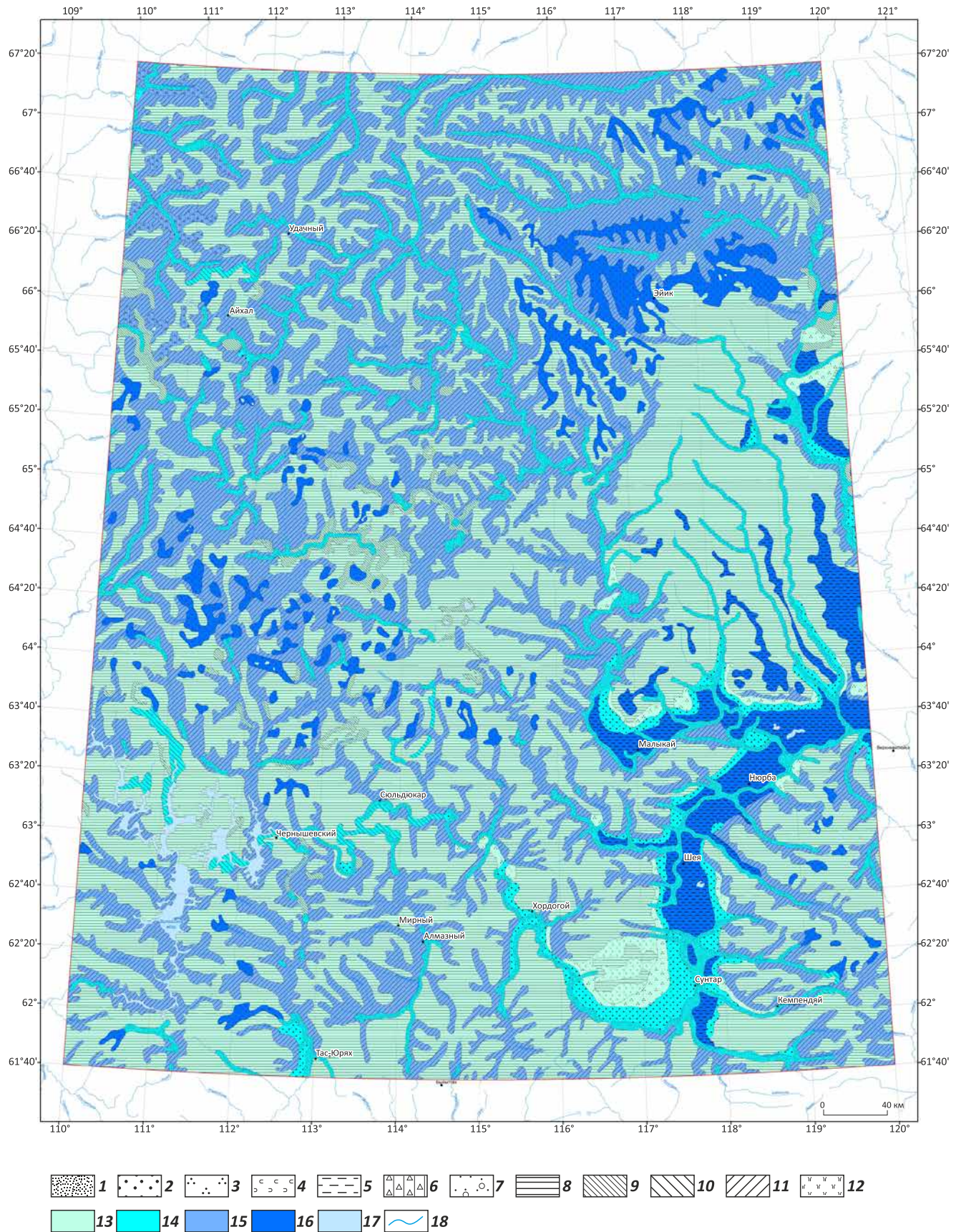
Содержание льда на карте было указано с интервалами с разницей в 0,2 долей ед. Представле-

ны отложения: слабольшдистые с низким уровнем льда — до 0,2, среднелдистые со средним уровнем льда — 0,2–0,4, льдистые — 0,4–0,6 и сильнольдистые с высоким уровнем льда — 0,6 отн. ед. и выше. Наиболее распространены слабольшдистые отложения, они занимают около 48 % всей площади исследуемой территории. Сильнольдистые отложения менее развиты и занимают около 8 %.

