

ОБРАЗОВАНИЕ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Научная статья

УДК 551.345 + 502.171

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-3-123-148

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕПОДАВАНИЯ УЧЕБНЫХ КУРСОВ ПО ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИМ ПРОБЛЕМАМ РАВНИННЫХ И ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ В КРИОЛИТОЗОНЕ

Зотова Л. И.¹, Викулина М. А.²

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация
e-mail: zotlar@mail.ru; ORCID: 0000-0003-2052-3194

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация
e-mail: masanna2003@mail.ru; ORCID: 0000-0002-4502-2495

Поступила в редакцию 29.06.2024

После доработки 21.08.2024

Принята к публикации 05.09.2024

Аннотация

Цель. Раскрыть научно-методические приёмы создания и преподавания геоэкологических дисциплин в бакалавриате и магистратуре на основе многолетних методических разработок кафедры криолитологии и гляциологии географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова.

Процедура и методы. Представлена авторская методология изучения, оценки и картографирования мерзлотно-экологического состояния равнинных и горных территорий распространения вечной мерзлоты, основанная на ландшафтных методах – ландшафтно-индикационном и ландшафтно-структурном. Показаны достоинства и недостатки метода балльных экспертных оценок и один из приёмов их совершенствования. Излагаются концептуальные положения устойчивости криогенных и высокогорных геосистем к механическим нарушениям поверхности. Перечислены основные оценочные факторы лавинной опасности и риска для рекреационных объектов в горах.

Результаты. Сформулированы необходимые для геосистемного подхода к геоэкологическим проблемам понятия «геоэкология криолитозоны», «устойчивость северных геосистем», «кризисная геоэкологическая ситуация». Проанализированы факторы активизации криогенных процессов в разных масштабах картографирования и факторы опасности и риска для высокогорных территорий. Раскрывается процедура интегральной оценки факторов литокриогенной устойчивости ландшафтов к проявлению нежелатель-

© СС ВУ Зотова Л. И., Викулина М. А., 2024.

ных криогенных процессов наряду с факторами их биоресурсной ценности целью получения интегральных индексов для ранжирования ландшафтов по степени уязвимости к освоению. Демонстрируются примеры оригинальных практических заданий.

Теоретическая и/или практическая значимость. Методика многофакторной интегральной оценки востребована в инженерно-географических исследованиях, особенно на предпроектных стадиях хозяйственного освоения территории криолитозоны, обеспечивая надёжность эксплуатации инженерных сооружений при максимальном сохранении природной среды. Методические приёмы представляют практический интерес для подготовки специалистов естественнонаучного профиля по вопросам природоохранного изучения криолитозоны и горных территорий.

Ключевые слова: геоэкология, устойчивость ландшафта, кризисные экологические ситуации, вечная мерзлота, лавинная опасность, охрана природы, методика преподавания

Благодарности. Статья подготовлена в рамках госбюджетной программы географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова «Эволюция криосферы при изменении климата и антропогенном воздействии» № 121051100164–0.

Original Research Article

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF TEACHING COURSES ON GEOECOLOGICAL PROBLEMS OF PLAINS AND MOUNTAINS AREAS IN THE PERMAFROST ZONE

L. Zotova¹, M. Vikulina²

¹ Lomonosov Moscow State University
Leninskiye Gory 1, Moscow 119991, Russian Federation
e-mail: zotlar@mail.ru; ORCID: 0000-0003-2052-3194

² Lomonosov Moscow State University
Leninskiye Gory 1, Moscow 119991, Russian Federation
e-mail: masanna2003@mail.ru; ORCID: 0000-0002-4502-2495

Received 29.06.2024

Revised 21.08.2024

Accepted 05.09.2024

Abstract

Aim. To reveal scientific and methodological techniques for creating and teaching geoecological disciplines in bachelor's and master's programs based on long-term methodological developments of Cryolithology and Glaciology Department of the Faculty of Geography of Lomonosov Moscow State University.

Methodology. The author's methodology for studying, assessing and mapping the permafrost-ecological state of flat and mountainous permafrost areas is presented, based on landscape methods: landscape-indicative and landscape-structural. The advantages and disadvantages of the method of point expert assessments and one of the techniques for their improvement are shown. The conceptual provisions of the stability of cryogenic and high-mountain geosystems to mechanical disturbances of the surface are presented. The main assessment factors of avalanche danger and risk for recreational facilities in the mountains are listed.

Results. The concepts of "geocology of the cryolithozone", "stability of northern geosystems", "crisis geocological situation" necessary for the geosystem approach to geocological problems are formulated. The factors of cryogenic processes activation at different mapping scales and hazard & risk factors for high mountain areas are analyzed. A graphic-analytical method for comparing factor scores against the background of an interval scale in "quality centers" is shown. Examples of original practical tasks are demonstrated. The procedure for the integrated assessment of the lithocryogenic stability factors of landscapes to the manifestation of undesirable cryogenic processes is disclosed along with the factors of their bioresource value in order to obtain quantitative indices for ranking landscapes according to the degree of vulnerability to development. A number of significant permafrost maps compiled on a landscape basis are listed. Examples of original practical tasks are demonstrated.

Research implications. The multifactor integral assessment methodology is in demand in engineering-geographical research, particularly during pre-project stages of land development, ensuring the reliable operation of engineering structures in the cryolithozone while maximizing environmental preservation. The methodological techniques are of practical interest for training specialists in natural sciences on environmental studies of the cryolithozone and mountainous regions.

Keywords: geocology, landscape stability, crisis environmental situations, permafrost zone, avalanche hazard, nature conservation, teaching methodology

Acknowledgments. This study was supported by State Assignment of the Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University "The cryosphere evolution under climate change and anthropogenic impact" no. 121051100164–0.

Введение

В настоящее время отмечается чрезвычайное разнообразие трактовок терминов экологического ряда. Так, термин «экология» в основном сохраняется за обозначением науки биологического цикла. Термин «геоэкология», введённый немецким географом К. Троллем в начале 60-х гг. XX в., использовался как синонимом термина «ландшафтная экология». В наши дни он истолковывается с отличающихся позиций: от междисциплинарной науки об экологических проблемах геосфер и/или биосферы [9; 22] или междисциплинарной науки об экосфере [8] до науки, сугубо геологической (экологическая геология) [28] или географической (экологическое ландшафтоведение; экологическая география) [14; 27]. Разнообразный перечень определений термина «геоэкология» перечислен в научно-исследовательском блоге

Geocograph¹ и анализируется в работе Н. В. Тумель и Л. И. Зотовой [31].

Наиболее интересны следующие трактовки. По мнению В. И. Осипова [22], геоэкология – наука, изучающая геосферные оболочки Земли как компоненты окружающей среды и минеральную основу биосферы и происходящие в них изменения под влиянием природных и техногенных факторов. Г. Н. Голубев [8] рассматривает геоэкологию как междисциплинарное научное направление, изучающее экосферу как взаимосвязанную систему геосфер в процессе её интеграции с обществом. С. П. Горшков [9] считает, что геоэкология интегрирует данные многих, но, в первую очередь, геолого-географических дисциплин; это наука об органи-

¹ Блог Geocograph [Электронный ресурс]. URL: <https://geocograph.blogspot.com/2014/07/21-opredelenie-termina-geoekologija.html> (дата обращения 27.09.2024).

зованности биосферы, вмещающей её супергеосферы и околоземного космоса, об их антропогенном изменении, способах управления. По его мнению, геоэкология, прежде всего, фундаментальная естественнонаучная, а не прикладная область знаний [26]. Строго географического взгляда на геоэкологию придерживаются И. Е. Тимашев [27], применяя словосочетание «экологическое ландшафтоведение», и А. Г. Исаченко [14], предпочитая термин «экогеография» или «экологическая география». В недавней публикации В. Т. Трофимова [28] сформулировано обновлённое толкование геоэкологии как междисциплинарной науки, изучающей экологические функции абиотических сфер Земли, закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под влиянием современных природных и антропогенных воздействий в связи с жизнью и деятельностью биоты, включая человека. Авторы придерживаются взглядов И. Е. Тимашева и А. Г. Исаченко на объект исследования и задачи геоэкологии, считая её синонимом экологического ландшафтоведения.

Геоэкология криолитозоны как междисциплинарное научное направление сформировалось в 90-х гг. XX в. [7], которое рассматривает фундаментальные и прикладные аспекты формирования криосферы Земли (изменения мёрзлых пород и криогенных ландшафтов) в первую очередь в связи с антропогенной деятельностью. Объект изучения – состояние природных и антропогенно изменённых геосистем различных рангов в области распространения многолетнемёрзлых и сезонно-мёрзлых пород, а именно –

изучение их структуры, инженерно-мерзлотных условий, присущих им криогенных процессов, а также биотических и природно-ресурсных характеристик. Термины «геокриоэкология» – экологическое мерзлотоведение [7] и «техногеоэкология» [35] – можно назвать производными от вышеуказанной трактовки «геоэкология криолитозоны».

Таким образом, геоэкология криолитозоны рассматривается авторами в свете взаимодействия природных предпосылок (мерзлотно-ландшафтных условий, глобального изменения климата и пр.) и антропогенных изменений (в первую очередь, механического нарушения поверхности на осваиваемых территориях). В последние годы возрос интерес к проблемам изучения реакции ландшафтов криолитозоны на эволюционные климатические изменения [5; 49].

