

Научная статья

УДК 551.345.1(571.61/64)

DOI: 10.21209/2227-9245-2025-31-1-21-31

Мерзотно-геоэкологические условия хозяйственной деятельности на периферии криолитозоны (на примере Нижнего Приамурья)**Андрей Николаевич Брагин¹, Алексей Николаевич Махинов²**

^{1,2}*Хабаровский Федеральный исследовательский центр Института водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Россия*

¹andrey.bragin.87@list.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0535-1120>

²amakhinov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4914-1408>

Актуальность исследования обусловлена слабой изученностью мерзотно-геоэкологических условий и всё возрастающей ролью их негативных воздействий на современное хозяйственное освоение территории Нижнего Приамурья. Показано, что одними из существенных ограничивающих факторов освоения являются многолетняя мерзлота и опасные криогенные процессы в регионе, их активизация при глобальном потеплении климата. Объект исследования – многолетняя мерзлота равнинных и горных территорий Нижнего Приамурья. Предмет исследования – ограничивающие факторы хозяйственного освоения Нижнего Приамурья, обусловленные опасными проявлениями криогенных процессов в различных геоморфологических условиях. Цель и задачи исследований заключались в оценке состояния многолетней мерзлоты и опасных криогенных процессов на различных формах рельефа и их влияния на современные и перспективные объекты логистической инфраструктуры при освоении равнин и прилегающих территорий. Анализ имеющихся карт, космических снимков ESRI ArcGis Imagery и данных полевых работ позволил выделить основные формы макро-, мезо- и микрорельефа и связанные с ними криогенные процессы. На основе геоморфологической приуроченности опасных криогенных процессов к определённым формам рельефа выделены природные территории специфического хозяйственного освоения. Для определения степени воздействия опасных криогенных процессов на участках природных территорий специфического хозяйственного освоения выявлены основные факторы дифференциации природных территорий по мерзотно-геоэкологическим условиям и мерзотно-геоэкологические участки по степени благоприятности хозяйственного освоения. Практическое использование результатов исследований показано при анализе трассы существующего автозимника «им. П. Осипенко – Тур», расположенного в пределах Нижнеамурского региона.

Ключевые слова: Нижнее Приамурье, опасные криогенные процессы, мерзлотное пучение, термокарст, солифлюкция, конжелифлюкция, курумы, наледы, мерзлотно-геоэкологические условия, природные территории специфического хозяйственного освоения

Для цитирования

Брагин А. Н., Махинов А. Н. Мерзлотно-геоэкологические условия хозяйственной деятельности на периферии криолитозоны (на примере Нижнего Приамурья) // Вестник Забайкальского государственного университета. 2025. Т. 31, № 1. С. 21–31. DOI: 10.21209/2227-9245-2025-31-1-21-31

Original article**Permafrost-Geoecological Conditions of Economic Activity on the Periphery of the Cryolithozone (on the Example of Lower Amur Region)****Andrey N. Bragin¹, Aleksei N. Makhinov²**

^{1,2}*Khabarovsk Federal Research Center of the Institute of Water and Environmental Problems of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences – separate division of the Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia*

¹andrey.bragin.87@list.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0535-1120>

²amakhinov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4914-1408>

The relevance of the research is due to the poor study of permafrost-geoecological conditions and the ever-increasing role of their negative impacts on modern economic development of the Lower Amur region. It is shown that one of the significant limiting factors of development is permafrost and dangerous cryogenic processes in the region, their activation under global warming. The object of the research is permafrost of the plain and mountainous territories of the Lower Amur region. The subject is the limiting factors of economic development of the Lower Amur region, caused by dangerous manifestations of cryogenic processes in various geomorphological condi-

© Брагин А. Н., Махинов А. Н., 2025

tions. The purpose and objectives of the research are to assess the state of permafrost and dangerous cryogenic processes on various landforms and their impact on modern and prospective objects of logistics infrastructure during the development of plains and adjacent territories. Methods and methodology are as follows: based on the analysis of available maps, ESRI ArcGis Imagery satellite images and field work data, the main forms of macro-, meso- and microrelief and the cryogenic processes associated with them are identified. Based on the geomorphological confinement of hazardous cryogenic processes to certain relief forms, natural areas of specific economic development are identified. To determine the degree of hazardous cryogenic processes impact in areas of natural areas of specific economic development, the main factors differentiating natural areas by permafrost-geoecological conditions and permafrost-geoecological areas by the degree of favorability of economic development are identified. The practical use of the research results is shown in the analysis of the route of the existing winter road "named after P. Osipenko – Tugur", located within the Lower Amur region

Keywords: Lower Amur region, dangerous cryogenic processes, permafrost heaving, thermokarst, solifluction, congelifluction, kurums, icings, permafrost-geoecological conditions, natural territories of specific economic development

For citation

Bragin A. N., Makhinov A. N. Permafrost-Geoecological Conditions of Economic Activity on the Periphery of the Cryolithozone (on the Example of Lower Amur Region) // Transbaikal State University Journal. 2025. Vol. 31, No. 1. P. 21–31. DOI: 10.21209/2227-9245-2025-31-1-21-31

Введение. Проблема освоения новых природных территорий имеет многокомпонентный характер. Помимо экономической целесообразности вовлечения новых территорий в хозяйственную деятельность региона, страны или содружества стран существуют природно-климатические, ландшафтные, геологические и экологические риски, воздействие которых на инфраструктуру является негативным фактором освоения.

Для экономического развития России большую роль играет вовлечение новых территорий в хозяйственный оборот, в том числе расположенных в зоне распространения многолетнемёрзлых пород.

