

УДК: 528.8, 551.34

DOI: 10.47148/1609-364X-2021-3-21-29

Принципы составления и содержание геокриологической карты в районе проложения мостового перехода через р. Лена

© 2021 г. — А.А. Шестакова, Я.И. Торговкин

ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия; aashest@mail.ru, torgovkin@mpi.ysn.ru

Поступила 19.08.2021

Принята к печати 10.09.2021 г.

Ключевые слова: *геокриологическая карта, мерзлотный ландшафт, температура грунтов, мощность деятельного слоя, криогенные процессы, талик, мостовой переход.*

Аннотация: Для безопасного строительства и эксплуатации мостового перехода необходимо иметь четкое представление о ландшафтных, геокриологических и гидрогеологических особенностях территории. В связи с этим подготовлен обзор геокриологической изученности криолитозоны района мостового перехода; выполнен анализ опубликованной и фондовой литературы о геологическом строении и гидрогеологических условиях района исследований; изучены и проанализированы полевые, фондовые материалы и материалы инженерно-геологических изысканий; проведены контрольно-увязочные полевые маршруты и геотермические измерения в скважинах. Полученные в ходе проведения вышеперечисленных работ результаты послужили основой для составления мерзлотно-ландшафтной карты и далее геокриологической карты мостового перехода через р. Лена в районе г. Якутска масштаба 1 : 5 000. На геокриологической карте отображена пространственная неоднородность мерзлотно-ландшафтных условий рассматриваемой территории, обусловленная зональными (высотно-поясными), региональными и локальными факторами. Информационной базой геокриологических характеристик послужили данные инженерно-геологических изысканий.

Для цитирования: Шестакова А.А., Торговкин Я.И. Принципы составления и содержание геокриологической карты в районе проложения мостового перехода через р. Лена // Геоинформатика. – 2021. – № 3 – С. 21–29. DOI: 10.47148/1609-364X-2021-3-21-29.

The principles of compiling and the content of the Geocryological Map in the area of the bridge crossing over the Lena River

© 2021 — A.A. Shestakova, Y.I. Torgovkin

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

Received 19.08.2021

Accepted for publication 10.09.2021.

Key words: *Geocryological Map, permafrost landscape, soil temperature, depth of the active layer, cryogenic processes, talik, bridge crossing.*

Abstract: For the safe construction and operation of a bridge it is necessary to have a clear understanding of the landscape, geocryological and hydrogeological features of the territory. In this regard, a review of the geocryological study of the permafrost zone of the bridge crossing area has been prepared; the analysis of the published and archive literature on the geological structure and hydrogeological conditions of the area under study was carried out; field and fund data and data of engineering and geological surveys were studied and analyzed; control and linking field routes and geothermal measurements in wells were carried out. The results obtained in the course of this work served as the basis for the compilation of a permafrost landscape map and then a geocryological map of the bridge over the Lena river in the area of Yakutsk on a scale of 1 : 5 000. The geocryological map shows the spatial heterogeneity of the permafrost-landscape conditions of the territory under consideration due to zonal (altitudinal-belt), regional and local factors. The information base of geocryological characteristics was the data of engineering and geological surveys.

For citation: Shestakova A.A., Torgovkin Y.I. The principles of compiling and the content of the Geocryological Map in the area of the bridge crossing over the Lena River. *Geoinformatika*. 2021;(3):21–29. DOI: 10.47148/1609-364X-2021-3-21-29. In Russ.

Введение

Территория Республика Саха (Якутия) достаточно хорошо изучена в геокриологическом отношении. Мерзлотно-ландшафтное картографирование в Восточной Сибири имеет достаточно широкое представление [2, 11 и др.]. Была разработана методика мерзлотно-ландшафтного разномасштабного картографирования [12].

Геокриологические условия (температура грунтов, мощность деятельного слоя и распростране-

ние криогенных процессов) имеют важное значение для оценки состояния территорий с развитием вечной мерзлоты. Это необходимо для устойчивого социально-экономического развития, оценки экологического состояния территорий в условиях современных изменений климата и усиления антропогенного воздействия на природную среду.

В социальном плане проектируемый мостовой переход через р. Лена является объектом длительного освоения, выступает в качестве важнейшего

транспортного узла Средней Сибири, в котором федеральные автомобильные дороги южного и восточного направлений, а также железная дорога правобережья переходят на водные транспортные пути Арктической территории и на федеральную автомобильную дорогу западного направления.

Геокриологическая карта мостового перехода через р. Лена в районе г. Якутска масштаба 1:5000 была составлена по материалам, предоставленным АО «Институт Гипростроймост — Санкт Петербург», а также по данным, полученным сотрудниками Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН в ходе полевых работ.

При составлении геокриологической карты также были использованы материалы инженерно-геологических изысканий в районе проложения мостового перехода, проведенных ранее: результаты буровых и геофизических работ, аналитические результаты инженерно-геокриологических исследований, топографические основы и инженерно-геологические профили. Существенную помощь оказали материалы фондов Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, содержащие научные результаты исследований с 1980-х гг. до настоящего времени. Литературный и картографический материал, посвященный геокриологическим условиям рассматриваемой территории, также был использован с максимальной отдачей.

Материалы и методы

Все работы по составлению геокриологической карты можно разделить на два взаимосвязанных раздела: разработка специального содержания и картсоставительские работы.

Разработка специального содержания опирается на изучение межкомпонентных связей в природно-территориальных комплексах (ПТК) и заключается в том, что путем анализа и синтеза всех имеющихся материалов (опубликованных, фондовых, аэрокосмических и личных данных авторов) выявляется сущность мерзлотного ландшафта.