В табл. 2 баллами от 1 до 4 показано влияние ведущих параметров на снижение устойчивости мерзлотных ландшафтов территории Западной Якутии.

Путем сложения баллов по всем четырем параметрам можно оценить устойчивость мерзлотных ландшафтов рассматриваемой территории следующим образом: 4–7 баллов соответствуют устойчивым ландшафтам и 8–10 баллов — относительно устойчивым, т. е. когда криогенные процессы не активизируются, кроме морозобойного растрескивания; 11–13 баллов соответствуют относительно неустойчивым, когда вмешательство в природную среду вызывает развитие таких мерзлотно-геологических процессов, как термокарст, солифлюкция и термоэрозия. Необходимо отметить главное преимущество данного метода, которое заключается в том, что посредством суммирования баллов учитывается совместное влияние параметров окружающей среды на устойчивость мерзлотных ландшафтов. На составленной по итогам исследования карте устойчивости мерзлотных ландшафтов осваиваемых территорий Западной Якутии масштаба 1:1 000 000 (рис. 2) видно, что более половины территории занимают устойчивые ландшафты (66,8 %), на долю относительно устойчивых и относительно неустойчивых ландшафтов приходится 19,5 и 13,7 % соответственно (табл. 3).

Рис. 1. Карта льдистости отложений Западной Якутии масштаба 1:1 000 000
Fig. 1. Ice content map of sediments of Western Yakutia, scale 1:1,000,000



Типы местности (1–12): **1** — низкотеррасовый, **2** — средневысотный террасовый, **3** — высокотеррасовый, **2** — древнетеррасовый, **5** — межаласный, **6** — моренный, **7** — зандровый, **8** — приводораздельный элювиальный, **9** — склоновый коллювиальный, **10** — склоновый делювиально-коллювиальный, **11** — склоновый делювиально-солифлюкционный, **12** — слабодренированный маревый; **льдистость, отн. ед. (13–16):** **13** — до 0,2, **14** — 0,2–0,4, **15** — 0,4–0,6, **16** — 0,6 и выше; **17** — Вилуйское водохранилище, озера; **18** — реки

Terrain types (1–12): **1** — low terraces, **2** — medium terraces, **3** — high terraces, **4** — ancient terraces, **5** — inter-alas areas, **6** — moraines, **7** — outwash plains, **8** — upland ridges with residuum, **9** — side slopes with colluvium, **10** — slopes with diluvium and colluvium, **11** — sides slopes with diluvium and solifluction deposits, **12** — poorly drained mires; **ice content, p. u. (13–16):** **13** — < 0,2, **14** — 0,2–0,4, **15** — 0,4–0,6, **16** — > 0,6; **17** — Vilyui Reservoir and lakes; **18** — rivers