Как известно, структурная и функциональная организация мерзлотных ландшафтов определяется характеристиками их криогенной составляющей – температурой и льдистостью мёрзлых пород, глубиной сезонного протаивания, свойствами защитного слоя растительности. От них зависит развитие опасных криогенных процессов: термокарста, термоэрозии, солифлюкции, пучения и др., связанных с фазовыми переходами воды, а значит – относительная устойчивость ландшафтов к механическим нарушениям поверхности. Техногенный прессинг в криолитозоне неизбежно приводит к нарушению гидротермического режима мёрзлых пород, меняя проявление большинства ландшафтообразующих процессов [29; 35; 48]. От характера воздействий на ландшафт и его от-

ветной реакции зависит весь комплекс экологических последствий [6; 10]. Однако геоэкология криолитозоны выходит за рамки изучения только видимого в природе проявления экзогенных криогенных процессов в мерзлотных ландшафтах. Параллельно изучаются состояние природных и антропогенных измененных геосистем различных рангов, разрабатываются методические приёмы оценки и картографирования активизации процессов при механических нарушениях поверхности, предлагаются природоохранные мероприятия с целью экологически сбалансированного природопользования в криолитозоне [31; 41]. Преподавание геоэкологических дисциплин основано на геосистемном подходе к изучению природной среды криолитозоны, другими словами – на комплексном изучении зональных (биоклиматических) и аazonальных (геолого-геоморфологических) составляющих ландшафта.

Среди методов изучения мерзотно-экологического состояния ландшафтов в рассматриваемых курсах¹ особое внимание уделено трём:

- методу ландшафтной индикации мерзлотных условий с применением материалов дистанционного зондирования;

- методу ландшафтно-структурного анализа, в т. ч. картографического ГИС-анализа;

- методу балльных экспертных оценок.

Концептуальные положения, трактовки терминов приводятся в статье согласно учебному пособию [31], которое используется для преподавания учебного курса для бакалавров в восьмом семестре «Геоэкология криолитозоны»² и отчасти для магистерского курса «Мерзотно-экологическая оценка состояния геосистем равнин и гор криолитозоны»³.

В работе рассматриваются программные положения учебных курсов, в которых решаются вопросы теоретического и практического характера в области природопользования в криолитозоне. Целью их освоения является формирование у студентов навыков анализа воздействия антропогенных факторов на ландшафты криолитозоны и криосферу Земли в целом.

Содержание учебных курсов по геоэкологической тематике логически и методически опирается на фундаментальный курс общегеографической направленности «Ландшафтоведение», а также учебные дисциплины кафедры криолитологии и гляциологии, закладывающие основы профессиональных знаний: «Мерзотоведение», «Криолитология», «Гляциология», «Инженерное мерзотоведение». Базовые знания по указанным направлениям необходимы для оценки природных, в т. ч.

¹ Географический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова: [сайт]. URL: https://www.geogr.msu.ru/education/vo/prog_distc/programs_3xx/bak_G/b_G_gk_an_Geoekologiya_kriolitozony_3++.pdf (дата обращения: 27.06.2024); Географический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова: [сайт]. URL: https://www.geogr.msu.ru/education/vo/prog_distc/programs_3xx/mag_G/m_G_gk_an_Merzlotno-ekologicheskaya_ocenka_sostoyaniya_3++.pdf (дата обращения: 27.06.2024).

² Географический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова: [сайт]. URL: https://www.geogr.msu.ru/education/vo/prog_distc/programs_3xx/bak_G/b_G_gk_an_Geoekologiya_kriolitozony_3++.pdf (дата обращения: 27.06.2024).

³ Географический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова: [сайт]. URL: https://www.geogr.msu.ru/education/vo/prog_distc/programs_3xx/mag_G/m_G_gk_an_Merzlotno-ekologicheskaya_ocenka_sostoyaniya_3++.pdf (дата обращения: 27.06.2024).

мерзлотных условий и анализа специфики техногенного освоения в криолитозоне.

Задача обозначенных выше лекционных курсов – не информационно-оценочная с сообщением студентам «от и до» необходимого минимума знаний, а концептуально-ориентирующая с обзором и анализом мнений и школ, представленных в науках мерзловедения, гляциологии, ландшафтоведения и геоэкологии. Обучение проходит в форме лекций-презентаций, семинаров, опросов, дискуссий и докладов по практическим заданиям с обсуждением, в которых делаются акценты на географическую составляющую. Поэтому в своих докладах по тестовым заданиям студенты широко используют мерзлотные и ландшафтные карты из атласов и монографий. Например, карты «Мерзлотно-ландшафтная дифференциация криолитозоны России» [31; 33], «Активизация криогенных процессов при антропогенных воздействиях РФ»¹, «Сезонное промерзание и протаивание криолитозоны России»² и др.

Практические задания позволяют студентам выбрать тему в рамках своей выпускной квалификационной работы. Важно проработать с каждым студентом его тему индивидуально – в форме дискуссий, рефератов и пр. В магистерском курсе практикуется привлечение для проведения 1-2 занятий квалифицированных специалистов в области изучаемых проблем, например, по актуальным и востребованным темам мониторинга протя-

жённых магистральных трубопроводов в криолитозоне.

Методическую основу изучения мерзлотно-экологического состояния ландшафтов к антропогенным воздействиям составляют:

- метод ландшафтной индикации;
- современные методы дешифрирования космоснимков высокого разрешения;
- метод ландшафтно-структурного анализа, в т. ч. картографического ГИС-анализа;
- метод экспертных оценок;
- математические методы (расчётно-статистический, количественного моделирования);
- комплекс традиционных натурно-экспериментальных методов, используемых в естественных науках при полевых и лабораторных исследованиях.

В настоящей работе рассматриваются 3 основных метода: ландшафтно-индикационный, ландшафтно-структурный и метод экспертных оценок.

Основные методы оценки мерзлотно-экологического состояния ландшафтов

Метод ландшафтной индикации характеристик многолетнемёрзлых пород для оценки состояния окружающей среды считается одним из основных. В. Ф. Тумель [30], А. П. Тыртиков [34] и В. А. Кудрявцев [15] были первыми, кто указал на целесообразность использования метода ландшафтной индикации при изучении вечной мерзлоты. Его использование основано на тесной взаимосвязи всех составляющих природного комплекса. При этом по внешним наиболее физиономическим элементам ландшафта (рельефу,

¹ Экологический атлас России. СПб: Изд-во ЗАО «Карта», 2002. С. 50–54.

² Экологический атлас России. М.: ООО «Фео-рия», 2017. С. 183–188.

гидросети, растительности) судят о его внутреннем содержании: геологическом и криогенном строении, экзогенных геологических процессах, грунтовых водах, составе, состоянии и некоторых водно-физических свойствах грунтов [2; 16]. Ряд экологических аспектов этого метода для оценки и картографирования криолитозоны раскрывается в новых работах [41; 50].

Основными индицируемыми характеристиками мерзлотных условий являются: состояние пород и их сплошность, среднегодовая температура на глубине около нулевых колебаний и мощность сезонно-талого и сезонно-мёрзлого слоёв. Все индикаторы можно разделить на 2 группы: частные и комплексные. Например, в понятие «частный геоботанический индикатор» входят видовой состав, проективное покрытие, сомкнутость крон древостоя и т. д. Значимость геоботанических индикаторов меняется в зависимости от природных зон. Так, для зоны тундры их используют при определении состава поверхностных отложений, мощности сезонно-талого слоя и развития различных экзогенных процессов. В лесотундре и тайге индикаторная роль растительности возрастает. На севере криолитозоны значение геоботанических индикаторов не столь велико, и ландшафтная индикация температурных условий зависит в большей степени от рельефа местности [21; 31]. Мезоформы рельефа индицируют неотектоническую обстановку, литологический состав пород и их свойства. Формы микро-рельефа маркируют, как правило, протекание различных экзогенных процессов и состав пород. Расчленённость рельефа – очень важный фактор, влияющий на геофизиологические условия.

К частным индикаторам относится и гидросеть, использование которой базируется на изучении рисунка эрозионной и гидрографической сети. К комплексным индикаторам относится совокупность компонентов ландшафта и его морфологических частей – внешний облик природных комплексов определённого ранга, их рисунок и сочетание друг с другом [2; 31].

Вместе с тем использование ландшафтной индикации при изучении мерзлотных условий имеет масштабные ограничения. Чем мельче масштаб исследований, тем более ограничено применение метода ландшафтной индикации. При мелкомасштабных исследованиях с севера на юг достоверность связи «ландшафт–мерзлота» уменьшается [33].

Следует отметить, что индикация мерзлотных характеристик через облик ландшафта неоднозначна. Так, среднегодовая температура мёрзлых пород не поддаётся индикации. По физиономичности ландшафта можно дать им лишь качественную оценку теплосодержания: самые холодные, самые «теплые» [17; 32]. А вот льдистость мёрзлых пород – индицируемая характеристика, т. к. она зависит прежде всего от состава пород, что достаточно просто различить по растительности на аэро- и космоснимках [50].

Отдельная ниша – индикация криогенных рельефообразующих процессов. Обзор 110 публикаций российских и зарубежных исследователей, посвящённых их изучению, представлен в работе А. И. Кизякова и М. О. Лейбман [42]. В последние годы рядом учёных выполнены значимые исследования по выявлению урочищ –

индикаторов мерзлотных условий с учётом потепления климата на Европейском Севере [21], в Якутии [36], на западе Среднесибирского плоскогорья [5; 17; 43].