Ограничивающими факторами хозяйственного освоения криолитозоны являются как суровость природно-климатических условий, так и наличие, проявление опасных криогенных процессов. Однако изучение многолетней мерзлоты в настоящее время происходит неравномерно. Активно исследуются территории северной части геокриологической зоны [3; 11–13], в меньшей степени – её южные территории [5; 8; 10]. Территория Нижнего Приамурья практически не исследована с точки зрения мерзлотных условий, а проявления опасных криогенных процессов изучались лишь на отдельных участках в связи с осуществлением крупных инфраструктурных проектов на таких объектах, как Восточный участок БАМа, Тихоокеанская железная дорога и др.

Актуальность. При большом потенциале природных ресурсов Нижнего Приамурья и их активном использовании в последние годы при разработке месторождений полезных ископаемых, освоении южного побережья Охотского моря и возможной транспортной связи материковой части страны с островом Саха-

лин в ближайшем будущем существенно возрастают риски негативного влияния различных ограничивающих факторов, одними из которых являются опасные криогенные процессы, активизирующиеся в условиях деградации многолетнемёрзлых грунтов [1; 2] вследствие глобального потепления климата [14; 15].

Объект – многолетняя мерзлота равнинных и горных территорий Нижнего Приамурья.

Предмет – ограничивающие факторы хозяйственного освоения Нижнего Приамурья, обусловленные опасными проявлениями криогенных процессов в различных геоморфологических условиях.

Цель – оценить состояние многолетней мерзлоты как фактора, ограничивающего освоение территории Нижнего Приамурья, на основе изучения опасных криогенных процессов на различных формах рельефа и выявления степени их влияния на современные и перспективные объекты логистической инфраструктуры при освоении равнин и прилегающих территорий.

Задачи

1. На основе анализа имеющихся топографических, геологических и геоморфологических карт выявить основные формы рельефа на равнинных участках и примыкающих к ним предгорий.

2. Провести дешифрирование спутниковых снимков высокого разрешения для выявления различных криогенных процессов в пределах выделенных форм рельефа.

3. Определить опасность криогенных процессов и степень их негативного влияния на объекты хозяйственной деятельности при освоении территории Нижнего Приамурья.

Методология и методы. На первом этапе проведено исследование распространения, характера и типов многолетнемёрзлых

пород (далее – ММП) Нижнего Приамурья по данным актуализированных научных сведений [4; 7; 16]. На основе анализа имеющихся карт и космических снимков ESRI ArcGis Imagery выделены основные формы макро-, мезо- и микрорельефа и связанные с ними криогенные процессы. Проведены полевые работы на некоторых участках исследуемой территории, в частности на побережье Татарского пролива, южного побережья Охотского моря, в бассейнах р. Тугур и Амгунь. Составление оценки степени благоприятности мерзлотно-геоэкологических условий для хозяйственного освоения выполнено на основе приуроченности опасных криогенных процессов к формам и элементам рельефа и определения степени возможного негативного воздействия на объекты хозяйственной инфраструктуры.

Разработанность темы. Исследования факторов ограничения освоения территорий на примере опасных мерзлотных процессов и явлений, закономерностей их проявлений и динамики процессов в настоящее время достаточно подробно проводятся в северных геокриологических областях нашей страны. Достаточно полная теоретическая база изучения опасных криогенных процессов представлена в исследованиях В. А. Кудрявцева, Б. Н. Достовалова, Н. А. Цитович, Э. Д. Ершова, С. С. Воскресенского и др.

Некоторые сведения о мерзлотных процессах и явлениях на территории Нижнего Приамурья получены В. К. Шевченко, С. А. Замолотчиковой, Т. А. Куриновой, И. В. Поздняковой и др. [4; 7]. Комплексная оценка воздействия опасных мерзлотных процессов на объекты инфраструктуры выполнена Н. В. Тумель и Л. И. Зотовой, а степень деградации мерзлоты и её влияние на объекты инфраструктуры изучены О. А. Анисимовым и др. Однако современные природно-климатические изменения окружающей среды, в том числе вызванные деятельностью человека, способны существенным и даже непредсказуемым об-

разом оказывать негативное воздействие на объекты хозяйственной деятельности на периферии криолитозоны.

Расположение Нижнего Приамурья в приграничной зоне распространения многолетне-мёрзлых грунтов на современном этапе глобального повышения температур способствует активизации многих криогенных процессов и явлений как ограничивающего фактора хозяйственного освоения. Использование закономерностей проявления опасных криогенных процессов в определённых геоморфологических условиях позволит на этапе планирования хозяйственной деятельности прогнозировать риски освоения на конкретных участках и выработать оптимальные условия их хозяйственного использования.

Результаты. Современные границы ММП на территории Нижнего Приамурья уточнены по данным «модели состояния равновесия температуры верхней части вечной мерзлоты» или модели ТТОР [16], а также по данным, полученным в составе работ по геологическому доизучению региона¹. При современной оценке и уточнении распространения мерзлотных процессов наиболее важным методом является дешифрирование спутниковых снимков высокого разрешения ESRI ArcGis Imagery, при анализе которых на участках заболоченных равнин и надпойменных террас явно проявляются такие криогенные процессы, как термокарст, бугры пучения и рельеф морозобойного растрескивания [1; 2].