Табл. 2. Параметры характеристик устойчивости мерзлотных ландшафтов

Tab 2. Parameters of stability characteristics of permafrost landscapes

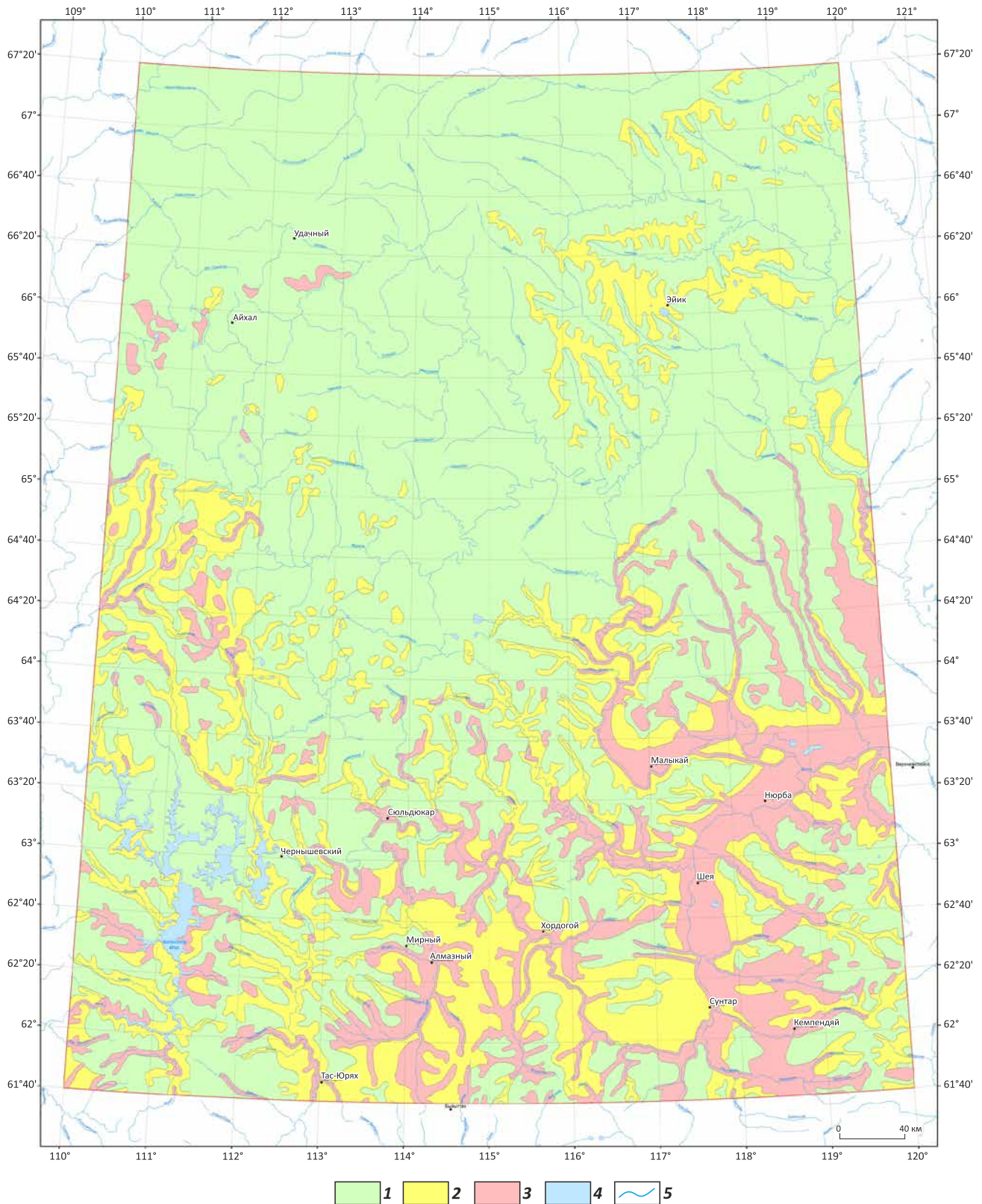
Геоэкологические условия							
Льдистость отложений, отн. ед.		Температура грунтов, °С		Мощность СТС/СМС, м		Криогенные процессы	
Значение	Балл	Значение	Балл	Значение	Балл	Значение	Балл
До 0,2	1	–3,0...–5,0	1	0,5–1,0	1	Криогенное выветривание; криогенный крип, термоэрозия	1
0,2–0,4	2	–2,0...–3,0	2	1,0–1,5	2	Морозобойное растрескивание; морозобойное растрескивание, морозная сортировка; морозобойное растрескивание, термосуффозия	2
0,4–0,6 и выше	3	–1,0...–2,0	3	1,5–2,0	3	Морозобойное растрескивание, термокарст, пучение; солифлюкция, морозная сортировка, термокарст, термоэрозия, пучение	3
		0...–1,0	4	2,0–2,5	4	Термокарст; термокарст, пучение	4

Табл. 3. Пространственное распределение устойчивости мерзлотных ландшафтов

Tab.3. Spatial distribution of stability of permafrost landscapes

Порядковый номер	Устойчивость ландшафтов	Площадь, км ²	Процент от общей площади
1	Устойчивые	199 493	66,8
2	Относительно устойчивые	58 005	19,5
3	Относительно неустойчивые	40 965	13,7

Рис. 2. Карта устойчивости мерзлотных ландшафтов Западной Якутии масштаба 1:1 000 000
 Fig. 2. Ice content map of sediments of Western Yakutia, scale 1:1,000,000



Устойчивость ПТК (1–3): 1 — устойчивые (199 493 км², 66,8 %), 2 — относительно устойчивые (58 005 км², 19,5 %), 3 — относительно неустойчивые (40 965 км², 13,7 %); 4 — Вилуйское водохранилище, озера; 5 — реки
Landscape stability (1–3): 1 — stable (199,493 km², 66.8 %), 2 — relatively stable (58,005 km², 19.5 %), 3 — relatively unstable (40,965 km², 13.7 %); 4 — Vilyui Reservoir and lakes; 5 — rivers