Ландшафтно-структурный метод применяется для оценки пространственной изменчивости инженерно-геокриологических условий. Степень разнообразия и характер внутренней структуры каждого региона лучше всего раскрывается через их ландшафтный рисунок, ландшафтную структуру [1; 33]. Для этого используется простейший показатель – набор ландшафтов разных видов, точнее – их процентное соотношение. Геоинформационные технологии позволяют осуществлять подобные картометрические измерения с помощью специальных приложений и по их результатам строить таблицы и гистограммы, т. е. проводить пространственный ГИС-анализ территории, который существенно повышает информативность различных карт для всестороннего анализа районов вечной мерзлоты.

Мерзлотные характеристики, такие как температура, криогенное строение пород, их сезонное протаивание и промерзание, а также криогенные процессы должны рассматриваться под экологическим углом зрения. Необходимым элементом становится кадастр наиболее опасных криогенных процессов летнего и зимнего ряда, которые следует изучать в первую очередь. К экологически опасным процессам летнего периода относят: термокарст, термоэрозию, термоабразию, солифлюкцию, подвижки курумов; а к зимнему: пучение, наледеобразование, морозобойное растрескивание, лавинную активность и процессы, связанные с

экстремальным снегонакоплением [20; 29; 39]. Соподчинять эти процессы по степени экологической угрозы чрезвычайно сложно.

Ключевым понятием геоэкологии криолитозоны является «*устойчивость ландшафта*» как способность противостоять техногенной активизации криогенных процессов, которые могут привести к необратимому ухудшению экологической обстановки и недопустимым деформациям инженерных сооружений, наряду со способностью к самовосстановлению (синоним: «литокриогенная устойчивость ландшафта») [31]. Для оценки устойчивости ландшафта к опасным природным процессам студентам даётся задание, в котором они сами определяют необходимые для оценки параметры (табл. 1).

Ниже приводится пошаговая инструкция проведения оценки потенциальной устойчивости ландшафтов в обзорно-региональном масштабе.

Оценка устойчивости криогенных геосистем на примере территории Западной Сибири. Процедура оценки устойчивости геосистем криолитозоны к антропогенным нагрузкам механического характера основана на анализе влияния ведущих природных факторов на снижение их литокриогенной устойчивости под действием нагрузок, приводящих к активизации криогенных процессов. Оценка состоит из нескольких этапов:

1. Отбор ведущих природных факторов, оказывающих влияние на устойчивость ландшафта к нагрузкам. Например, для ландшафтов Западной Сибири [37] это будет расчленённость рельефа, состав и температура грунтов, глубина сезонного протаивания/промерзания и увеличение её после

Таблица 1 / Table 1

**Пример задания по оценке устойчивости ландшафта к солифлюкции /
An example of a task to assess the resistance of a landscape to solifluction**

Крутизна склонов, Льдистость, %	<5	5–10	10–15	>15
<0,2	У	ОУ	ОУ	ОН
0,2–0,4	У	ОУ	ОН	Н
0,4–0,6	ОУ	ОУ	ОН	Н
>0,6	ОН	ОН	Н	Н

Условные обозначения категорий устойчивости природных комплексов:

У – устойчивые;

ОУ – относительно устойчивые;

ОН – относительно неустойчивые;

Н – неустойчивые

Источник: составлено авторами по [23]

нарушений, а также восстанавливаемости растительности.

2. Построение таблицы и ранжирования всех выбранных факторов по степени их влияния на устойчивость ландшафтов (табл. 2).

3. присвоение каждому ландшафту соответствующего экспертного балла по каждому фактору. Интегральное влияние всех показателей на устойчивость ландшафта оценивается суммой баллов. Далее проводится их ранжирование по 4 группам устойчивости (табл. 2).

Именно по этой методике составлялась «Карта устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири» масштаба 1:4 000 000 [31; 37]. Подобные карты могут быть названы картами риска освоения, картами экологической опасности и пр. Главное, что такой тип карт отражает важнейшую геоэкологическую особенность – потенциальную устойчивость ландшафтов криолитозоны к антропогенным нагрузкам.

При оценке мерзлотно-экологического состояния ландшафтов выбираются природные факторы, которые

типизируются по 3-4 градациям риска освоения, и далее различными способами сопоставляются. Число и спектр этих показателей различны в зависимости от региональной специфики и масштаба исследований. Выбор факторов не унифицирован. Так, при оценке литокриогенного состояния для инженерных целей выбирается ряд критериев, влияющих напрямую на потенциальную активизацию нежелательных криогенных процессов, связанных с фазовыми переходами воды. Это льдистость и температура мёрзлых пород, глубина сезонного протаивания или промерзания, рельеф, теплоизоляционные свойства растительности и скорость её самовосстановления. Для оценки ресурсно-биотического состояния природных комплексов выбираются показатели самовосстанавливаемости растительного покрова, хозяйственной ценности (в первую очередь, оленеёмкость пастбищных угодий) и природоохранной значимости [13; 31]. Первая группа факторов включает традиционные универсальные параметры.

Таблица 2 / Table 2

Ведущие факторы, определяющие потенциальную устойчивость ландшафтов криолитозоны Западной Сибири к механическим воздействиям / Leading factors of potential sustainability of permafrost landscapes in Western Siberia

Природные факторы	Оценка влияния в баллах			
	1 балл (не влияет)	2 балла (слабо влияет)	3 балла (заметно влияет)	4 балла (нарушает)
Расчленённость рельефа (превышение водораздела над урезом рек, озёр), м	5–25	25–30	50	5
Состав грунтов	пески (супеси)	переслаивание песков (супесей) и глин	суглинки (глины)	торф
Температура грунтов, °С	ниже –5 или выше 0	от –2 до –5	от –1 до –2	от 0 до –1
Суммарная льдистость (влажность), %	10	10–35	35–50	50
Растительность (восстанавливаемость, проективное покрытие на 10-й год), %	75–100 быстро восстанав- ливается	50–75 средне восстанавли- вается	25–50 медленно восстанавли- вается	0–25 практически не восстанав- ливается
Глубина сезонного про- таивания – промерзания. Увеличение её после на- рушений	не изменяется, уменьшается	увеличивается в 1,5 раза	увеличивается в 2 раза	увеличивает- ся более чем в 2 раза

Источник: составлено авторами по [37].

1. Температура горных пород в верхней части до глубины, соответствующей слою годовых теплооборотов (10–15 м) и льдистость, которые определяют интенсивность оттаивания пород. Чем ниже температура и меньше льдистость мёрзлых пород, тем меньше риск возникновения неблагоприятных криогенных процессов, в то же время на талых породах их интенсивность также затухает.

2. Теплоизоляционные (протекторные) свойства напочвенного покрова, обуславливающие сохранность температурных условий мёрзлых пород. Чем больше проективное покрытие, высота растительных сообществ и мощность

торфа, тем опаснее её уничтожение [18; 31]. Защитные свойства напочвенного покрова косвенно коррелируют со снегозадерживающей способностью растительных сообществ: чем больше густота растительного покрова, тем выше снежёмкость ландшафта, а значит, в случае сведения растительности вероятность активизации опасных процессов резко увеличится [35]. Этот параметр в основном оценивается в крупномасштабных исследованиях.

3. Скорость самовосстановления растительности после нарушения, от которой зависит, насколько быстро ландшафт вернётся в фоновое состояние. Этот параметр зависит от мно-

жества факторов, таких как тип растительности (видовое разнообразие, высота растений, степень проективного покрытия), характер увлажнения, скорость ветра, количество тепла (экспозиция) и др. При его ранжировании обычно опираются на мониторинговые наблюдения известных геоботаников. Например, для Западной Сибири это работы Н. Г. Москаленко [18], И. С. Ильиной [24], Д. В. Московченко [19]. В обзорно-региональных масштабах этот фактор уместно заменить биопродуктивностью. Чем меньше потенциал восстановления, тем больше риск активизации криогенных процессов.

Вторая группа – региональные факторы, которые связаны в основном с климатическими и геоморфологическими особенностями. Например, размываемость мёрзлых дисперсных пород, степень расчленения и крутизна склонов, состав грунтов (от которого зависит изменение мощности слоя сезонного оттаивания: чем грубее и крупнее состав грунтов, тем больше это изменение при техногенезе), положение в рельефе и пр.

В последнее время особую актуальность приобретает системный подход к оценке и картографированию состояния ландшафтов в области вечной мерзлоты, позволяющий выделять на картах ареалы различной степени опасности, как для инженерных сооружений, так и для биоты. По этой причине в курсах кратко освещается процедура интегральной оценки литокриогенной устойчивости ландшафтов к проявлению нежелательных криогенных процессов наряду с их биоресурсной ценностью [13].

На примере ряда ключевых участков, расположенных в разных районах

криолитозоны, обосновывается выбор оценочных факторов и различные способы их сопоставления с целью получения интегральных индексов для ранжирования ландшафтов по степени уязвимости к освоению.

При проведении интегральной экспресс-оценки столь разнородных факторов мерзлотно-экологического состояния территорий с различными единицами измерения применяют количественные критерии оценки – индексы, как то: коэффициенты мерзлотной устойчивости – КМУ, экологической опасности – КЭО, коэффициент опасности – K_0 и др. [31], что существенно облегчает картографирование [6; 13].