Одним из важных факторов проявления опасных мерзлотных процессов является геоморфологический фактор в комплексе с данными о грунтово-геологических условиях. На основе их анализа на равнинных территориях Нижнего Приамурья выделяются 7 природных территорий специфического хозяйственного освоения с закономерно проявляющимися в их пределах опасными мерзлотными процессами (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Опасные мерзлотные процессы на участках освоения природных территорий / Dangerous permafrost processes in areas of natural development

№ п/п	Наименование природных территорий специфического хозяйственного освоения / Name of natural territories of specific economic development	Опасные мерзлотные процессы / Dangerous permafrost processes
1	Днища долин малых водотоков / Valley bottoms of small streams	Термокарст, пучение грунтов в днищах долин, наледи подземных вод / Thermokarst, heaving of soils in valley bottoms, groundwater icing

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского. Информационные ресурсы. – URL: https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/catalog_ggk/index.php (дата обращения: 08.01.2025). – Текст: электронный.

Окончание таблицы 1 / The end of the table 1

№ п/п	Наименование природных территорий специфического хозяйственного освоения / Name of natural territories of specific economic development	Опасные мерзлотные процессы / Dangerous permafrost processes
2	Поймы крупных рек и их притоков / Floodplains of large rivers and their tributaries	Наледи в местах выходов подземных вод, речные наледи. Термозрозия берегов. Пучение грунтов / Ice in places where underground waters come out, river ice. Thermal erosion of banks. Soil heaving
3	Террасы крупных рек, малые приморские равнины / Terraces of large rivers, small coastal plains	Формирование гряд и бугров пучения, термокарстовых озёр и торфонакопление. Морозобойное растрескивание. Полигонально-валиковый рельеф / Formation of frost heave ridges and mounds, thermokarst lakes and peat accumulation. Frost cracking. Polygonal-roller relief
4	Заболоченные низменные части равнин / Swampy lowland parts of the plains	Заболачивание, торфонакопление. Формирование полигонального рельефа сезонно-талого слоя, бугров пучения и термокарста / Swamping, peat accumulation. Formation of polygonal relief of the seasonally thawed layer, frost heave mounds and thermokarst.
5	Возвышенные участки равнин и террас / Elevated areas of plains and terraces	Слабое развитие термокарстовых процессов, пучения. Наличие реликтовых мёрзлых пород на глубине / Weak development of thermokarst processes, heaving. Presence of relict frozen rocks at depth
6	Пологие склоны подножий гор / Gentle slopes of the foothills of the mountains	Медленная солифлюкция / Slow solifluction
7	Склоны средней крутизны / Slopes of medium steepness	Быстрая солифлюкция, формирование слабоподвижных курумов. Конжелифлюкция, образование деллей / Rapid solifluction formation of weakly mobile kurums. Congelifluction, formation of delles

Как следует из табл. 1, основные формы рельефа со специфическими опасными криогенными процессами представлены как крупными макроформами в виде заболоченных низменных частей равнин и долин крупных рек, так и мезо-, микроформами рельефа более низкого порядка, представленными поймами крупных рек, днищами долин малых водотоков, надпойменными террасами. Периферийная часть равнинных участков представлена пологими склонами и склонами средней крутизны в низогорном обрамлении низменностей.

Опасные мерзлотные процессы и ММП на равнинных территориях Нижнего Приамурья имеют определённые закономерности. Для днищ долин малых водотоков мерзлота приурочена к песчано-супесчаным грунтам с включением линз торфа и древесных остатков, причём наибольшая сплошность ММП отмечается вблизи русел [7]. Для пойм крупных рек, напротив, наблюдается увеличение сплошности ММП по направлению от русла к надпойменным террасам [Там же], соответственно, степень проявления опасных криогенных процессов усиливается в том же направлении.

На террасах крупных рек, малых приморских равнинах и заболоченных надпойменных террасах широкое проявление имеют термокарстовые процессы в виде криогенных и посткриогенных термокарстовых озёр [2], мерзлотное пучение грунтов с формировани-

ем миграционных [1] и инъекционных бугров пучения и морозобойного растрескивания в виде участков полигонально-валикового рельефа.

При слабой изученности склоновых криогенных процессов их наличие неоднократно отмечалось на территории Нижнего Приамурья [4; 7]. Смещение грунтов на участках проявления мерзлоты проявляется в виде медленной солифлюкции на пологих склонах и быстрой солифлюкции на склонах средней крутизны. Конжелифлюкция в Нижнем Приамурье не отмечалась, но исходя из природных условий может проявляться на склонах средней крутизны на участках быстрого оттаивания грунтов. Слабоподвижные курумы, дешифрируемые на космических снимках, также развиты на склонах средней крутизны и имеют тенденцию к увеличению площадей при современном потеплении климата и частых пожарах [9].

При оценке степени благоприятности мерзлотно-геоэкологических условий освоения Нижнего Приамурья как фактора ограничения определяющими признаками воздействия будут являться как масштаб распространения, так и тип мерзлотного процесса, оказывающего негативное влияние на сооружения.