Заключение

Таким образом, карта устойчивости мерзлотных ландшафтов осваиваемых территорий Западной Якутии масштаба 1:1 000 000 отражает подверженность мерзлотных ландшафтов к риску при потеплении климата и антропогенных воздействиях в целях определения степени возможного влияния на безопасность эксплуатации объектов АК «АЛРОСА», а также оценки современного состояния и прогноза развития криолитозоны Западной

Якутии. В дальнейшем определение особенностей формирования критических ситуаций в мерзлотных ландшафтах Западной Якутии и условий их деградации в связи с развитием негативных криогенных процессов позволит разработать научные рекомендации по оптимизации и рациональному использованию природной среды, минимизации нежелательных негативных проявлений антропогенного воздействия.

Список источников

1. *Граве Н.А.* Принципы оценки чувствительности поверхности к техногенным воздействиям (на примере территории Якутии) // Охрана природы Якутии. – Якутск : Якутский филиал СО АН СССР, 1979. – С. 91–94.
2. *Граве Н.А.* Устойчивость поверхности к механическим нарушениям при освоении Севера // Известия АН СССР. Серия географическая. – 1982. – № 6. – С. 54–62.
3. *Пармузин С.Ю.* Районирование севера Западной Сибири по потенциальной возможности развития термокарста // Вопросы гео-криологического картирования. – Якутск : ИМЗ СО АН СССР, 1986. – С. 78–85.
4. *Жигарев Л.А.* Энергетическая и механическая устойчивость мерзлых пород // Механизмы устойчивости геосистем. – М. : Наука, 1992. – С. 104–109.
5. *Босиков Н.П., Васильев И.С., Федоров А.Н.* Мерзлотные ландшафты зоны освоения Лено-Алданского междуречья. – Якутск : ИМЗ СО АН СССР, 1985. – 124 с.
6. *Тумель Н.В., Зотова Л.И.* Геоэкология криолитозоны : учебное пособие. – М. : Географический факультет МГУ, 2014. – 244 с.
7. *Куприянова Т.П.* Обзор представлений об устойчивости физико-географических систем // Устойчивость геосистем. – М. : Наука, 1983. – С. 7–13.
8. *Арманд А.Д.* Устойчивость (гомеостатичность) географических систем к различным типам внешних воздействий // Устойчивость геосистем. – М. : Наука, 1983. – С. 14–32.
9. *Гродзинский М.Д.* Устойчивость геосистем: теоретический подход к анализу и методы количественной оценки // Известия АН СССР. Серия географическая. – 1987. – № 6. – С. 5–15.
10. *Мухина Л.И.* Принципы и методы технологической оценки природных комплексов. – М. : Наука, 1973. – 95 с.
11. *Граве Н.А.* Место и направление гео-криологических исследований в проблеме охраны среды и рационального природопользования в области вечной мерзлоты // Устойчивость поверхности к техногенным воздействиям в области вечной мерзлоты. – Якутск : ИМЗ СО АН СССР, 1980. – С. 6–12.
12. *Кузнецова И.Л.* Инженерно-гео-криологические условия и устойчивость многолетнемерзлых пород Приморских низменностей Якутии к нарушениям естественной природной обстановки // Устойчивость поверхности к техногенным воздействиям в области вечной мерзлоты. – Якутск : ИМЗ СО АН СССР, 1980. – С. 75–107.
13. *Сташенко А.И.* Оценка устойчивости природной среды районов криолитозоны к техногенным воздействиям // Известия Всесоюзного географического общества. – 1987. – Т. 119. – № 4. – С. 301–306.
14. *Шполянская Н.А., Зотова Л.И.* Карта устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 1994. – № 1. – С. 56–65.
15. *Васильев И.С.* К методике определения устойчивости горных ландшафтов (на примере Эльгинского угольного разреза) // Эколого-геохимические проблемы в районах криолитозоны. – Якутск : ИМЗ СО РАН, 1996. – С. 109–121.
16. *Пармузин Ю.С., Шаталова Т.Ю.* Прогноз изменения гео-криологических условий в связи с динамикой климата и оценка их устойчивости к техногенным воздействиям // Гео-криология СССР. Европейская территория СССР. – М. : Недра, 1988. – С. 334–344.
17. *Шестакова А.А.* Учет инженерно-гео-криологических условий в оценке устойчивости ландшафтов трассы железной дороги на участке Томмот-Улу // География, геоэкология, геология: опыт научных исследований : материалы V Международной научной конференции студентов и аспирантов, посвященной 90-летию Днепропетровского национального университета (Днепропетровск, 24–25 апреля 2008 г.) / Под ред. проф. Л.И. Зеленской. – Вып. 5. – Киев : Картография, 2008. – С. 484–489.
18. *Геоморфологическое районирование СССР и прилегающих морей : Учеб. пособие для геогр. спец. вузов / Ред. С.С. Воскресенский, О.К. Леонтьев, А.И. Спиридонов и др. – М. : Высшая школа, 1980. – 343 с.*
19. *Fedorov A.N., Vasilyev N.F., Torgovkin Y.I., Shestakova A.A., Varlamov S.P., Zheleznyak M.N., Shepelev V.V., Konstantinov P.Y., Kalinicheva S.V., Basharin N.I., Makarov V.S., Ugarov I.S., Efremov P.V., Argunov R.N., Egorova L.S., Samsonova V.V., Shepelev A.G., Vasiliev A.I., Ivanova R.N., Galanin A.A., Lytkin V.M., Kuzmin G.P., Kunitsky V.V.* Permafrost-landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia) at scale 1:1,500,000 // Geosciences. – 2018. – Vol. 8. – Iss. 12. – id. 465. DOI:10.3390/geosciences8120465.