Способы выведения интегральной оценки устойчивости зависят от таксономического ранга геосистем [48]. Практика показала, что для целей сравнительного анализа устойчивости геосистем региональной размерности допустимо применять качественную оценку и даже оперировать простым сложением покомпонентных баллов. В крупномасштабных исследованиях целесообразно использовать многофакторный корреляционный анализ оценочных критериев, который, во-первых, позволяет оценивать значимость того или иного фактора и, во-вторых, приближает качественную оценку к количественной. Во всех случаях традиционно используют экспертные баллы, которые либо просто складывают, либо выводят среднее арифметическое (реже – среднее геометрическое), либо используют расчётно-статистические методы.

В горах геоэкологические проблемы в основном приурочены к рекреационным центрам и связаны в первую

очередь с воздействием лавин. Взаимодействие человека и природы в горах усиливается, соответственно, природные процессы становятся опасными для людей. Поскольку уязвимость объектов к воздействию опасного природного процесса разная, то и опасность для них должна отличаться. Для оценки лавинной опасности и риска первоначально необходимо определить типы объектов, по отношению к которым будет производиться данная оценка, а также геофизические параметры лавинной деятельности, затем нужно выявить уязвимость каждого из выделенных типов объектов. Таким образом, оценка лавинной опасности в отличие от лавинной активности должна учитывать не только геофизические показатели лавинной деятельности, но и социально-экономические показатели объекта [47].

Параметрами, которые характеризуют силу воздействия лавин, можно считать: объём, повторяемость, дальность выброса, продолжительность лавиноопасного периода, силу удара, количество лавиносборов на 1 погонный километр дна долины. Социально-экономические параметры зависят от объекта, для которого проводится оценка, такими могут быть: плотность населения, количество людей, которые находятся на лавиноопасном склоне в течение дня и в течение зимнего сезона, материалы, из которых построены сооружения, величина транспортного потока, стоимостные показатели, характеризующие размер возможного ущерба. Методы оценки, которые опираются на обе эти составляющие представлены в работах ряда авторов [4; 40; 45].

Результатом оценки лавинной опасности является определение зон с раз-

ной степенью воздействия, которые отражают на оценочной карте. Риск является количественной мерой опасности и определяется с помощью статистических данных, математических формул или имитационных моделей [3; 40; 47]. Очевидно, что расчётные значения риска будут характерны для современных климатических и экономических условий. При их изменении будет меняться и степень опасности [39]. Оценка риска необходима для разработки экономического обоснования и реализации защитных мероприятий, способных предотвратить или снизить возможные потери, связанные с воздействием стихийно-разрушительных процессов.

В силу сложившихся традиций в геоэкологических оценках широко используют экспертные баллы для сравнительной характеристики объектов. Достоинство балльных оценок – возможность сравнительного сопоставления количественных и качественных характеристик, возможность формального выделения опасных объектов при наличии самой общей информации. К недостаткам следует отнести – отсутствие у баллов некой размерности, что затрудняет общую количественную оценку [25]. Бытует мнение, что при проведении оценки качества территории, любые арифметические действия с баллами (особенно их сложение) не имеют смысла именно из-за отсутствия у них размерности. Чтобы оценка проводилась более корректным способом, предлагается совмещать порядковую и интервальную шкалы измерений. Поскольку интервальная шкала имеет меру, то все баллы, полученные с её помощью, будут иметь имя и соответствующую размерность.

С этой целью мы использовали понятие «цент качества» по Ю. Г. Симонову [25] и предложили использовать шкалу центов – масштабную линейку для определения межбалльных расстояний, градуирование которой по рубежам качественных изменений обычно проводится на основании оценок экспертов [12; 31].

Рассмотрим процедуру привязки балльных оценок на шкале центов качества (рис. 1), используя фактический материал таблицы 2. Сначала создаём 2 шкалы: на нижней интервальной откладываем центы качества, а на верхней шкале – баллы (от 1 до 4 по мере усиления воздействия). Между ними размещаем шкалы ведущих факторов. В данном случае их 6. Далее проводим рубежи балльных оценок влияния на снижение устойчивости с учётом выбранных 6 факторов, проекции которых на нижнюю интервальную шкалу выражают балльную оценку верхней шкалы в центах. При этом традиционные оценки в баллах не только сохраняются, но и дополняются оценкой их собственного веса в центах в интервале от 0 (не влияет) до 100 (полностью нарушает). Наибольшую уязвимость для освоения, с т. зр. проявления деструктивных экзогенных процессов (балл 4), представляют плоские слабо-расчленённые ландшафты со среднегодовой температурой грунта от 0 до -1°C, сложенные торфом, с льдистостью более 50%, с низкой восстанавливаемостью (проективное покрытие менее 20%), в которых мощность слоя сезонного промерзания/протаивания может увеличиться в случае механических нарушений их поверхности более чем в 2 раза (рис. 1) [31].

Для того чтобы показать логику совмещения порядковой и интервальной шкал, студентам предлагается *ключевое задание*, в котором необходимо:

1. выбрать 3–5 факторов, влияющих на опасность/риск/устойчивость/вероятность проявления опасного криогенного или нивально-гляциального процесса;

2. сделать графический рисунок шкал, выбранных на фоне нижней центовой шкалы;

3. ранжировать (объекты, территории, ландшафты) по 3 степеням опасности/риску/устойчивости/вероятности проявления;

4. составить таблицу с центовой оценкой по каждому фактору и с общим коэффициентом (среднеарифметическим/среднегеометрическим);

5. сделать 2 вывода по левой и правой части рисунка с устными пояснениями по выбору факторов.

В качестве примера рассмотрим одно из выполненных заданий с результатом выбора шкалы балльных расстояний для определения степени лавинной опасности (рис. 2). Степень лавинной опасности в лавиносборе можно определить в трёх градациях: как высокую (3 балла), среднюю (2 балла) и низкую (1 балл). Каждой степени воздействия соответствует свой диапазон параметров. Степень лавинной опасности зависит от четырёх факторов: крутизны склона; толщины снежного покрова в лавинном очаге; интенсивности выпадения осадков и количества человек, которые находятся в лавиносборе [3]. Их значения распределяются с использованием равномерных и неравномерных шкал для каждой из трёх степеней лавинной опасности.

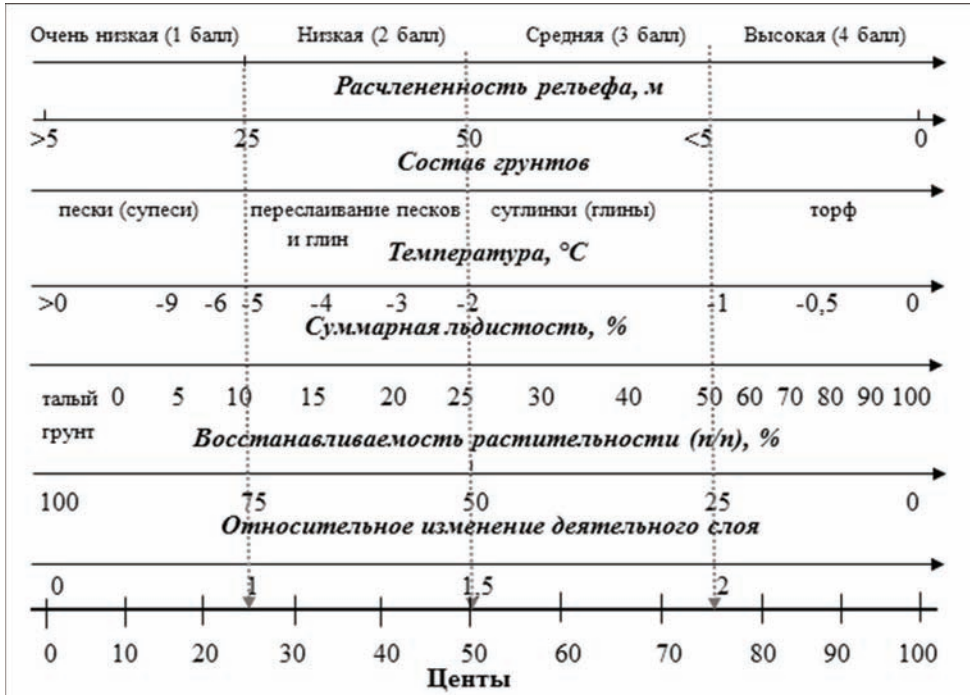


Рис. 1 / Fig. 1. Соотношение оценочных шкал показателей, влияющих на интенсивность проявления криогенных процессов в Западной Сибири / The ratio of scales of indicators affecting the intensity of cryogenic processes in Western Siberia

Источник: [31; 48]