Среди основных участков по степени благоприятности освоения территории выделено 5 типов мерзлотно-геоэкологических участков (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Мерзлотно-геоэкологические участки по степени благоприятности хозяйственного освоения /
Permafrost-geoecological areas according to the degree of favourability for economic development

№ п/п	Мерзлотно-геоэкологические участки по степени благоприятности хозяйственного освоения / Permafrost-geoecological areas according to the degree of favourability for economic development	Природные территории специфического хозяйственного освоения / Natural areas of specific economic development	Опасные мерзлотные процессы / Dangerous permafrost processes	Основные факторы дифференциации природных территорий по мерзлотно-геоэкологическим условиям / The main factors of differentiation of natural territories according to permafrost-geoecological conditions
1	Благоприятные / Favourable	Возвышенные участ- ки равнин и террас / Elevated areas of plains and terraces	Слабое развитие термокарстовых процессов, пучения. Наличие реликтовых мерзлых пород на глу- бине / Weak development of thermo- karst processes, heaving. Presence of relict frozen rocks at depth	Очень слабое проявление мерзлотных процессов и связанных с ними явлений. Основной фактор – сезонное промерзание грунтов и единичные проявле- ния пучения и термокарста в благоприятных грунтовых условиях / Very weak manifestation of permafrost processes and related phenomena. The main factor is seasonal freezing of soils and isolated manifestations of heaving and thermokarst in favorable soil conditions
2	Относительно благоприятные / Relatively favourable	Поймы крупных рек и их притоков / Floodplains of large rivers and their tribu- taries Днища долин малых водотоков / Valley bottoms of small streams	Напеди в местах выходов подзем- ных вод, речные напеди. Термо- эрозия берегов. Пучение грунтов / Ice in places where underground waters come out, river ice. Thermal erosion of banks. Soil heaving Термокарст, пучение грунтов в дни- щах долин, напеди подземных вод / Thermokarst, heaving of soils in valley bottoms, groundwater icing	Мерзлотные процессы развиты локально, на небольших площадях в благопри- ятных грунтовых условиях. Увеличение сплошности ММП и опасных криоген- ных процессов: – вблизи русел у днщ долин малых водотоков; – от русла к надпойменной террасе в поймах крупных рек. Возможность борь- бы с напедями разными методами / Permafrost processes are developed locally, in small areas in favorable soil conditions. Increased continuity of permafrost and dangerous cryogenic processes: – near channels at the bottoms of valleys of small watercourses; – from the channel to the above-floodplain terrace in the floodplains of large rivers. Possibility of combating ice by different methods
3	Удовлетворительные / Satisfactory	Пологие склоны под- ножий гор / Gentle slopes of the foothills of the mountains	Медленная солифлюкция / Slow solifluction	Мерзлотные породы распространены в благоприятных грунтовых условиях на больших площадях в подножье пологих склонов. Возможность использования инженерно-технических методов борьбы / Permafrost rocks are common in favor- able soil conditions over large areas at the foot of gentle slopes. The possibility of using engineering and technical methods of combating

Окончание таблицы 2 / The end of the table 2

№ п/п	Мерзотно-геоэкологические участки по степени благоприятности / Permafrost-geoeological areas according to the degree of favourability for economic development	Природные территории специфического хозяйственного освоения / Natural areas of specific economic development	Опасные мерзлотные процессы / Dangerous permafrost processes	Основные факторы дифференциации природных территорий по мерзотно-геоэкологическим условиям / The main factors of differentiation of natural territories according to permafrost-geoeological conditions
4	Относительно неблагоприятные / Relatively unfavourable	Склоны средней крутизны / Slopes of medium steepness	Быстрая солифлюкция, формирование слабоподвижных курумов. Конжелифлюкция, образование деплей / Rapid solifluction, formation of weakly mobile kurums. Congellifluction, formation of delles	Мерзлотные процессы развиты в сложных геоморфологических условиях, большие площади распространения мерзлотных форм рельефа, особенно на склонах северной и восточной экспозиции. Частичная возможность минимизации влияния опасных криогенных процессов на сооружении инфраструктуры. В числе методов минимизации – обход участков опасных процессов / Permafrost processes are developed in complex geomorphological conditions, large areas of distribution of permafrost relief forms, especially on the slopes of the northern and eastern exposure. Partial possibility of minimizing the impact of dangerous cryogenic processes on infrastructure structures. Among the methods of minimization is bypassing areas of dangerous processes
5	Неблагоприятные / Unfavourable	Террасы крупных рек, малые приморские равнины / Terraces of large rivers, small coastal plains Заболоченные низменные части равнин / Swampy lowland parts of the plains	Формирование гряд и бугров пучения, термокарстовых озёр и торфонакопления. Морозобойное растрескивание. Полигонально-валиковый рельеф / Ridges and mounds of frost heave, thermokarst lakes and peat accumulation. Frost cracking. Polygonal-roller relief Заболачивание, торфонакопление. Формирование полигонального рельефа сезонно-талого слоя, бугров пучения и термокарста / Swamping, peat accumulation. Formation of polygonal relief of the seasonally thawed layer, frost heave mounds and thermokarst	Широкое распространение мерзлотных форм рельефа (термокарста, пучения грунтов, рельефа морозобойного растрескивания). Широкие трудности в освоении территорий. Необходимость строительства сооружений с соблюдением требований строительства на ММП и специфических грунтах / Widespread occurrence of permafrost relief forms (thermokarst, soil heaving, frost cracking relief). Widespread difficulties in developing territories. Necessity to construct structures in compliance with construction requirements on permafrost and specific soils

Для благоприятных участков мерзлотно-геоэкологических условий характерны редкая встречаемость ММП, слабое распространение опасных криогенных процессов и явлений в виде термокарста и пучения грунтов в благоприятных геологических условиях, зафиксированных исследованиями на восточном участке железнодорожной линии БАМ¹ как в приграничном районе с регионом исследований. Основной фактор дифференциации связан с проявлением сезонного промерзания грунтов.