References

1. *Grave N.A.* Printsipy otsenki chuvstvitel'nosti poverkhnosti k tekhnogennym vozdeistviyam (na primere territorii Yakutii) [Principles for assessing the sensitivity of a surface to technogenic impacts (using the example of the territory of Yakutia)] In: Okhrana prirody Yakutii. Yakutsk: Yakutskii filial SO AN SSSR; 1979. pp. 91–94.

2. *Grave N.A.* Ustoichivost' poverkhnosti k mekhanicheskim narusheniyam pri osvoenii Severa [Surface resistance to mechanical disturbances during the development of the North]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya*. 1982;(6):54–62.
3. *Parmuzin S.Yu.* Raionirovanie severa Zapadnoi Sibiri po potentsial'noi vozmozhnosti razvitiya termokarsta [Zoning of the north of Western Siberia according to the potential for the development of thermokarst]. In: *Voprosy geokriologicheskogo kartirovaniya*. Yakutsk: IMZ SO AN SSSR; 1986. pp. 78–85.
4. *Zhigarev L.A.* Ehnergeticheskaya i mekhanicheskaya ustoichivost' merzlykh porod [Energy and mechanical stability of frozen rocks]. In: *Resistance mechanisms of geosystems*. Moscow: Nauka; 1992. pp. 104–109.
5. *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 Leno-Aldan interfluv]. Yakutsk: IMZ SO AN SSSR; 1985. 124 p.
6. *Tumel' N.V., Zotova L.I.* Geoekologiya kriolitozony : uchebnoe posobie [Geoecology of the cryolithozone: a textbook]. Moscow: Geograficheskii fakul'tet MGU; 2014. 244 p.
7. *Kupriyanova T.P.* Obzor predstavlenii ob ustoichivosti fiziko-geograficheskikh sistem [Review of ideas about the stability of physical-geographical systems]. In: *Ustoichivost' geosistem*. Moscow: Nauka; 1983. pp. 7–13.
8. *Armand A.D.* Ustoichivost' (gomeostatichestvo) geograficheskikh sistem k razlichnym tipam vneshnikh vozdeistvii [Stability (homeostaticity) of geographical systems to various types of external influences]. In: *Ustoichivost' geosistem*. Moscow: Nauka, 1983. P. 14–32.
9. *Grodzinskii M.D.* Ustoichivost' geosistem: teoreticheskii podkhod k analizu i metody kolichestvennoi otsenki [Stability of geosystems: theoretical approach to analysis and methods of quantitative assessment]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya*. 1987;(6):5–15.
10. *Mukhina L.I.* Printsipy i metody tekhnologicheskoi otsenki prirodnykh kompleksov [Principles and methods of technological assessment of natural complexes]. Moscow: Nauka; 1973. 95 p.
11. *Grave N.A.* Mesto i napravlenie geokriologicheskikh issledovaniy v probleme okhrany sredy i ratsional'nogo prirodopol'zovaniya v oblasti vechnoi merzloty [Place and direction of geocryological research in the problem of environmental protection and rational use of natural resources in the permafrost area]. In: *Ustoichivost' poverkhnosti k tekhnogennym vozdeistviyam v oblasti vechnoi merzloty*. Yakutsk: IMZ SO AN SSSR, 1980. pp. 6–12.
12. *Kuznetsova I.L.* Inzhenerno-geokriologicheskie usloviya i ustoichivost' mnogoletnemerzlykh porod Primorskikh nizmennostei Yakutii k narusheniyam estestvennoi prirodnoi obstanovki [Engineering-geocryological conditions and resistance of permafrost rocks of the Primorsky lowlands of Yakutia to disturbances of the natural environment]. In: *Ustoichivost' poverkhnosti k tekhnogennym vozdeistviyam v oblasti vechnoi merzloty*. Yakutsk: IMZ SO AN SSSR, 1980. pp. 75–107.