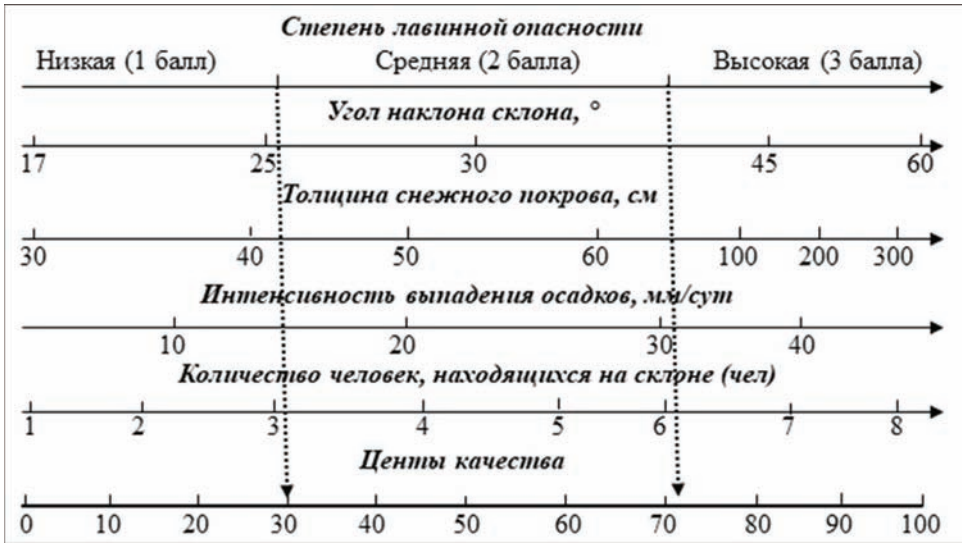


Рис.2 / Fig.2. Факторы лавинной опасности на фоне центовой шкалы / Avalanche hazard factors on a cent scale background

Источник: составлено авторами

Значению каждого показателя присваивается соответствующее количество центов. В результате рассчитывается среднее геометрическое полученных значений, которое можно назвать коэффициентом лавинной опасности (табл. 3).

Таким образом, из рисунка 2 и таблицы 3 следует, что *низкая степень лавинной опасности* будет наблюдаться при следующих характеристиках: так, если крутизна склона от 17° до 25° (15 центов), при толщине снежного покрова менее 40 см (10 центов), интенсивности осадков менее 10 мм в сутки (18 центов), и условии нахождения в лавиносборе не более 2 человек (15 центов), *высокая лавинная опасность* наиболее вероятна, если в лавиносборе будут находиться более 6 человек (85 центов), а крутизна склона лавинного очага будет составлять более 40° (80 центов), толщина снежного покрова выше 80 см (82 цента), а интенсивность выпадения твёрдых осадков превысит 30 мм в сутки (85 центов).

Аналогичным способом можно оценить: темп деградации вечной мерзлоты; степень разрушения морских берегов, сложенных мёрзлыми породами;

степень устойчивости ледников; возможность прорыва ледниковых озёр и образования селей; вероятность активизации опасных процессов; степень дигрессии оленьих пастбищ и многое другое. Студентам метод понятен в силу наглядной и лаконичной формы представления результатов и вызывает живой интерес.

Определение геоэкологической ситуации

В курсе всесторонне освещается проблема формирования опасных геоэкологических ситуаций в криолитозоне в условиях техногенеза. Они определяются степенью активизации криогенных процессов, которая, в свою очередь, зависит от сочетания потенциала устойчивости ландшафтов и интенсивности антропогенной нагрузки. Причём нагрузка учитывает не только степень линейно-площадной нарушенности в зонах влияния газонефтепромысловых объектов, но и степень дигрессии пастбищ вследствие перевыпаса (что повышает экологическую значимость оценки).

Согласно нормативным документам Минприроды РФ по охране при-

Таблица 3 / Table 3

**Ранжирование факторов, определяющих степень лавинной опасности /
Ranking of factors determining the degree of avalanche hazard**

Степень лавинной опасности (балл)	Угол наклона склона, цент	Толщина снежного покрова, цент	Интенсивность выпадения осадков, цент	Количество человек, находящихся на склоне, цент	Коэффициент лавинной опасности (среднее геометрическое)
Низкая(1)	15	10	18	15	14,2
Средняя(2)	45	50	52	45	47,9
Высокая(3)	80	82	85	85	83,0

Источник: составлено авторами на основании рисунка 2

роды [31; 48] выделяют 5 градаций экологических ситуаций: относительно удовлетворительная, напряжённая, критическая, кризисная, катастрофическая. Значительная доля времени отведена изучению стадии *кризисных экологических ситуаций (КЭС)*, которая определяется «резкой активизацией криогенных процессов и радикальным изменением биотической составляющей ландшафта, приводящих к устойчивому отрицательному изменению природного комплекса и составляющих угрозу функционирования инженерных сооружений» [31]. Для диагностики различных геоэкологических ситуаций применяется матричный метод, представленный в баллах, сопоставления степени устойчивости ландшафтов и категорий антропогенной нагрузки (табл. 4).

Особое внимание уделяется географии КЭС и приводятся примеры различных ситуаций и их диагностические признаки [31]. Стадии КЭС формируются в ареалах многоточных трубопроводов на Тазовском

полуострове и крупных разливов нефтепродуктов в Ханты-Мансийском автономном округе, факельных площадках на газопромыслах Надым-Пуровского междуречья, районах добычи россыпного золота дражным способом на Колыме. В отличие от катастрофической ситуации КЭС стадия затухает, когда нагрузка снимается, а запасы льда истощаются. Как правило, это происходит через 10–15 лет после прекращения эксплуатации [48].

На примере карты «Мерзлотно-ландшафтная дифференциация криолитозоны России» [31; 33] изучается мерзлотно-ландшафтная структура криолитозоны как основа оценки экологических последствий техногенеза. Ведь именно ландшафтное разнообразие является причиной пространственного изменения температуры, сезонного протаивания, криогенного строения. Вопрос о сложности освоения разных частей криолитозоны прямо увязывается с разнообразием мерзлотно-ландшафтных условий. Много времени уделяется анализу широко

Таблица 4 / Table 4

Оценка условий формирования геоэкологических ситуаций / Assessment of the formation of geoecological situations

	Группы мерзлотной устойчивости, КМУ	Относительно устойчивые <0,45	Слабо устойчивые 0,45–0,75	Неустойчивые >0,75	
Степень воздействия	баллы	1	2	3	
		сумма баллов			
нет	1	сумма баллов	2	3	4
слабая	2		3	4	5
умеренная	3		4	5	6
сильная	4		5	6	7

Примечание: Геоэкологические ситуации ранжированы по сумме баллов: удовлетворительная (2–3); напряжённая (4); критическая (5); кризисная (6–7)

Источник: составлено авторами по [48].

известной, опубликованной во многих экологических атласах «Карты активизации криогенных процессов при антропогенных воздействиях для равнинных и горных территорий РФ»¹, по которой рассматривается их интенсивность, разнообразие, география [29; 31]. Определяются все сочетания экологически опасных процессов и степень поражённости ими ландшафта; оцениваются скорости их развития и затухания; проводится ранжирование процессов по степени угрозы для функционирования инженерных сооружений (табл. 5).

Из новых мерзлотных карт, которые в полной мере используют региональную ландшафтную дифференциацию, рекомендуются к рассмотрению обновлённая «Мерзлотно-ландшафт-

ная карта Республики Саха (Якутия) масштаба 1:1 500 000 [44], а также ряд карт, созданных Институтом криосферы Земли ТюмНИЦ СО РАН [11]. Удачным примером криогенно-ландшафтного картографирования высокогорных районов являются карты Тибетского плато, основанные на подходах измерения температуры поверхности суши с использованием данных космосъёмки и результатах их обработки [38; 46].

Завершающий раздел учебных курсов посвящён основным приёмам природоохранных мероприятий и стабилизации геоэкологических ситуаций в криолитозоне и в высокогорье. Рассматриваются базовые, упреждающие и оперативные природоохранные мероприятия в зависимости от стадий ос-

Таблица 5 / Table 5

Фрагмент таблицы для оценки условий активизации мерзлотных процессов на равнинах/ Fragment of a table for assessing the conditions for permafrost processes activation on the plains

Район	Условия активизации мерзлотных процессов	Условия уменьшения активизации мерзлотных процессов
<i>Очень сильная активизация</i>		
П-ов Ямал, тундра	Льдосодержание >0,6, пластовые и полигонально-жильные льды, сплошные многолетнемерзлые породы	Температура ММП ниже -5° С
Приморские низменности северо-востока России, тундра и лесотундра	Льдосодержание >0,6, полигонально-жильные льды, сплошные ММП, удаление растительности	Температура ММП ниже -5° С, самовосстановление растительности
<i>Слабая активизация</i>		
Европейский Север и Западная Сибирь, у южной границы криолитозоны	Льдосодержание 0,4–0,6, температура ММП 0...–1° С, удаление растительности	Редкоостровные ММП, самовосстановление растительности

Источник: составлено по [31]

¹ Экологический атлас России. СПб., 2002. С. 50–54.

воения, а также типы природоохран-ных мероприятий: запретительные, мелиоративные, рекультивационные, инженерно-технологические, ресур-сосберегающие.

Итоговое задание направлено на изучение зонально-секторных зако-номерностей криолитозоны РФ. Сту-дентам предлагается выбрать одно сочетание региона и природной зоны, для которого следует определить: мерзлотные характеристики, изна-чально устойчивые и неустойчивые ландшафты, перечень потенциальных криогенных процессов и разработать основные природоохранные меропри-ятия для сохранения текущей экологи-ческой ситуации для доминирующих ландшафтов.

