

Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

УДК 551.345

<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-4-539-546>

Инженерно-геокриологические условия Енисейской Арктики

П. Н. Скрябин

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация

✉ vsp@mpi.ysn.ru

Аннотация

Представлены результаты инженерно-геокриологических исследований криолитозоны в естественных условиях и при освоении региона. Количественно оценено влияние снежного, растительного и напочвенного покровов на формирование теплового режима грунтов слоя годовых теплооборотов. На основе математического моделирования охарактеризовано влияние техногенных воздействий на тепловой режим грунтов. Приведены результаты прогноза изменения термического состояния грунтов при освоении территории северной тайги, лесотундры и южной тундры. Предложены основные задачи геотемпературного мониторинга при организации стационаров и полигонов в осваиваемых районах региона.

Ключевые слова: Енисейская Арктика, климат, криолитозона, температура грунтов, мощность деятельного слоя, техногенное воздействие

Финансирование. Работа выполнена в рамках бюджетного проекта ИМЗ СО РАН 1.5.12.4 «Тепловое поле и криогенная толща Северо-Востока России. Особенности формирования и динамика».

Для цитирования: Скрябин П.Н. Инженерно-геокриологические условия Енисейской Арктики. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2022;27(4):539–546. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-4-539-546>

Engineering and geocryological conditions of the Yenisei Arctic

P. N. Skryabin

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Yakutsk, Russian Federation

✉ tatyana_umka91@mail.ru

Abstract

The article presents the results of engineering and geo-cryological studies of the permafrost zone in natural conditions and during the area development. We have quantitatively estimated the influence of snow, vegetation and ground cover on the formation of thermal soil regime of the annual heat turnover layer. The influence of technogenic impacts on the thermal soil regime is described using mathematical modeling. We provide the forecast results of the thermal state of soils during the territory development of the northern taiga, the forest-tundra, and the southern tundra. We discuss the main tasks of geo-temperature monitoring in the process of organizing stations and polygons in the areas under development.

Keywords: Yenisei Arctic, climate, permafrost zone, soil temperature, active layer thickness, technogenic impact

Funding. This study was carried out within the framework of the budget project “Thermal field and cryogenic strata of the North-East of Russia. Features of formation and dynamics” (project number 1.5.12.4).

For citation: Skryabin P.N. Engineering and geocryological conditions of the Yenisei Arctic. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2022;27(4):539–546. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-4-539-546>

Введение

Интенсивное хозяйственное освоение Енисейской Арктики в значительной мере определяется инженерно-геокриологической изученностью ее территории. Освоение региона сопровождается нарушением растительного и напочвенного

слоя, микрорельефа, режима снегоотложений, поверхностного стока и мерзлотных условий. Изменение теплового режима грунтов приводит к недопустимым деформациям сооружений, а иногда и их полному разрушению. Эти факторы вызывают развитие опасных для устойчиво-

сти сооружений криогенных процессов – термокарста, солифлюкции, оврагообразования и др. Поэтому до начала освоения территорий необходимо оценить инженерно-геокриологические условия.

Районы исследований в Енисейской Арктике распространены севернее Полярного круга. Сведения о многолетнемерзлых породах были получены при первых работах по изучению природных условий региона. Исследования криолитозоны начали систематически проводиться в советское время в связи с освоением районов Красноярского края. Плановые геокриологические изыскания стали проводиться Игарской мерзлотной станцией, которую в 1930 г. основал Главсевморпуть, в 1937 г. она была передана в систему Академии наук СССР. По инициативе М.И. Сумгина в 1936 г. на участке станции были организованы режимные термические наблюдения. В 1940–1960 гг. геокриологические условия в долине р. Енисей на участке Игарка–Усть-Порт изучали сотрудники мерзлотной станции. Первые экспериментальные исследования криогенных процессов, физико-механических свойств мерзлых пород проведены А.М. Пчелинцевым [1]. С 1964 г. Игарская НИМС Института мерзлотоведения СО АН СССР начала изучение геокриологических условий вдоль трассы магистрального газопровода Игарка–Талнах, а также в районах месторождений природного газа. Результаты исследований температуры, морфологии и распространения многолетнемерзлых пород равнинных территорий Енисейско-Пясинского Севера детально освещены в работах Г.С. Константиновой, А.П. Тыртикова, Н.Ф. Григорьева, Е.Г. Карпова и др. [2–10].