Относительно благоприятные с точки зрения хозяйственного освоения территории приурочены к поймам крупных рек и их притоков, днищам долин малых водотоков, где опасные криогенные процессы распространены в благоприятных грунтовых условиях песчано-супесчаного состава [7], а при освоении территории существует возможность обхода таких участков. Для наледей эффективные методы борьбы заключаются в использовании ограждающих противоледных конструкций, дренажных устройств для понижения уровня грунтовых вод, а также увеличения отверстия моста для свободного пропуска наледей и воды [6].

Удовлетворительные мерзлотно-геоэкологические условия распространены на участках пологих склонов подножий гор, где основное распространение получили процессы медленной солифлюкции. Карты четвертичных отложений нижеамурской низменности при составлении ГГК М 1:200 000² показывают, что благоприятных в грунтово-геологическом отношении участков возможного проявления медленной солифлюкции на пологих склонах гор Нижнего Приамурья достаточно много. Однако, учитывая существующие методы борьбы, представленные водно-тепловой мелиорацией в виде дренажа выше по склону, закрепления склона растительностью, использования заградительных сооружений, локальной планировки и вылаживания склона, использование таких участков возможно в широких пределах с достоверной оценкой степени риска процесса и определения оптимального метода инженерно-технической борьбы.

¹ АО «Росжелдорпроект». Технический отчёт по результатам инженерно-геологических изысканий для подготовки проектной документации по объекту «Разъезд на перегоне Баджал – Джамку Дальневосточной железной дороги». Инв. № 947-ИГИ, 2020 г.

² Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского. Информационные ресурсы. – URL: https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/catalog_ggk/index.php (дата обращения: 08.01.2025). – Текст: электронный.

Относительно неблагоприятные условия хозяйственного освоения представлены участками склонов средней крутизны, где одним из процессов является быстрая солифлюкция в виде сплывов в слоях сезонного оттаивания и промерзания за счёт переувлажнения на склонах с пылеватými супесчаными и суглинистыми отложениями. Возможно проявление конжелифлюкционного процесса, не выявленного при геологических исследованиях на территории Нижнего Приамурья, поэтому оценить степень их распространения не представляется возможным без дополнительных исследований. Однако при конкретном хозяйственном освоении необходимо учитывать факторы возможного образования конжелифлюкционных склонов.

Одним из опасных криогенных процессов является курумообразование, представленное «каменными россыпями» и «каменными реками». Учитывая сложность борьбы и слабую теоретическую базу методов борьбы с ними, самыми оптимальными решениями при освоении природных территорий будут являться обходы опасных участков.

Неблагоприятные мерзлотно-геоэкологические участки широко распространены в пределах террас крупных рек и заболоченных низменных частях озёрных и озёрно-аллювиальных равнин. Среди опасных криогенных процессов основное распространение получили термокарст, мерзлотное пучение и морозобойное растрескивание. Такие процессы и формы рельефа, ими образованные, представляют серьёзную проблему, а в ряде случаев и опасность при строительстве и эксплуатации инженерно-технических сооружений, соответственно, они не рекомендуются для использования при хозяйственном освоении. Однако в случае освоения таких участков необходимо применять сложные и дорогостоящие инженерно-технические методы борьбы, которые будут заключаться для мерзлотного пучения в использовании противопучинных мероприятий и замене переувлажнённых грунтов сезоннооттаивающего слоя и льдонасыщенных подстилающих грунтов.

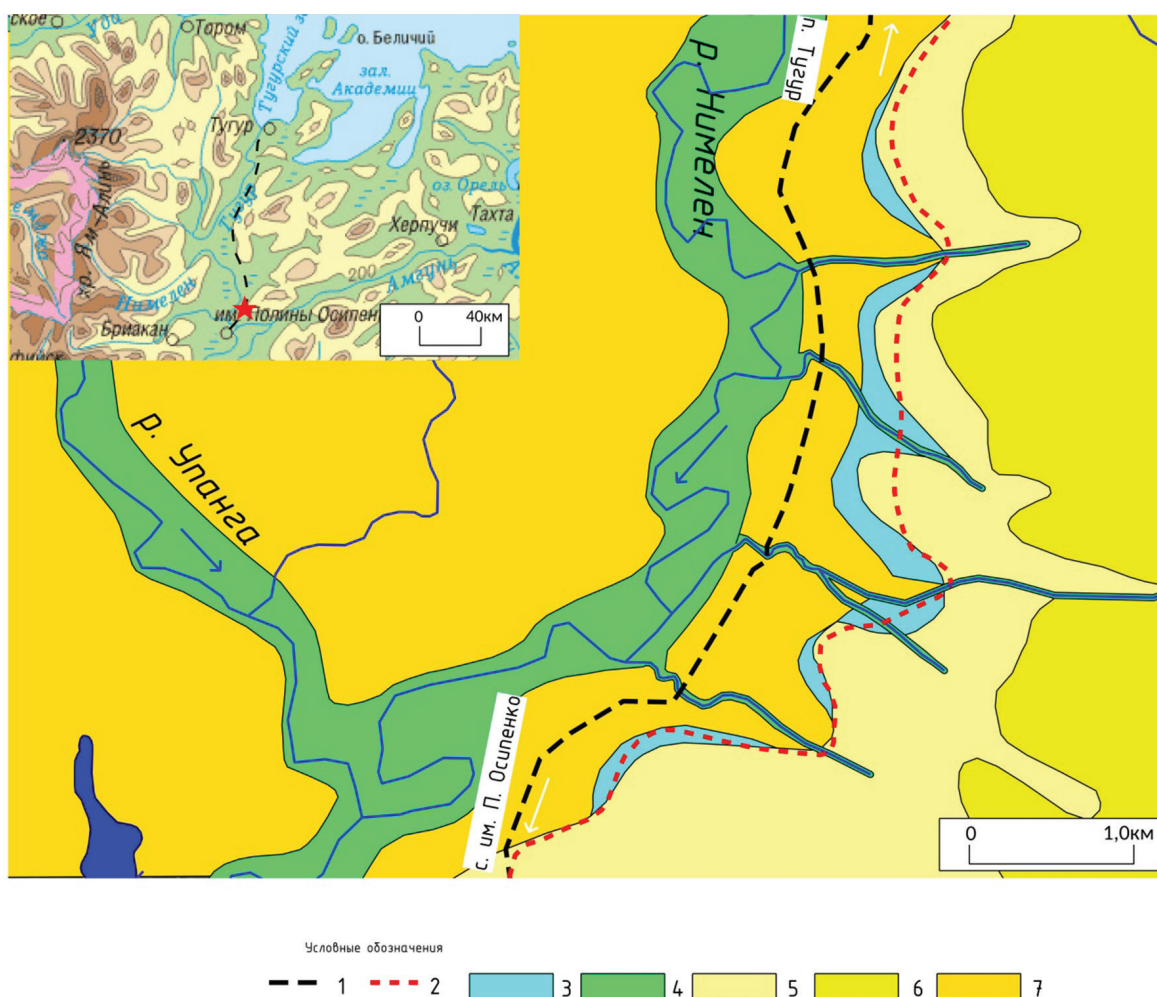
Участки проявления термокарста следует обходить либо осуществлять прокладку дорог по днищам спущенных термокарстовых озёр при значительно меньшей высоте насыпи, т. к. подземные льды на таких участках уничтожены термокарстом, а грунт хорошо уплотнён в подозерном талике. Для криогенного растрескивания мероприятия борьбы будут сводиться лишь к снежной мелиорации и учёту скалывающих и растягивающих напряже-