13. *Stashenko A.I.* Otsenka ustoichivosti prirodnoi sredy raionov kriolitozony k tekhnogennym vozdeistviyam [Assessment of the stability of the natural environment of cryolithozone areas to technogenic impacts]. *Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva*. 1987; 119(4): 301–306.
14. *Shpolyanskaya N.A., Zotova L.I.* Karta ustoichivosti landshaftov kriolitozony Zapadnoi Sibiri [Map of stability of landscapes of the permafrost zone of Western Siberia]. *Lomonosov Geography Journal*. 1994;(1):56–65.
15. *Vasil'ev I.S.* K metodike opredeleniya ustoichivosti gornyykh landshaftov (na primere Ehl'ginskogo ugol'nogo razreza) [Towards a methodology for determining the stability of mountain landscapes (using the example of the Elga coal mine)]. In: *Ehkologo-geokhimicheskie problemy v raionakh kriolitozony*. Yakutsk: IMZ SO RAN; 1996. pp. 109–121.
16. *Parmuzin Yu.S., Shatalova T.Yu.* Prognoz izmeneniya geokriologicheskikh uslovii v svyazi s dinamiko klimata i otsenka ikh ustoichivosti k tekhnogennym vozdeistviyam [Forecast of changes in geocryological conditions in connection with climate dynamics and assessment of their resistance to technogenic impacts]. In: *Geokriologiya SSSR. Evropeiskaya territoriya SSSR*. Moscow: Nedra; 1988. pp. 334–344.
17. *Shestakova A.A.* Uchet inzhenerno-geokriologicheskikh uslovii v otsenke ustoichivosti landshaftov trassy zheleznoi dorogi na uchastke Tommot-Ulu [Taking into account engineering and geocryological conditions in assessing the stability of landscapes of the railway route on the Tommot-Ulu section]. In: *Geography, geoecology, geology: the experience in the scientific research*. Iss. 5. Kyiv: Kartografiya; 2008. pp. 484–489.
18. *Voskresenskii S.S., Leont'ev O.K., Spiridonov A.I. et al. (eds)* Geomorfologicheskoe raionirovanie SSSR i prilgayushchikh morei : Ucheb. posobie dlya geogr. spets. vuzov [Geomorphological zoning of the USSR and adjacent seas: textbook for geographic universities]. – Moscow: Vysshaya shkola; 1980. 343 p.
19. *Fedorov A.N., Vasilyev N.F., Torgovkin Y.I., Shestakova A.A., Varlamov S.P., Zheleznyak M.N., Shepelev V.V., Konstantinov P.Y., Kalinicheva S.V., Basharin N.I., Makarov V.S., Ugarov I.S., Efremov P.V., Argunov R.N., Egorova L.S., Samsonova V.V., Shepelev A.G., Vasiliev A.I., Ivanova R.N., Galanin A.A., Lytkin V.M., Kuzmin G.P., Kunitsky V.V.* 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 25.07.2024 г., одобрена после рецензирования 14.08.2024 г., принята к публикации 11.09.2024 г.
The article was submitted 25.07.2024; approved after reviewing 14.08.2024; accepted for publication 11.09.2024.

Информация об авторах

Шестакова Алена Алексеевна

Кандидат географических наук, старший научный сотрудник
ФГБУН 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
SCOPUS ID: 57207798418
Researcher ID: Y-9063-2018
SPIN: 3811-5061

Information about authors

Aliona A. Shestakova

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher
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
SCOPUS ID: 57207798418
Researcher ID: Y-9063-2018
SPIN: 3811-5061