Заключение

Структурная и функциональная организация ландшафтов области веч-ной мерзлоты определяется параме-трами их криогенной составляющей: температурой и льдистостью мёрзлых пород, глубиной сезонного протаива-ния, свойствами защитного слоя рас-тительности. Эти факторы определя-ют развитие наиболее деструктивных криогенных процессов: термокарста, термоэрозии, солифлюкции, пучения и др., а значит, относительную устой-чивость ландшафтов к механическим нарушениям поверхности, которые не только изменяют облик коренных ландшафтов, но и усложняют эксплу-атацию инженерной инфраструктуры.

Оценка мерзлотно-экологического состояния основана на отборе веду-щих литокриогенных и биоресурсных факторов, способах их сопоставления, ранжировании антропогенных нагру-зок, выведении интегральных индек-

сов для калибровки ландшафтов по уязвимости к освоению и картографи-рования. Формирование кризисных экологических ситуаций основано на анализе интенсивности техногенеза (добыча полезных ископаемых, стро-ительство, дигрессия оленьих пастбищ и др.) и потенциальной устойчивости ландшафтов. Оценка экологических ситуаций проводится в соответствии с площадью поражённости процессами, скоростью их развития и затуха-ния, степенью нарушения естествен-ных ландшафтов, степенью угрозы для функционирования инженерных со-оружений.

Оценка лавинной опасности и ри-ска основана на учёте геофизических показателей лавинной деятельности и социально-экономических показате-лях объектов рекреационной инфра-структуры.

Опыт преподавания геоэкологиче-ских дисциплин для студентов-геогра-фов позволяет заключить следующее.

1. Геосистемный подход, основан-ный на тесной связи формирования и взаимодействия многолетнемёрзлых пород с другими компонентами при-родной среды, имеет первостепенное значение в практике изучения и карто-графирования ландшафтов в области вечной мерзлоты.

2. В целях совершенствования экс-пертных оценок в геоэкологических исследованиях следует устанавливать единую размерность пофакторных баллов, используя интервальную шка-лу в «центах качества».

3. Для выработки грамотной стра-тегии управления природопользова-нием на севере на всех оценочных кар-тах, входящих в число обязательных материалов экологического содержа-

ния на стадиях подготовки предпроектной и проектной документации, целесообразно выделять не только ареалы проявления криогенных процессов, представляющих опасность для работы инженерных сооружений, но и отражать ресурсно-биотическое состояние территорий, в первую очередь – оленьих пастбищ.

4. При активном развитии горных районов необходимо учитывать существование лавинной угрозы и опасность от других гляциально-нивальных процессов, принимая соответствующие меры для снижения ри-

сков. Оценка лавинной опасности и риска является необходимым этапом в ходе рекреационного использования территорий. В связи с современными изменениями климата данные оценки необходимо постоянно актуализировать.

В результате освоения геоэкологических дисциплин в областях вечной мерзлоты и высокогорья студенты могут самостоятельно оценивать степень опасности геоэкологических ситуаций, возникающих при различных типах хозяйственной деятельности в разных масштабах исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В. Р. Геометрия криолитозоны. Якутск, 2015. 120 с.
2. Викторов С. В., Чикишев А. Г. Ландшафтная индикация и ее практическое применение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 200 с.
3. Викулина М. А. Оценка лавинного риска в Хибинах // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2019. Т. 25. С. 66–76.
4. Викулина М. А. Лавинная опасность и риск в Хибинах в условиях развития рекреации в начале XXI века // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2023. Т. 4. № 3. С. 276–287. DOI: 10.34753/HS.2022.4.3.276
5. Высоцкая А. А., Медведков А. А. Климатогенное "позеленение" курумных ландшафтов в долине нижнего течения реки Подкаменная Тунгуска // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28. № 1. С. 305–313. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-305-313
6. Гарагуля Л. С., Гордеева Г. И., Хилимонюк В. З. Методические основы экологической геокриологии // Основы геокриологии. Ч. 6: Геокриологический прогноз и экологические проблемы в криолитозоне / под ред. Э. Д. Ершова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2008. С. 471–488.
7. Геоэкология Севера / под ред. В. И. Соломатина. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. 270 с.
8. Голубев Г. Н. Геоэкология. М.: Изд-во ГЕОС, 1999. 338 с.
9. Горшков С. П. Концептуальные основы геоэкологии. М.: Желдориздат, 2001. 568 с.
10. Оценка воздействия опасных криогенных процессов на инженерные объекты в Арктике / В. И. Гребенец, Ф. Д. Юров, А. И. Кизяков, Л. И. Зотова, А. А. Маслаков, В. А. Толманов, И. Д. Стрелецкая // Вестник Российского фонда фундаментальных исследований. 2022. № 3–4. С. 87–102. DOI: 10.22204/2410-4639-2022-115-116-03-04-87-102
11. Цифровые карты криолитозоны и оценка современных изменений в криолитозоне / Д. С. Дроздов, Г. В. Малкова, В. Е. Романовский, А. А. Васильев, А. В. Брушков и др. // Материалы XI международного симпозиума по проблемам инженерного мерзлотоведения / отв. ред. Р. В. Чжан. Якутск, 2017. С. 233–234.
12. Зотова Л. И. Теоретические и прикладные аспекты экспертной геоэкологической оценки опасности хозяйственного освоения в рамках новой образовательной программы // Экологические проблемы криолитозоны: мат-лы конф. 2011. Т. 3. С. 224–231.

13. Зотова Л. И. Интегральная оценка литокриогенного и биоресурсного состояния ландшафтов Тазовского полуострова // Проблемы региональной экологии. 2015. № 4. С. 121–130.
14. Исаченко А. Г. Введение в экологическую географию. СПб: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2003. 192 с.
15. Кудрявцев В. А. Мерзлотная съемка как основной вид мерзлотных исследований // Мерзлотные исследования. 1961. Вып. I. С. 3–10.
16. Ландшафтные индикаторы инженерно-геокриологических условий севера Западной Сибири и их дешифровочные признаки / под ред. Е. С. Мельникова, Л. И. Вейсмана, Л. Н. Крицук М.: Недра, 1974. 122 с.
17. Медведков А. А. Индикация состояния мерзлотно-таёжных ландшафтов на южной периферии криолитозоны в условиях изменяющегося климата // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2018. № 1. С. 18–28. DOI: 10.18384/2310-7189-2018-1-18-28
18. Москаленко Н. Г. Антропогенная динамика растительности равнин криолитозоны России. Новосибирск: Наука, 1999. 280 с.
19. Московченко Д. В. Оценка современной динамики ландшафтов Заполярного месторождения с использованием спутниковых данных // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2018. Т. 4. № 2. С. 6–16.
20. Мудров Ю. В. Мерзлотные явления в криолитозоне равнин и гор. М.: Научный мир, 2007. 316 с.
21. Осадчая Г. Г. Локальные ландшафты как индикаторы геокриологической зональности (на примере Европейского Северо-Востока) // Криосфера Земли. 2012. Том XVI. № 3. С. 62–71.
22. Осипов В. И. Геоэкология: понятие, задачи, приоритеты // Геоэкология. 1997. № 1. С. 3–11.
23. Природные опасности России. Геокриологические опасности / под ред. Л. С. Гарагули, Э. Д. Ершова. М.: Изд. фирма «Крук», 2000. 316 с.
24. Растительный покров Западно-Сибирской равнины / И. С. Ильина, Е. И. Лапшина, Н. И. Лавренко и др. Новосибирск: Наука. Сибирское отд-ние, 1985. 251 с.
25. Симонов Ю. Г. Балльные оценки в прикладных географических исследованиях и пути их совершенствования // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 1997. № 4. С. 7–10.
26. Солнцев В. Н. История университетской кафедры физической географии мира и геоэкологии. М.: Изд-во ГЕОС, 2008. 120 с.
27. Тимашев И. Е. Геоэкология: первоисточники, подходы, перспективы // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2000. № 5. С. 18–22.
28. Трофимов В. Т. Теоретические аспекты геоэкологии. М.: КДУ, 2020. 148 с.
29. Тумель Н. В. Активизация опасных криогенных процессов // География, общество, окружающая среда. Т. 1. Структура, динамика и эволюция природных систем. М.: Изд. дом «Городец», 2004. С. 344–357.
30. Тумель В. Ф. О мерзлотной съемке // Известия АН СССР. Серия геофизическая. 1945. Т. IX. № 2. С. 135–144.
31. Тумель Н. В., Зотова Л. И. Геоэкология криолитозоны. М.: Юрайт, 2023. 204 с.
32. Тумель Н. В., Зотова Л. И. Неоднозначность ландшафтной индикации мерзлотных условий в различных масштабах картографирования криолитозоны России // Инженерные изыскания в строительстве: материалы докладов / ред. Н. А. Журавлева, К. С. Висхаджиева. М., 2018. С. 234–240.