На картсоставительском этапе работ решена задача картографического отображения мерзлотных ландшафтов как сопряженных систем взаимосвязанных компонентов в своеобразную пространственную модель. Особая роль отводилась составительским работам — выбору способов изображения и оформления для обеспечения лучшей наглядности. Отметим, что температуры пород на карте даны качественным фоном — в цвете, а для изображения глубин сезонного протаивания и мерзлотно-геологических процессов и явлений использованы точки с данными СТС и значки (рис. 1). Линейными знаками обозначены полоса отвода насыпи и моста, геофизические профили и границы таликовых зон. Скважины, вскрывшие талики, с указанием интервалов водоносных горизонтов обозначены также точками. Цвета для отображения температур грунтов были выбраны таким образом, чтобы выделить ландшафты с наиболее низкими и высокими температурами. В этом плане существен-

ную помощь оказали цветовые градации, использованные авторами в ранее составленных аналогичных картах.

Методическая основа составления карты была выбрана таким образом, чтобы отобразить температуру горных пород и таликов, глубину сезонного протаивания-промерзания и криогенные процессы.

Криоиндикационные таблицы прикреплены к классификационным единицам составленной ранее цифровой ландшафтной карты рассматриваемой территории мостового перехода через р. Лена. Все 69 ПТК, отраженных на ландшафтной карте района мостового перехода, таким образом, были охарактеризованы с геокриологической точки зрения.

Технология составления тематических карт основана на использовании этих атрибутивных таблиц ArcGIS, которые являются частью цифровой карты [7]. Атрибутивные таблицы составляются на основе изучения связей между компонентами природной среды с помощью ландшафтно-индикационного метода. Для этого были составлены корреляционные таблицы типов местности с преобладающими криогенными процессами, температурой грунтов, мощностью деятельного слоя.

Составленная отдельно база основных мерзлотных характеристик типов местности была соединена с атрибутивной таблицей основного слоя «Типы местности» путем операции «Соединение» (рис. 2). Исходные данные, представленные в атрибутивной таблице, были сгруппированы и обобщены. Такой подход позволяет наиболее четко пространственно представлять данные о свойствах ландшафтов.

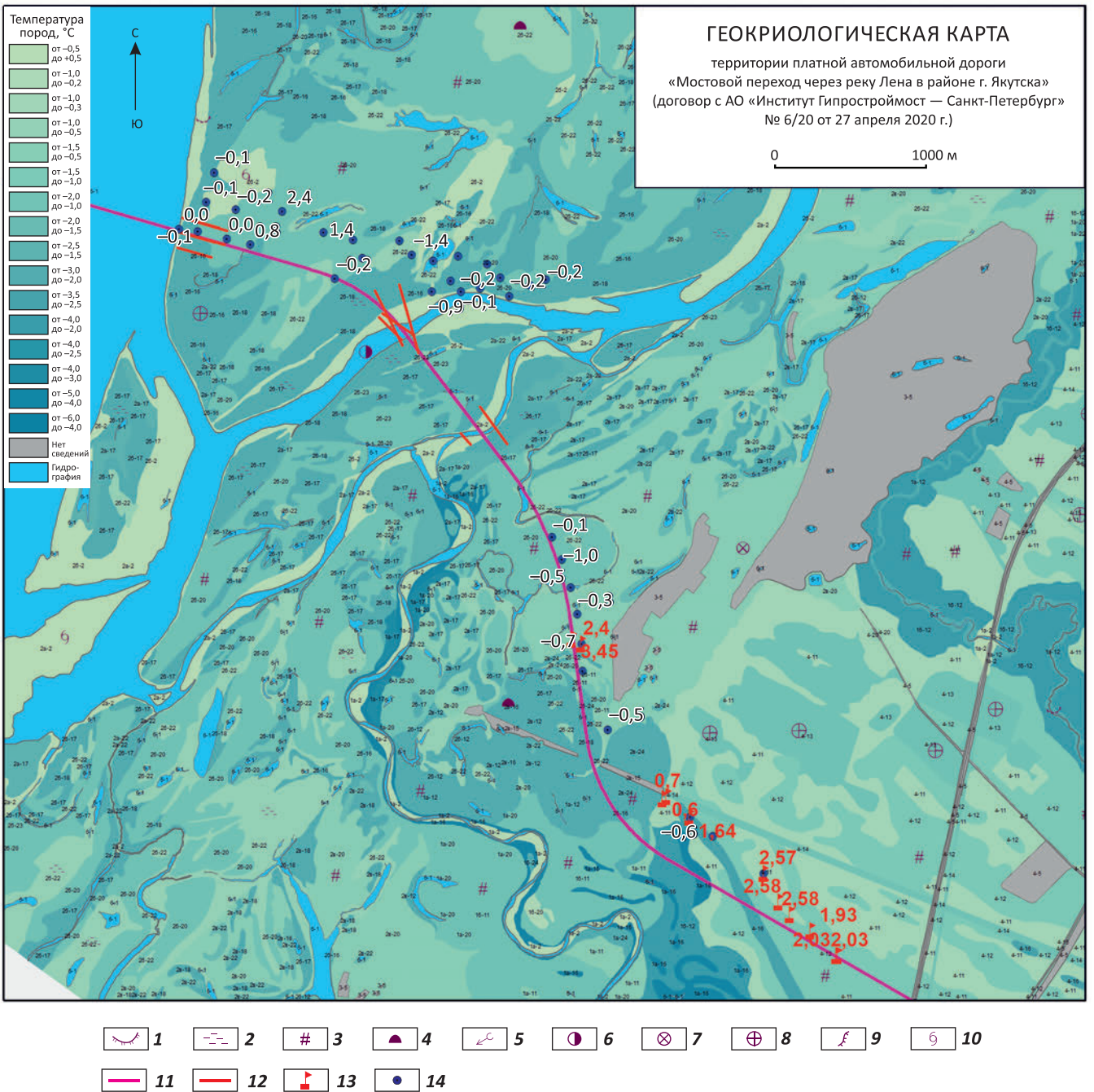
Применение атрибутивных таблиц ГИС, основанных на выявлении криоиндикационных свойств ландшафтов, показывает состояние ландшафтов, их внутреннюю структуру, позволяет быстро картографировать их и проводить мерзлотно-ландшафтный пространственно-временной анализ.