ний, возникающих в промерзающих породах, в конструкции сооружений и обходе рельефа с распространением повторно-жильных льдов.

Для оценки степени благоприятности мерзлотно-геоэкологических условий освоения Нижнего Приамурья как фактора ограничения и благоприятного варианта размещения трассы круглогодичной автомобильной дороги исследован участок междуречья р. Нимелен – Упанга в районе трассы автозимника «им. П. Осипенко – Тугур» (рисунок).

На карте-схеме мерзлотно-геоэкологических условий междуречья р. Нимелен –

Упанга трасса существующего автозимника проходит по территории левобережной террасы долины р. Нимелен в неблагоприятных мерзлотно-геоэкологических условиях. В случае строительства круглогодичной автомобильной дороги «им. П. Осипенко – Тугур» оптимальный благоприятный участок трассы целесообразно использовать восточнее относительно существующего автозимника, т. к. он расположен в более благоприятных мерзлотно-геоэкологических условиях, проходя по возвышенным частям террас и пологим склонам подножий гор.



Карта-схема мерзлотно-геоэкологических условий междуречья р. Нимелен и Упанга по трассе существующего автозимника «им. П. Осипенко – Тугур» и благоприятный участок трассы автомобильной дороги «им. П. Осипенко – Тугур» / Map-scheme of permafrost-geoecological conditions of the interfluve of the Nimelen and Upanga rivers along the route of the existing winter road “P. Osipenko – Tugur” and a favourable section of the route of the highway “P. Osipenko – Tugur”

Условные обозначения: 1 – трасса существующего автозимника «им. П. Осипенко – Тугур»; 2 – благоприятная оценочная трасса автомобильной дороги «им. П. Осипенко – Тугур»; мерзлотно-геоэкологические участки: 3 – благоприятные; 4 – относительно благоприятные; 5 – удовлетворительные; 6 – относительно неблагоприятные; 7 – неблагоприятные / Legend: 1 – trace of the existing winter road named after P. Osipenko – Tugur»; 2 – favourable assessment route “named after P. Osipenko – Tugur”; permafrost-geoecological areas: 3 – favourable; 4 – relatively favourable; 5 – satisfactory; 6 – relatively conservative; 7 – dependent

Для исключения воздействия опасных мерзлотных процессов в неблагоприятной мерзлотно-геоэкологической зоне при проектировании круглогодичной автомобильной дороги «им. П. Осипенко – Тугур» в междуречье р. Нимелен – Упанга целесообразно использовать участок благоприятных и удовлетворительных мерзлотно-геоэкологических условий.

Выводы. Оценка мерзлоты как фактора ограничения освоения Нижнего Приамурья на основе выявления опасных криогенных процессов на определённых формах рельефа показывает важность исследований современного состояния криолитозоны региона, воздействия опасных мерзлотных процессов на объекты инфраструктуры, а также типизации региона по мерзлотно-геоэкологическим условиям. Многолетняя мерзлота как ограничивающий фактор освоения природных территорий Нижнего Приамурья оказывает большое негативное воздействие, прежде всего, на инфраструктуру хозяйственной деятельности – производственные и жилые объекты, дороги и линии связи.

По степени благоприятности мерзлотно-геоэкологических условий выделено 5 типов мерзлотно-геоэкологических участков, характеризующихся благоприятными, относительно благоприятными, удовлетворительными, относительно неблагоприятными и неблагоприятными условиями. При этом основным фактором распространения опасных криогенных процессов является геоморфологическое положение, т. е. доминирование распространения основных мерзлотных процессов на участках макро-, мезо- и микрорельефа с учётом литологических условий грунтов.