33. Тумель Н. В., Королева Н. А. Мерзлотно-ландшафтная дифференциация криолитозоны России как основа эколого-геологических исследований // Инженерная геология. 2008. № 2. С. 11–14.
34. Тыртиков А. П. О влиянии растительности на многолетнюю подпочву. Материалы к основам учения о мерзлых зонах земной коры. М.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 85–108.
35. Чигир В. Г., Ланчаков Г. А., Кульков А. Н. Геоэкологические условия севера Западно-Сибирской равнины и проблемы устойчивости криогеосистемы к техногенезу // Проблемы общей и прикладной геоэкологии Севера. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. С. 222–236.
36. Шестакова А. А. Картографирование мерзлотных ландшафтов с учетом сукцессий растительности (на примере Приленского плато): автореф. ... дис. канд. географ. наук. Якутск, 2011. 20 с.
37. Шполянская Н. А., Зотова Л. И. Карта устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 1994. № 1. С. 56–66.
38. A new map of permafrost distribution on the Tibetan Plateau / D. Zou, L. Zhao, Y. Sheng, J. Chen, T. Wu, J. Wu, C. Xie, et al. // Cryosphere. 2017. Vol. 11. Iss. 6. P. 2527–2542. DOI: 10.5194/tc-11-2527-2017
39. A Spatially Detailed Projection of Environmental Conditions in the Arctic Initiated by Climate Change / A. Kislov, A. Alyautdinov, A. Baranskaya, N. Belova, D. Bogatova, M. Vikulina, I. Zheleznova et al. // Atmosphere. 2023. Vol. 14. DOI: 10.3390/atmos14061003
40. Editorial to the special issue on natural hazards and risk research in Russia / S. Fuchs, A. Shnyparkov, V. Jomelli, N. Kazakov, S. Sokratov // Natural Hazards. 2017. Vol. 88. P. 1–16. DOI: 10.1007/s11069-017-2976-2
41. Fedorov A. N. Permafrost Landscapes: Classification and Mapping // Geosciences. 2019. № 9. DOI: 10.3390/geosciences9110468
42. Kizyakov A., Leibman M. Cryogenic Relief Formation Processes: a Review of 2010–2015 Publications // Earth's Cryosphere. 2016. Vol. XX. P. 40–52. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2016-4(45-58)
43. Medvedkov A., Vysotskaya A., Olchev A. Detection of Geocryological Conditions in Boreal Landscapes of the Southern Cryolithozone Using Thermal Infrared Remote Sensing Data: A Case Study of the Northern Part of the Yenisei Ridge // Remote Sensor. 2023. Vol. 15. № 2: 291. DOI: 10.3390/rs15020291
44. Permafrost-landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia) at scale 1:1 500 000 / A. Fedorov, N. Vasilyev, Y. Torgovkin, A. Shestakova, S. Varlamov, M. Zheleznyak // Geosciences. 2018. № 8. DOI: 10.3390/geosciences8120465
45. Risk assessment in the North Caucasus ski resorts / A. Y. Komarov, Y. G. Seliverstov, T. G. Glazovskaya, A. S. Turchaninova // Natural Hazards and Earth System Science. 2016. Vol. 16. P. 2227–2234. DOI: 10.5194/nhess-16-2227-2016
46. Spatial modeling of permafrost distribution and properties on the Qinghai-Tibet Plateau / X. Wu, Z. Nan, G. Cheng, S. Zhao // Permafrost and Periglacial Processes. 2018. Vol. 29. DOI: 10.1002/ppp.1971
47. Theory and practice of individual snow avalanche risk assessment in the Russian Arctic / A. L. Shnyparkov, S. Fuchs, S. A. Sokratov, K. P. Koltermann, Yu. G. Seliverstov, M. A. Vikulina // Geography, Environment, Sustainability. 2012. Vol. 5. P. 64–81. DOI: 10.24057/2071-9388-2012-5-3-64-81
48. Tumul N., Zotova L. Diagnostics and Mapping of Geoecological Situations in the Permafrost Zone of Russia // Geosciences. 2019. № 9. P. 1–31. DOI: 10.3390/geosciences9080353

49. Vulnerability of the Permafrost Landscapes in the Eastern Chukotka Coastal Plains to Human Impact and Climate Change / A. Maslakov, L. Zotova, N. Komova, M. Grishchenko, D. Zamolodchikov, G. Zelensky // *Land*. 2021. Vol. 10. P. 1–15. DOI: 10.24057/2071-9388-2021-039
50. Zotova L. I. Landscape Indication of Permafrost Conditions for Geoecological Assessment & Mapping at Various Scales // *Geography, Environment, Sustainability*. 2021. Vol. 14. P. 33–40. DOI: 10.24057/2071-9388-2021-039

REFERENCES

1. Alekseev V. R. *Geometriya kriolitozonov* [Geometry of the cryolithozone], Yakutsk, 2015. 120 p.
2. Viktorov S. V., Chikishev A. G. *Landshaftnaya indikatsiya i yeye prakticheskoye primeneniye* [Landscape indication and its practical application]. Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta Publ., 1990. 200 p.
3. Vikulina M. A. [Avalanche risk assessment in Khibiny]. In: InterKarto. InterGIS [InterCarto. InterGIS], 2019, vol. 25, pp. 66–76.
4. Vikulina M. A. [Avalanche danger and risk in Khibiny in the context of recreation development at the beginning of the 21st century]. In: *Gidrosfera. Opasnyye protsessy i yavleniya* [Hydrosphere. Dangerous processes and phenomena], 2023, vol. 4, no. 3, pp. 276–287. DOI: 10.34753/HS.2022.4.3.276
5. Vysotskaya A. A., Medvedkov A. A. [Climate-driven “greening” of the kurum landscape in the valley of the lower reaches of the Podkamennaya Tunguska river]. In: *InterCarto. InterGIS* [InterCarto. InterGIS], 2022, vol. 28, no. 1, pp. 305–313. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-305-313
6. Garagulya L. S., Gordeeva G. I., Khilimonyuk V. Z. [Methodological foundations of ecological geocryology]. In: Ershov E. D., ed. *Osnovy geokriologii. CH. 6: Geokriologicheskij prognoz i ekologicheskije problemy v kriolitozone* [Fundamentals of geocryology. Part 6: Geocryological forecast and ecological problems in the cryolithozone]. Moscow, Moscow University Press, 2008, pp. 471–488.
7. Solomatina V. I., ed. *Geoekologiya Severa* [Geoecology of the North]. Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 1992. 270 p.
8. Golubev G. N. *Geoekologiya* [Geoecology]. Moscow, Izd-vo GEOS Publ., 1999. 338 p.
9. Gorshkov S. P. *Kontseptualnyye osnovy geoekologii* [Conceptual foundations of geoecology]. Moscow, Zheldorizdat Publ., 2001. 568 p.
10. Grebenets V. I., Yurov F. D., Kizyakov A. I., Zotova L. I., Maslakov A. A., Tolmanov V. A., Streletskaia I. D. [Assessment of the impact of hazardous cryogenic processes on engineering facilities in the Arctic]. In: *Vestnik Rossiyskogo fundamental'nykh issledovaniy* [Bulletin of the Russian Foundation for Basic Research], 2022, no. 3–4, pp. 87–102. DOI: 10.22204/2410-4639-2022-115-116-03-04-87-102
11. Drozdov D. S., Malkova G. V., Romanovsky V. E., Vasiliev A. A., Brushkov A. V., et al. [Digital maps of the cryolithozone and assessment of modern changes in the cryolithozone]. In: Zhang R. V., ed. *Materialy XI mezhdunarodnogo simpoziuma po problemam inzhenernogo merzlotovedeniya* [Proceedings of the 11th International Symposium on Problems of Permafrost Engineering]. Yakutsk, 2017, pp. 233–234.
12. Zotova L. I. [Theoretical and applied aspects of expert geoecological assessment of the danger of economic development within the framework of the new educational program]. In: *Ekologicheskije problemy kriolitozony* [Ecological problems of the cryolithozone], 2011, vol. 3, pp. 224–231.