Унифицированная схема криоиндикационной таблицы позволяет быстро и квалифицированно определить геокриологические характеристики в каждом типе местности для рассматриваемой территории.

Распространение средних годовых температур многолетнемерзлых пород и таликов

Температура горных пород — наиболее важная характеристика для изучения не только современного состояния ландшафтов, но и их динамики. Изменение температуры грунтов приводит к активизации криогенных процессов, что является основным критерием устойчивости ландшафтов. Так, например, в последние три десятилетия повышение температуры грунтов на 1°С на безлесных ландшафтах Центральной Якутии привело к вытаяванию верхних оголовков повторно-жильных льдов, что вызвало массовое развитие термокарста [14]. Для территории России, занятой вечной мерзлотой, в период 1965–2005 гг. были характерны значения

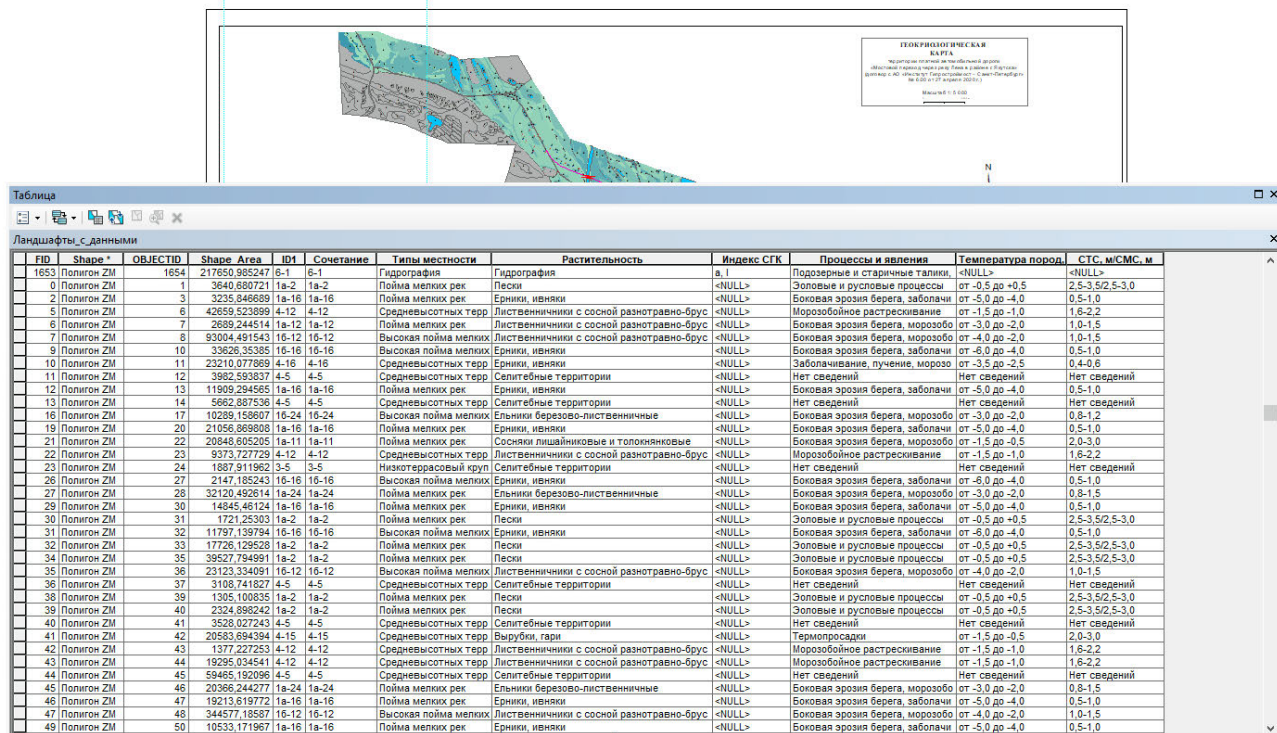
Рис. 1. Фрагмент геокриологической карты масштаба 1 : 5 000 территории мостового перехода через р. Лена в районе г. Якутска
 Fig. 1. Fragment of the Geocryological Map at a scale of 1 : 5,000 of the territory of the bridge over the Lena river near the Yakutsk city



Криогенные процессы (1–10): 1 — боковая эрозия берега, 2 — заболачивание, 3 — морозобойное растрескивание, 4 — пучение, 5 — солифлюкция, 6 — талики, 7 — термокарст, 8 — термопросадки, 9 — термоэрозия, 10 — эоловые и русловые процессы; 11 — полоса отвода насыпи и моста; 12 — геофизические профили; 13 — точки с данными СТС; 14 — скважины с данными температуры грунтов

Cryogenic processes (1–10): 1 — lateral shore erosion, 2 — waterlogging, 3 — frost cracking, 4 — heaving, 5 — solifluction, 6 — taliks, 7 — termokarst, 8 — thermal issues, 9 — thermal erosion, 10 — aeolian and channel processes; 11 — right of way of the embankment and the bridge; 12 — geophysical profiles; 13 — active layer data points; 14 — wells with soil temperatures

Рис. 2. Атрибутивная таблица геоэкологических условий территории мостового перехода через р. Лена в районе г. Якутска
 Fig. 2. Attributive table of geocryological conditions of the territory of the bridge crossing over the Lena river near the Yakutsk city



линейных трендов средней годовой температуры грунтов от 0,01 до 0,04 °C в год [8].