Практическое применение оценки степени благоприятности мерзлотно-геоэкологических условий выполнено на примере анализа трассы существующего автозимника «им. П. Осипенко – Тугур» в междуречье р. Нимелен – Упанга, где практически весь участок проходит в неблагоприятных мерзлотно-геоэкологических условиях. Для строительства круглогодичного автодорожного сообщения предложено использовать пологие подножья гор и возвышенных участков, к ним примыкающих.

Список литературы

1. Брагин А. Н. Остатки реликтовой мерзлоты на побережье Татарского пролива // География и природные ресурсы. 2021. Т. 42, № 1. С. 134–140.
2. Брагин А. Н. Термокарстовый рельеф равнин нижнего Приамурья и его влияние на хозяйственную деятельность // География и природные ресурсы. 2024. Т. 45, № 4. С. 150–157.
3. Гребенец В. И., Юров Ф. Д., Кизяков А. И., Зотова Л. И., Маслаков А. А., Толманов В. А., Стрелецкая И. Д. Оценка воздействия опасных криогенных процессов на инженерные объекты в Арктике // Вестник Российского фонда фундаментальных исследований. 2022. № 3-4. С. 87–102. DOI: 10.22204/2410-4639-2022-115-116-03-04-87-102. EDN KXWDWP
4. Ершов Э. Д., Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток. М.: Недра, 1989. 514 с.
5. Манкеев И. Э. Современное состояние многолетней мерзлоты в Амурской области // География и геоэкология на службе науки и инновационного образования: материалы XVII Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию кафедры географии и методики обучения географии и 90-летию факультета биологии, географии и химии. Красноярск: Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева, 2022. С. 163–165. EDN: IVAIBP
6. Меренцова Г. С., Медведев Н. В. Образование наледей и борьба с ними на автомобильных дорогах и искусственных сооружениях // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2017. Т. 3, № 3. С. 64–71. EDN: ZVIEFL
7. Поздняков И. В. Мёрзлые породы Северного Приамурья. Якутск: ИМЗ СО РАН, 1996. 175 с.
8. Самохвалов Н. Д., Борисик А. Л., Стрелецкая И. Д., Тетерин А. В. Современное состояние многолетнемерзлых пород Прибайкалья и Забайкалья по данным геофизических исследований // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2024. № 11. С. 571–580. DOI: 10.24412/2687-1092-2024-11-571-580
9. Скрыльник Г. П. Влияние лесных пожаров на развитие геосистем плакоров юга Средней Сибири и гор Дальнего Востока // Успехи современного естествознания. 2018. № 5. С. 131–141.
10. Сысолятин Р. Г., Железняк М. Н. Геокриологические условия Токарикского и Гувилгринского грабенов (Южная Якутия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023. Т. 28, № 2. С. 261–274.
11. Тимошук Е. С., Фролов Ф. С. Проблемы строительства железной дороги в условиях вечной мерзлоты и пути их решения // Специальная техника и технологии транспорта. 2022. № 14. С. 37–48. EDN: TIONKM
12. Шестернев Д. М. Геокриологические опасности в Якутии // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. Якутск: Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, 2018. С. 289–292. EDN: UPUKQM

13. Шполянская Н. А., Осадчая Г. Г., Малкова Г. В. Современное изменение климата и реакция крио-олитозоны (на примере Западной Сибири и европейского севера России) // Географическая среда и живые системы. 2022. № 1. С. 6–30. DOI: 10.18384/2712-7621-2022-1-6-30. EDN: WPCGXO
14. Etzelmüller B, Guglielmin M, Hauck C, Hilbich C, Hoelzle M, Isaksen K, Noetzli J, Oliva M, Ramos M. Twenty years of permafrost dynamics in the European mountains – the legacy of PACE // Environ Res Lett. 2020. No. 15. P. 104070.
15. Hu G, Zhao L, Wu T, Wu X, Park H., Fedorov A/, Wei Yu, Li R, Zhu X, Sun Z, Ni J, Zou D. Spatio-temporal variations and regional differences in air temperature in permafrost areas in the Northern Hemisphere in 1980–2018 // Sci Total Environ. 2021. No. 791. P. 148358. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148358
16. Obu J., Westermann S., Bartsch A., Berdnikov N., Christiansen H. H., Dashtseren A., Delaloye R., Elberling B., Etzelmüller B., Kholodov A., Kääb A., Leibman M. O., Lewkowicz A. G., Panda S. K., Romanovsky V., Way R. G., Westergaard-Nielsen A., Wu T., Yamkhin J., Zou D. Permafrost map of the Northern Hemisphere based on TTOP modeling for 2000–2016 at a scale of 1 km2 // Earth-Sci Rev. 2019. Vol. 193. P. 299–316.