13. Zotova L. I. [Integral assessment of the lithocryogenic and bioresource state of the landscapes of the Taz Peninsula]. In: *Problemy regionalnoy ekologii* [Problems of regional ecology], 2015, no. 4, pp. 121–130.
14. Isachenko A. G. *Vvedeniye v ekologicheskuyu geografiyu* [Introduction to environmental geography]. St. Petersburg, Izd-vo S.-Peterb. un-ta Publ., 2003. 192 p.
15. Kudryavtsev V. A. [Permafrost survey as the main type of permafrost research]. In: *Merzlotnyye issledovaniya* [Permafrost research], 1961, iss. I, pp. 3–10.
16. Melnikova E. S., Veisman L. I., Kritsuk L. N., eds. *Landshaftnyye indikatory inzhenerno-geokriologicheskikh usloviy severa Sibiri i ikh deshifrovochnyye priznaki* [Landscape indicators of engineering-geocryological conditions of the north of Western Siberia and their deciphering features]. Moscow, Nedra Publ., 1974. 122 p.
17. Medvedkov A. A. [Indication of the state of permafrost-taiga landscapes on the southern periphery of the cryolithozone in a changing climate]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye nauki* [Bulletin of Moscow State Regional University. Series: Natural Sciences], 2018, no. 1, pp. 18–28. DOI: 10.18384/2310-7189-2018-1-18-28
18. Moskalenko N. G. *Antropogennaya dinamika rastitelnosti svyazana s kriolitozonami Rossii* [Anthropogenic dynamics of vegetation on the plains of the cryolithozone of Russia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1999. 280 p.
19. Moskovchenko D. V. [Assessment of modern dynamics of landscapes of the Zapolyarnoye field using satellite data]. In: *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopolzovaniye* [Bulletin of Tyumen State University. Ecology and Nature Management], 2018, vol. 4, no. 2, pp. 6–16.
20. Mudrov Yu. V. *Merzlotnyye yavleniya v kriolitozone i gor* [Permafrost Phenomena in the Cryolithozone of Plains and Mountains]. Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2007. 316 p.
21. Osadchaya G. G. [Local landscapes as indicators of geocryological zonality (using the European North-East as an example)]. In: *Kriosfera Zemli* [Cryosphere of the Earth], 2012, vol. XVI, no. 3, pp. 62–71.
22. Osipov V. I. [Geoecology: concept, tasks, priorities]. In: *Geoekologiya* [Geoecology], 1997, no. 1, pp. 3–11.
23. Garaguli L. S., Ershov E. D., eds. *Prirodnyye opasnosti Rossii. Geokriologicheskaya opasnost* [Natural hazards of Russia. Geocryological hazards]. Moscow, Izd. firma «Kruk» Publ., 2000. 316 p.
24. Ilyina I. S., Lapshina E. I., Lavrenko N. I., et al. *Rastitelnyy pokrov Zapadno-Sibirskoy granitsy* [Vegetation cover of the West Siberian Plain]. Novosibirsk, Nauka. Sibirskoye otd-niye Publ., 1985. 251 p.
25. Simonov Yu. G. [Score assessments in applied geographical research and ways to improve them]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography], 1997, no. 4, pp. 7–10.
26. Solntsev V. N. *Istoriya universitetskoy kafedry fizicheskoy geografii mira i geoekologii* [History of the University Department of Physical Geography of the World and Geoecology]. Moscow, Izd-vo GEOS Publ., 2008. 120 p.
27. Timashev I. E. [Geoecology: primary sources, approaches, prospects]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography], 2000, no. 5, pp. 18–22.
28. Trofimov V. T. *Teoreticheskiye aspekty geoekologii* [Theoretical aspects of geoecology]. Moscow, KDU Publ., 2020. 148 p.
29. Tumel N. V. [Activation of dangerous cryogenic processes]. In: *Geografiya, obshchestvo, okruzhayushchaya sreda. T. 1. Struktura, dinamika i evolyutsiya sistem* [Geography, society,

- environment. Vol. 1. Structure, dynamics and evolution of natural systems]. Moscow, Izd. dom «Gorodets» Publ., 2004, pp. 344–357.
30. Tumel V. F. [On permafrost survey]. In: *Izvestiya AN SSSR. Seriya geofizicheskaya* [Bulletin of the USSR Academy of Sciences. Geophysical Series], 1945, vol. IX, no. 2, pp. 135–144.
 31. Tumel N. V., Zotova L. I. *Geoekologiya kriolitozony* [Geoeology of the cryolithozone]. Moscow, Yurait Publ., 2023. 204 p.
 32. Tumel N. V., Zotova L. I. [Ambiguity of landscape indication of permafrost conditions at different scales of mapping the cryolithozone of Russia]. In: Zhuravleva N. A., Viskhadzhieva K. S., eds. *Inzhenernyye izyskaniya v stroitelstve* [Engineering surveys in construction]. Moscow, 2018, pp. 234–240.
 33. Tumel N. V., Koroleva N. A. [Permafrost-landscape differentiation of the cryolithozone of Russia as a basis for ecological and geological research]. In: *Inzhenernaya geologiya* [Engineering Geology], 2008, no. 2, pp. 11–14.
 34. Tyrtikov A. P. *O vliyaniy rastitel'nosti na mnogoletnyuyu podpochvu. Materialy k osnovam ucheniy o merzlykh zonakh zemnoy kory* [On the influence of vegetation on perennial subsoil. Materials for the fundamentals of the doctrine of frozen zones of the earth's crust]. Moscow, Izd-vo AN SSSR Publ., 1956, pp. 85–108.
 35. Chigir V. G., Lanchakov G. A., Kulkov A. N. [Geoeological conditions of the north of the West Siberian Plain and problems of cryogeosystem stability to technogenesis]. In: *Problemy obshchey i prikladnoy geoekologii Severa* [Problems of general and applied geoeology of the North]. Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta Publ., 2001, pp. 222–236.
 36. Shestakova A. A. *Kartografirovaniye merzlotnykh landshaftov s uchetom suksessiy rastitel'nosti (po printsipu Prilenskogo plato): avtoref. ... dis. kand. geograf. nauk* [Mapping of permafrost landscapes taking into account vegetation successions (using the Prilensky Plateau as an example): Cand. Sci thesis in Geografic Sciences]. Yakutsk, 2011. 20 p.
 37. Shpolyanskaya N. A., Zotova L. I. [Map of landscape stability in the cryolithozone of Western Siberia]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography], 1994, no. 1, pp. 56–66.
 38. Zou D., Zhao L., Sheng Y., Chen J., Wu T., Wu J., Xie C., et al. A new map of permafrost distribution on the Tibetan Plateau. In: *Cryosphere*, 2017, vol. 11, iss. 6, pp. 2527–2542. DOI: 10.5194/tc-11-2527-2017
 39. Kislov A., Alyautdinov A., Baranskaya A., Belova N., Bogatova D., Vikulina M., Zhelezno-va I. et al. A Spatially Detailed Projection of Environmental Conditions in the Arctic Initiated by Climate Change. In: *Atmosphere*, 2023, vol. 14. DOI: 10.3390/atmos14061003
 40. Fuchs S., Shnyparkov A., Jomelli V., Kazakov N., Sokratov S. Editorial to the special issue on natural hazards and risk research in Russia. In: *Natural Hazards*, 2017, vol. 88, pp. 1–16. DOI: 10.1007/s11069-017-2976-2
 41. Fedorov A. N. Permafrost Landscapes: Classification and Mapping. In: *Geosciences*, 2019, no. 9. DOI: 10.3390/geosciences9110468
 42. Kizyakov A., Leibman M. Cryogenic Relief Formation Processes: a Review of 2010–2015 Publications. In: *Earth's Cryosphere*, 2016, vol. XX, pp. 40–52. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2016-4(45-58)
 43. Medvedkov A., Vysotskaya A., Olchev A. Detection of Geocryological Conditions in Boreal Landscapes of the Southern Cryolithozone Using Thermal Infrared Remote Sensing Data: A Case Study of the Northern Part of the Yenisei Ridge. In: *Remote Sensing*, 2023, vol. 15, no. 2: 291. DOI: 10.3390/rs15020291
 44. Fedorov A., Vasilyev N., Torgovkin Y., Shestakova A., Varlamov S., Zheleznyak M. Permafrost-landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia) at scale 1:1 500 000. In: *Geosciences*, 2018, no. 8. DOI: 10.3390/geosciences8120465

45. Komarov A. Y., Seliverstov Y. G., Glazovskaya T. G., Turchaninova A. S. Risk assessment in the North Caucasus ski resorts. In: *Natural Hazards and Earth System Science*, 2016, vol. 16, pp. 2227–2234. DOI: 10.5194/nhess-16-2227-2016
46. Wu X., Nan Z., Cheng G., Zhao S. Spatial modeling of permafrost distribution and properties on the Qinghai-Tibet Plateau. In: *Permafrost and Periglacial Processes*, 2018, vol. 29. DOI: 10.1002/ppp.1971
47. Shnyparkov A. L., Fuchs S., Sokratov S. A., Koltermann K. P., Seliverstov Yu. G., Viikulina M. A. Theory and practice of individual snow avalanche risk assessment in the Russian Arctic. In: *Geography, Environment, Sustainability*, 2012, vol. 5, pp. 64–81. DOI: 10.24057/2071-9388-2012-5-3-64-81
48. Tumel N., Zotova L. Diagnostics and Mapping of Geoecological Situations in the Permafrost Zone of Russia. In: *Geosciences*, 2019, no. 9, pp. 1–31. DOI: 10.3390/geosciences9080353
49. Maslakov A., Zotova L., Komova N., Grishchenko M., Zamolodchikov D., Zelensky G. Vulnerability of the Permafrost Landscapes in the Eastern Chukotka Coastal Plains to Human Impact and Climate Change. In: *Land*, 2021, vol. 10, pp. 1–15. DOI: 10.24057/2071-9388-2021-039
50. Zotova L. I. Landscape Indication of Permafrost Conditions for Geoecological Assessment & Mapping at Various Scales. In: *Geography, Environment, Sustainability*, 2021, vol. 14, pp. 33–40. DOI: 10.24057/2071-9388-2021-039

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зотова Лариса Игоревна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник кафедры криолитологии и гляциологии географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: zotlar@mail.ru

Викулина Марина Александровна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник кафедры криолитологии и гляциологии географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: masanna2003@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Larisa I. Zotova – PhD (Geography), Senior Researcher, Department of Cryolithology and Glaciology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University;
e-mail: zotlar@mail.ru

Marina A. Vikulina – PhD (Geography), Senior Researcher, Department of Cryolithology and Glaciology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University;
e-mail: masanna2003@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Зотова Л. И., Викулина М. А. Научно-методические аспекты преподавания учебных курсов по геоэкологическим проблемам равнинных и горных территорий криолитозоны // Географическая среда и живые системы. 2024. № 3. С. 123–148.
DOI: 10.18384/2712-7621-2024-3-123-148

FOR CITATION

Zotova L. I., Vikulina M. A. Scientific and methodological aspects of teaching courses on geo-ecological problems of plains and mountains areas in the permafrost zone. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 3, pp. 123–148.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-3-123-148