Ранее температура горных пород в ландшафтных картах давалась косвенно, посредством табличного материала. В современной геоэкологии температура горных пород картографируется в основном изотермами, что достаточно неудобно для ее пространственного анализа. Использование ГИС позволяет учитывать ландшафтную дифференциацию для более полного представления пространственного распределения температуры горных пород. Это особенно важно для зон прерывистого и островного распространения ММП.

На геоэкологической карте (рис. 1) изображено 16 интервалов значений температуры грунтов. После анализа полученных данных следует отметить, что пространственная дифференциация температуры горных пород достаточно разнообразна. Температурные данные были сгруппированы в 4 группы. Так, ландшафты с переходными температурами грунтов от 0,5 до -1 °C занимают 13,9% территории. Наиболее распространены высокотемпературные мерзлотные ландшафты (температура от -1 до -2 °C), которые занимают 19,4% территории. Среднетемпературные ландшафты (температура грунтов от -2 до -3 °C) составляют 16,5%, а низкотемпературные (температура грунтов ниже -3 °C) занимают 14,6% (рис. 3). Около 36% территории мостового перехода не содержит сведений о температуре грунтов.

Талики

На территории мостового перехода имеются подозерные и старичные талики, а также сквозные талики под руслом р. Лены. Они занимают 16% рассматриваемой территории (рис. 4).

Согласно фондовым материалам ИМЗ СО РАН, в низкотеррасовом типе местности многолетнемерзлые породы имеют преимущественно сплошное распространение, а под водоемами и переувлажненными межрядовыми понижениями встречаются надмерзлотные талики различной мощности. Под водоёмами (озерами) в зависимости от глубины и морфометрических характеристик встречаются несковные подозерные талики различной мощности.

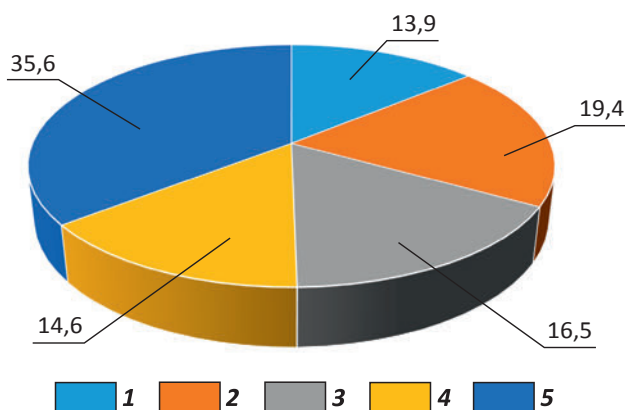
В преобладающем песчано-грядовом типе местности к югу от долины р. Тамма широко распространены сосняки толокнянковые и лишайниково-толокнянковые, развитые на золовых песках. Для этих ПТК отличительной особенностью является довольно широкое распространение водоносных надмерзлотных и межмерзлотных таликов, определяющих температурный режим грунтов.

Лука на днищах озерных котловин, по сравнению с заболоченными и залесенными участками, отличаются высокими температурами многолетнемерзлых пород и наличием межмерзлотных таликов.

В зависимости от морфометрических характеристик озер под ними распространены сквозные

Рис. 3. Пространственное распределение значений температуры грунтов

Fig. 3. Spatial distribution of soil temperature values



Температура грунтов (1–5): 1 — от 0,5 до -1°C, 2 — от -1 до -2°C, 3 — от -2 до -3°C, 4 — ниже -3°C, 5 — нет сведений

Ground temperature (1–5): 1 — from 0,5 to -1 °C, 2 — from -1 to -2°C, 3 — from -2 to -3°C, 4 — below -3°C, 5 — no data

и несквозные подошвенные талики с различной мощностью.

Общеизвестно, что сквозной талик под озером может образоваться, если ширина водоема в два раза превышает мощность многолетнемерзлых пород. Расчеты показывают, что под озерами имеющими такой же размер, как оз. Джаптада, и сходный термический режим донных отложений, могут быть сквозные талики [9].

Установлено, что под озерами суффозионного происхождения происходит их питание межмерзлотными водами [13].

Под руслами рек и старичными озерами встречаются подрусьевые и подошвенные талики с мощностью от первых метров до 20–30 м.

Анализ представленных материалов инженерно-геологических изысканий АО «Институт Гипростроймост — Санкт Петербург» показал, что в аллювиальных отложениях обнаружены надмерзлотные (интервал глубины залегания 2,6–8,0 м) и межмерзлотные (интервал глубины залегания 10,5–13,2 м) водоносные талики малой мощности.

Так, у левого берега реки (участок от 4,9 до 6,4 км — русло р. Лены) всеми скважинами вскрыт надмерзлотный водоносный талик с глубины 1,5–2,1 м. Мощность его 1–1,7 м.

Участок от 7,15 до 7,80 км (эстакадная опора) занимает среднюю и высокую пойму (абс. отм. 92,7–83,6 м). В средней пойме (7,52–7,80 км) с глубины 2,5–3,0 м широко распространены надмерзлотные талики. Температура талых грунтов в слое годовых теплооборотов от 0,0 до 1,4 °C.