References

1. Bragin AN. Residual relict permafrost on the coast of the strait of Tartary. *Geography and Natural Resources*. 2021;42(1):134–140. (In Russian).
2. Bragin AN. Thermokarst relief of the flat areas in the lower Amur basin, and its influence on economic activity. *Geography and Natural Resources*. 2024;45(4):150–157. (In Russian).
3. Grebenets VI, Yurov FD, Kizyakov AI, Zotova LI, Maslakov AA, Tolmanov VA. (et al). Assessment of hazardous cryogenic processes impact on engineering facilities in the Arctic. *Russian Foundation for Basic Research Journal*. 2022;(3–4):87–102. (In Russian). DOI: 10.22204/2410-4639-2022-115-116-03-04-87-102
4. Ershov EhD. Geocryology of the USSR. Eastern Siberia and the Far East. Moscow: Nedra; 1989. 514 p. (In Russian).
5. Mankeev IE. Current state of permafrost in the Amur region. In: Geography and geoecology in the service of science and innovative education: Proceedings of the XVII All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 85th anniversary of the Geography and Methods of Teaching Geography Department and the 90th anniversary of the Biology, Geography and Chemistry Faculty. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Pedagogical University named after VP. Astafiev; 2022. Pp. 163–165.
6. Merentsova GS, Medvedev NV. The formation of icings and control on roads and artificial structures. *The Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2017;3(3):64–71. (In Russian).
7. Pozdnyakov IV. Frozen rocks of the Northern Amur region. Yakutsk: IMZ SB RAS; 1996. 175 p. (In Russian).
8. Samokhvalov ND, Borisik AL, Streletskaia ID, Teterin AV. Current state of permafrost conditions in Transbaikalia region based on geophysical data. *Relief and quaternary deposits of the Arctic, Subarctic and North-West Russia*. 2024;(11):571–580. (In Russian). DOI: 10.24412/2687-1092-2024-11-571-580
9. Skrylnik GP. The influence of the forest fires on development of geosystems of the flat interfluvies of the south of Middle Siberia and the mountains of the Far East. *Advances in Current Natural Sciences*. 2018;(5):131–141. (In Russian).
10. Sysolyatin RG, Zheleznyak MN. Geocryological conditions of the Tokarikan and Guvilgra grabens (South Yakutia). *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2023;28(2):261–74. (In Russian).
11. Timoshchuk ES, Frolov FS. Problems of railway construction in permafrost conditions and ways to solve them. *Special Equipment and Transport Technologies*. 2022;(14):37–48. (In Russian).
12. Shesternev DM. Geocryological hazards in Yakutia. Geology and mineral resources of the North-East of Russia: Materials of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference. Yakutsk: North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosova; 2018. Pp. 289–292. (In Russian).
13. Shpolyanskaya NA, Osadchay GG, Malkova GV. Modern climate change and permafrost reaction (on the example of Western Siberia and the European north of Russia). *Geographical Environment and Living Systems*. 2022 1;(1):6–30. (In Russian). DOI: 10.18384/2712-7621-2022-1-6-30
14. Etzelmüller B, Guglielmin M, Hauck C, Hilbich C, Hoelzle M, Isaksen K, et al. Twenty years of European mountain permafrost dynamics – the PACE legacy. *Environmental Research Letters*. 2020;15(10):104070.
15. Hu G, Zhao L, Wu T, Wu X, Park H, Fedorov A. (et al). Spatiotemporal variations and regional differences in air temperature in the permafrost regions in the Northern Hemisphere during 1980–2018. *The Science of the Total Environment*. 2021;791:148358. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148358
16. Obu J, Westermann S, Bartsch A, Berdnikov N, Christiansen HH, Dashtseren A. (et al). Permafrost map of the Northern Hemisphere based on TTOP modeling for 2000–2016 at a scale of 1 km2. *Earth-Sci Rev*. 2019;193:299–316.

Информация об авторах

Брагин Андрей Николаевич, младший научный сотрудник, Хабаровский Федеральный исследовательский центр Института водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской

академии наук – обособленное подразделение Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской Академии наук, г. Хабаровск, Россия; andrey.bragin.87@list.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0535-1120>. Область научных интересов: геоморфология и палеогеография, четвертичная геология, геокриология, ландшафтоведение, геоэкология, инженерная геология и экология.

Махинов Алексей Николаевич, д-р геогр. наук, главный научный сотрудник, заместитель директора по научной работе, Хабаровский Федеральный исследовательский центр Института водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской Академии наук, г. Хабаровск, Россия; amakhinov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4914-1408>. Область научных интересов: гидрология, геоморфология и эволюционная география, четвертичная геология, геоэкология, охрана окружающей среды, нокология.

Information about the authors

Bragin Andrey N., research assistant, Khabarovsk Federal Research Center of the Institute of Water and Environmental Problems of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences – separate division of the Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia; andrey.bragin.87@list.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0535-1120>. Research interests: geomorphology and paleogeography, quaternary geology, geocryology, landscape science, geoecology, engineering geology and ecology.

Makhinov Aleksey N., doctor of geographical sciences, chief researcher, deputy director for scientific work, Khabarovsk Federal Research Center of the Institute of Water and Environmental Problems of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences – separate division of the Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia; amakhinov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4914-1408>. Research interests: hydrology, geomorphology and evolutionary geography, quaternary geology, geoecology, environmental protection, noxology.

Вклад авторов в статью

Брагин А. Н. – разработка концепции статьи, методологии исследования, обзор отечественной и иностранной литературы, построение карты-схемы мерзлотно-геоэкологических условий, написание текста.

Махинов А. Н. – разработка концепции статьи, классификации основных природных территорий специфического хозяйственного освоения, выделенных по геоморфологическому принципу, и опасных мерзлотных процессов, приуроченных к ним.

The authors' contribution to the article

Bragin A. N. – development of the article's concept, research methodology, review of domestic and foreign literature, construction of a map-scheme of permafrost and geoecological conditions, writing the text.

Makhinov A. N. – development of the article's concept, classification of the main natural territories of specific economic development, identified by geomorphological principle and dangerous permafrost processes associated with them.

Поступила в редакцию 16.01.2025; одобрена после рецензирования 26.01.2025; принята к публикации 10.02.2025.

Received 2025, January 16; approved after review 2025, January 26; accepted for publication 2025, February 10.