В аллювиальных отложениях средней поймы (участок от 7,8 до 10,9 км (абс. отм. 90,9–92,7 м) широко распространены надмерзлотные водоносные талики. Они обнаружены почти на 50% площади между руслом р. Лены и Хаптагайской протокой и вскрыты вблизи стариц р. Тамма. Кровля надмерз-

лотных таликов залегает на глубине от 2 до 5,7 м, мощность изменяется от 2,5 до 8 и более метров.

Отдельными скважинами вскрыты талые водоносные перезимки в интервале глубин от 2,0–2,5 до 2,5–2,7 м. Температура грунтов в таликах на глубине 10 м варьирует в пределах 0,0–2,4 °C.

Участок от 11,38 до 11,74 км — средняя пойма (абс. отм. 92,1–92,3 м). В аллювиальных отложениях на участках старичных понижений распространены водоносные талики мощностью около 6 м (Скв-2/1015-40). Плановые границы таликов не выходят за пределы водной поверхности старичных озер и проток. Об этом свидетельствуют геотермические замеры в Скв-2/1016-40.

На карта-схеме распространения таликов (рис. 4) выделено 5 таликовых зон на территории мостового перехода через р. Лена: I зона — несквозные талики мощностью менее 10 м; II зона — несквозные талики мощностью более 10 м; III зона — талики несквозные, возможно, сквозные мощностью более 10 м; IV зона — несквозные талики мощностью более 10 м, а также с отдельными таликами мощностью до 20 м под руслами и протоками малых рек; V зона — талик сквозной под руслом р. Лены.

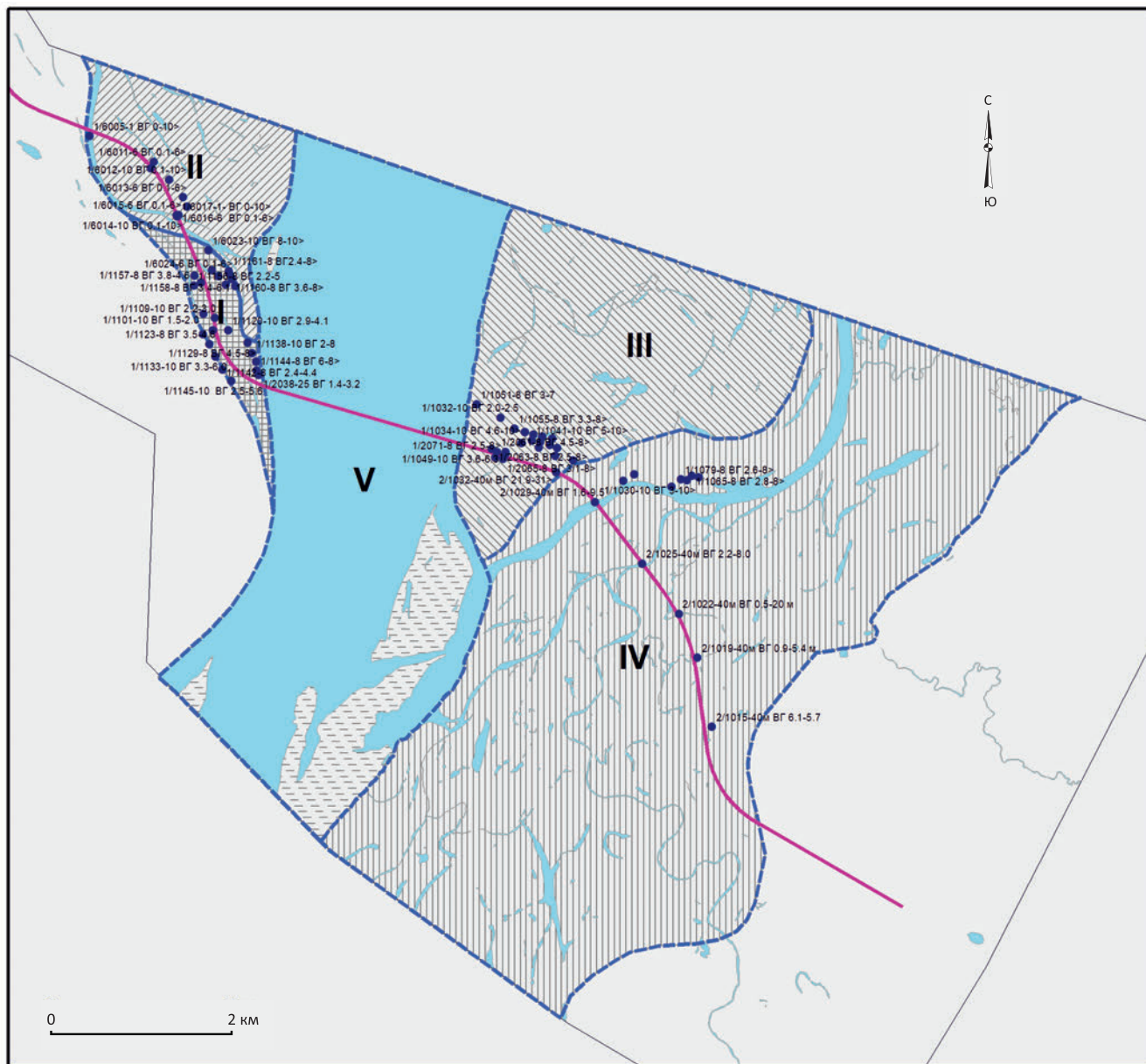
Мощность деятельного слоя

Мощность деятельного слоя состоит из сезонно-талого (СТС) и сезонно-мерзлого (СМС) слоев является одной из наиболее динамичных характеристик криолитозоны. Значения мощности деятельного слоя неразрывно связаны с изучением динамики ландшафтов в области вечной мерзлоты. Увеличение и уменьшение ее параметров может привести к большим изменениям в структуре ландшафтов. Запасы влаги, биопродуктивность ландшафтов, активизация криогенных процессов и другие особенности ландшафтов в первую очередь зависят от изменения мощности деятельного слоя.

Якутия входит в мировую систему мониторинга за динамикой мощности деятельного слоя CALM [15]. Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН в течение последних 50–60 лет проводит целенаправленные наблюдения за динамикой мощности деятельного слоя на территории Якутии [1, 4, 5, 6, 10 и др.]. Процессы увеличения мощности деятельного слоя, которые характерны для всей зоны вечной мерзлоты, прослеживаются и здесь. Однако наши исследователи отмечают, что в лесных ландшафтах Центральной Якутии мощность деятельного слоя достаточно стабильна и не увеличивается с 1980-х гг. [3]. Следует отметить, что такое положение, скорее всего, может быть связано с увеличением биомассы лесного покрова.

Мощность многолетнемерзлых пород (ММП) в окрестностях г. Якутска по данным исследований следующая: территория Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН — 310 м, с. Хатассы (свинокомплекс) — 285–305 м, п. Жатай — 422 м, п. Маган — 470 м, домостроительный комбинат (ДСК) — 320 м, п. Марха — 270 м, канадская деревня — 285 м.

Рис. 4. Атрибутивная таблица геокриологических условий территории мостового перехода через р. Лена в районе г. Якутска
 Fig. 4. Attributive table of geocryological conditions of the territory of the bridge crossing over the Lena river near the Yakutsk city



Талики (1–5): 1 — < 10 м несквозные, 2 — > 10 м несквозные, 3 — > 10 м несквозные, возможно сквозные, 4 — > 10 м с отдельными таликами до 20 м подруслами и протоками малых рек (несквозные), 5 — сквозной под руслом р. Лены; 6 — границы таликов; 7 — скважины, вскрывшие талики (номер скв. и интервал водоносного горизонта, м), 8 — полоса отвода насыпи и моста

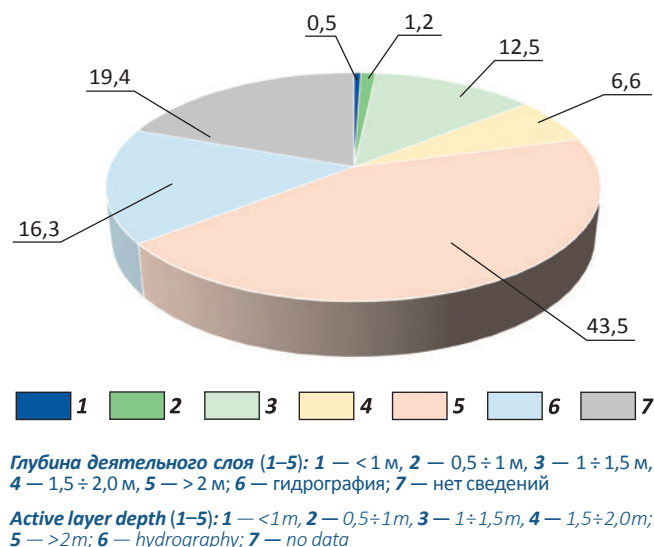
Taliks (1–5): 1 — <10 m not a through, 2 — >10 m not a through, 3 — >10 m not a through possibly through, 4 — >10 m with separate taliks with a capacity of 20m, 5 — through under the riverbed of the Lena River; 6 — talik borders; 7 — wells with taliks (well number and aquifer interval, m); 8 — right of way of the embankment and the bridge

Обработка значений мощности деятельного слоя с помощью атрибутивной таблицы позволила получить 15 единиц, которые представлены в 5 группах. Анализ полученных данных позволяет заключить следующее: на территории мостового перехода наиболее распространены ландшафты со значениями мощности деятельного слоя более 2м: они занимают 43,5% территории. Ландшафты

со значениями глубин СТС 0,5–1,0 м, 1,0–1,5 м, 1,5–2,0 м занимают 1,2%, 12,5% и 6,6% соответственно рассматриваемой территории. Незначительные территории (0,5%) занимают ландшафты со значениями мощности деятельного слоя менее 1 м. Территории, не имеющие сведений о значениях глубин СТС, составляют 19% (рис. 5).

Рис. 5. Пространственное распределение глубины деятельного слоя

Fig. 5. Spatial distribution of the active layer depth



Мерзотно-геологические процессы и явления

Интенсивность развития, распространенность и пораженность криогенными процессами является одним из основных показателей оценки состояния многолетнемерзлых пород. Исследователи всегда уделяли внимание изучению криогенных процессов. Любое освоение территорий сопровождается их детальным изучением. В связи с современным потеплением климата этой проблеме уделяется все большее внимание. Строительство железных и автомобильных дорог, нефте- и газопроводов, создание сельскохозяйственных угодий, строительство инженерных сооружений не проводится без изучения потенциально возможных криогенных процессов.

Криогенные процессы тесно взаимосвязаны с льдистостью отложений, так же, как и с поверхностными отложениями. Слабая льдистость отложений большинства ландшафтов рассматриваемого

района предполагает ограниченное развитие криогенных процессов.

На пойме и высокой пойме мелких рек развиваются боковая эрозия берега, морозобойное растрескивание наряду с эоловыми и русловыми процессами и заболачиванием. На низкой, средней, высокой поймах крупных рек и низкотеррасовом типе местности также наблюдается боковая эрозия берега, морозобойное растрескивание и отчасти пучение, и термокарст в виде полигональных просядок. На пашнях, просеках, вырубках и гарях, находящихся на средневысотных террасах и древнетеррасовом типе местности, развиты термопросадки на переувлажненных участках. На сырых осоково-вейниковых лугах происходит процесс заболачивания. Достаточно опасен также склоновый на коренных берегах тип местности, где получили развитие термоэрозия, морозобойное растрескивание, солифлюкция на средней и нижней части склона. На юго-западе территории мостового перехода наблюдается активное морозобойное трещинообразование.

Заключение

Работы по составлению ландшафтной карты, а на ее основе геоэкологической карты мостового перехода через р. Лена масштаба 1:5000 позволили систематизировать мерзотно-ландшафтную обстановку в виде единой универсальной модели, – по существу, информационной основы для многоаспектного использования в целях разработки проектных решений, прогноза изменений мерзлотных условий в период строительства и эксплуатации данного объекта, а также оптимизации природопользования и охраны природы.

В дальнейшем закономерности, выявленные при проведении количественного анализа пространственного распределения характеристик мерзлотных ландшафтов, следует использовать при проектировании мостового перехода через р. Лена в районе г. Якутска.

Литература

1. Арз А.Л., Демченко Р.Я. Некоторые результаты многолетних наблюдений за протаиванием грунта в окрестностях Якутска // Экспериментальные исследования процессов теплообмена в мерзлых горных породах / Отв. ред. Н.С. Иванов и др. – М.: Наука, 1972. – С. 91–97.
2. Босиков Н.П., Васильев И.С., Федоров А.Н. Мерзлотные ландшафты зоны освоения Лено-Алданского междуречья. – Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 1985. – 124 с.
3. Варламов С.П., Скрябин П.Н., Скачков Ю.Б. Геотемпературный мониторинг грунтов долины Туймаада // Научное обеспечение решения ключевых проблем развития г. Якутска. Материалы совместной научной сессии Академии наук Республики Саха (Якутия) и Городского округа «Город Якутск» (Якутск, 22 декабря 2009 г.) / Гл. ред. И.И. Колодезников, Ю.В. Заболев. – Якутск: ООО «Компания Дани-АлмаС», 2010. – С. 97–102.
4. Васильев И.С. Закономерности сезонного протаивания грунтов в Восточной Якутии. – Новосибирск: Наука, 1982. – 133 с.
5. Васильев И.С. Пространственно-временные закономерности формирования деятельного слоя в ландшафтах Западной Якутии. – Новосибирск: Наука, 2005. – 228 с.

6. Гаврильев П.П., Угаров И.С., Ефремов П.В. Мерзлотно-экологический мониторинг сельскохозяйственных земель в Центральной Якутии // Криосфера Земли. – 1999. – Т. 3. – № 3. – С. 92–100.
7. ДеМерс М.Н. Географические информационные системы. Основы / Пер. с англ. В. Адрианова. – М. : Дата+, 1999. – 471 с.
8. Павлов А.В., Малкова Г.В. Мелкомасштабное картографирование трендов современных изменений температуры грунта на Севере России // Криосфера Земли. – 2009. – Т. 13. – № 4. – С. 32–39.
9. Скрыбин П.Н., Скачков Ю.Б., Варламов С.П. Особенности формирования температурного режима донных отложений мелководных озер Центральной Якутии // География и природные ресурсы. – 1992. – № 2. – С. 164–168.
10. Соловьев П.А. Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. – М. : Изд-во АН СССР, 1959. – 144 с.
11. Сташенко А.И. Изучение преобразований геокриологических условий при освоении лесных природных комплексов на юге Центральной Якутии // Криогенные физико-геологические процессы и методы изучения их развития / Отв. ред. С.Е. Гречищев. – М. : ВСЕГИНГЕО, 1987. – С. 93–100.
12. Федоров А.Н. Мерзлотные ландшафты Якутии: методика выделения и вопросы картографирования. – Якутск : ИМЗ СО РАН СССР, 1991. – 140 с.
13. Шепелев В.В., Ломовцева Н.С. Озера криолитозоны Бестяхской террасы р. Лены и их взаимосвязь с подземными водами // Тематические и региональные исследования мерзлых толщ Северной Евразии / Отв. ред. И.А. Некрасов. – Якутск : ИМЗ СО АН СССР, 1981. – С. 106–115.
14. Fedorov A.N., Ivanova R.N., Park H., Hiyama T., Iijima Y. Recent air temperature changes in the permafrost landscapes of northeastern Eurasia // Polar Science. – 2014. – Vol. 8. – Iss. 2. – pp. 114–128. DOI: 10.1016/j.polar.2014.02.001.
15. Nelson F.E., Shiklomanov N.I., Christiansen H.H., Hinkel K.M. The Circumpolar-Active-Layer-Monitoring (CALM) Workshop: introduction // Permafrost and Periglacial Processes. – 2004. – Vol. 15. – Iss. 2. – pp. 99–101. DOI: 10.1002/ppp.488.

References:

1. Areh A.L., Demchenko R.Ya. Nekotorye rezul'taty mnogoletnikh nablyudenii za protaivaniem grunta v okrestnostyakh Yakutska [Some results of perennial observations of soil thawing in the vicinity of Yakutsk]. In: Ivanov N.S. et al. (eds.). Eksperimental'nye issledovaniya protsessov teploobmena v merzlykh gornykh porodakh. Moscow: Nauka; 1972. pp. 91–97.
2. Bosikov N.P., Vasiliev I.S., Fedorov A.N. Permafrost landscapes development zones of the Lena-Aldan interfluve [Merzlotnye landshafty zony osvoeniya Leno-Aldanskogo mezhdurech'ya]. Yakutsk: IMZ SO AN SSSR; 1985. 124 p.
3. Varlamov S.P., Skryabin P.N., Skachkov Yu.B. Geotemperaturnyi monitoring gruntov doliny Tuimaada [Geotemperature monitoring of the soils of the Tuymaada valley]. In: Kolodeznikov I.I., Zabolev Yu.V. (eds.). Nauchnoe obespechenie resheniya klyuchevykh problem razvitiya g. Yakutska. Materialy sovmestnoi nauchnoi sessii Akademii nauk Respubliki Sakha (Yakutiya) i Gorodskogo okruga "Gorod Yakutsk" (Yakutsk, 22 December 2009). Yakutsk: OOO "Kompaniya Dani-AlmaS", 2010. pp. 97–102.
4. Vasiliev I.S. Zakonomernosti sezonnogo protaivaniya gruntov v Vostochnoi Yakutii [Regularities of seasonal soil thawing in Eastern Yakutia]. Novosibirsk: Nauka; 1982. 133 p.
5. Vasiliev I.S. Prostranstvenno-vremennye zakonomernosti formirovaniya deyatelnogo sloya v landshaftakh Zapadnoi Yakutii [Spatio-temporal patterns the formation of an active layer in the landscapes of Western Yakutia]. Novosibirsk: Nauka; 2005. 228 p.
6. Gavriliev P.P., Ugarov I.S., Efremov P.V. Merzlotno-ekologicheskii monitoring sel'skokhozyaystvennykh zemel' v Tsentral'noi Yakutii [Permafrost ecological monitoring of agricultural lands in Central Yakutia]. Earth's Cryosphere. 1999;3(3):92–99.
7. DeMers M.N. Fundamentals of geographic information systems. New York: John Wiley & Sons, Inc.; 1996. 448 p.
8. Pavlov A.V., Malkova G.V. Small-scale mapping of trends of the contemporary ground temperature changes in the Russian North. Earth's Cryosphere. 2009;13(4):32–39.
9. Scryabin P.N., Skachkov Yu.B., Varlamov S.P. Osobennosti formirovaniya temperaturnogo rezhima donnykh otlozhenii melkovodnykh ozer Tsentral'noi Yakutii [Peculiarities formation of the temperature regime of bottom sediments of shallow lakes in Central Yakutia]. Geography and Natural Resources. 1992;2:164–168.
10. Soloviev P.A. Kriolitozona severnoi chasti Leno-Amginskogo mezhdurech'ya [Cryolithozone of the northern part of Leno-Amginsky interfluve]. Moscow: AN SSSR; 1959. 144 p.
11. Stashenko A.I. Izuchenie preobrazovaniy geokriologicheskikh uslovii pri osvoenii lesnykh prirodnykh kompleksov na yuge Tsentral'noi Yakutii [Study of geocryological transformations conditions for the development of forest natural complexes in the south of Central Yakutia]. In: Grechishchev S.E. (ed.) Kriogennyye fiziko-geologicheskie protsessy i metody izucheniya ikh razvitiya. Moscow: VSEGINGEO; 1987. pp. 93–100.
12. Fedorov A.N. Merzlotnye landshafty Yakutii: metodika vydeleniya i voprosy kartografirovaniya [Permafrost landscapes of Yakutia: methods of individualization and problems of mapping]. Yakutsk: IMZ SO RAN SSSR; 1991. 140 p.
13. Shepelev V.V., Lomovtseva N.S. Ozera kriolitozony Bestyakhskoi terrasy r. Leny i ikh vzaimosvyaz' s podzemnymi vodami [Bestyakhskaya permafrost lakes terraces of Lena river and their relationship with groundwater]. In: Nekrasov I.A. Tematicheskie i regional'nye issledovaniya merzlykh tolshch Severnoi Evrazii. Yakutsk : IMZ SO AN SSSR; 1981. pp. 106–115.
14. Fedorov A.N., Ivanova R.N., Park H., Hiyama T., Iijima Y. Recent air temperature changes in the permafrost landscapes of northeastern Eurasia. Polar Science. 2014;8(2):114–128. DOI: 10.1016/j.polar.2014.02.001.
15. Nelson F.E., Shiklomanov N.I., Christiansen H.H., Hinkel K.M. The Circumpolar-Active-Layer-Monitoring (CALM) Workshop: introduction. Permafrost and Periglacial Processes. 2004;15(2):99–101. DOI: 10.1002/ppp.488.

Информация об авторах

Шестакова Алена Алексеевна

Кандидат географических наук,
старший научный сотрудник лаборатории
геоинформационных систем (ГИС) и картографирования
криолитозоны ФГБУН Института мерзлотоведения
им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской
академии наук

677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, д. 36

E-mail: aashest@mail.ru

Торговкин Ярослав Ильич

Кандидат географических наук,
заведующий лаборатории геоинформационных систем (ГИС)
и картографирования криолитозоны ФГБУН Института
мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения
Российской академии наук

677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, д. 36

E-mail: torgovkin@mpi.ysn.ru

Information about authors

Aliona A. Shestakova

Candidate of Geographical Sciences,
Senior Researcher of Geographic Information Systems (GIS) and
Permafrost Mapping Laboratory of the Melnikov
Permafrost Institute (Siberian Branch of the Russian Academy of
Sciences)

36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

E-mail: aashest@mail.ru

Yaroslav I. Torgovkin

Candidate of Geographical Sciences,
Head of Geographic Information Systems (GIS) and Permafrost
Mapping Laboratory of the Melnikov Permafrost Institute
(Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences)

36 Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russia

E-mail: torgovkin@mpi.ysn.ru