Изменения инженерно-геокриологических условий на линии электропередач Курейская ГЭС–Игарка–Хантайское водохранилище–Норильск, на участках «мертвой» железной дороги Салехард–Игарка и будущего нефтепровода Ванкор–Игарка оценены Е.Г. Карповым и Е.Л. Барановским [11].

Особенности инженерно-геокриологических условий осваиваемых районов региона освещены в работах научно-исследовательских и проектных организаций: мерзлотной станции Норильского горно-металлургического комбината, Московского госуниверситета им. М.В. Ломоносова, ВНИИГаз Министерства газовой промышленности СССР, Главной геофизической

обсерватории им. А.И. Воейкова, ИМЗ СО АН СССР и других [12–21].

Анализ результатов значительного объема исследований показывает, что мерзлотные условия региона изучены весьма неравномерно и не в полной мере. Более детально изучены районы городов Игарка, Дудинка, Норильск. Мало изучены мерзлотные условия на левобережье р. Енисей, южнее трассы газопровода Солёное–Норильск, а также на междуречье Енисей и Пясины.

Изучение инженерно-геокриологической обстановки в естественных условиях и при техногенных воздействиях представляет интерес в научно-теоретическом плане и для практических целей (проектирования, строительства и эксплуатации линейных и площадных сооружений, охраны и рационального использования геологической среды и пр.). Это свидетельствует об актуальности подобных исследований в осваиваемых районах криолитозоны и, в частности, в Енисейской Арктике.

Основной целью статьи является оценка инженерно-геокриологических условий рассматриваемого региона. Ведущими компонентами исследований считаются:

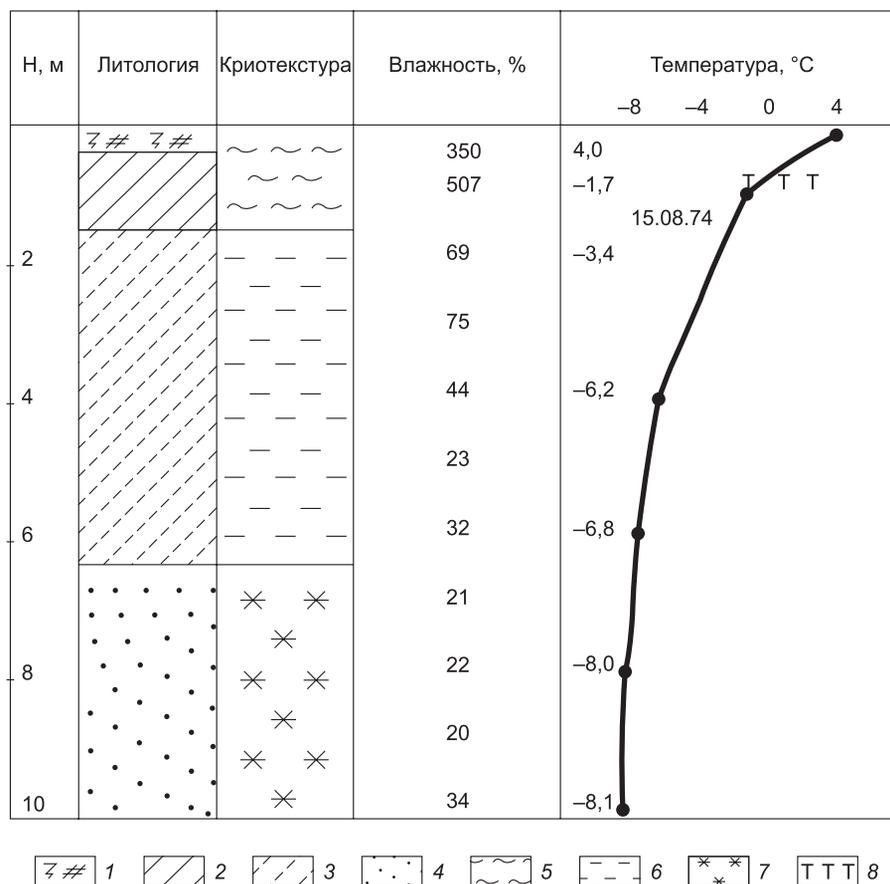
- природные условия (климат, рельеф, растительность);
- распространение многолетнемерзлых пород, их состав, мощность, температура, криогенное строение, подземные льды, мощность и строение слоя сезонного оттаивания-промерзания;
- современные экзогенные криогенные процессы;
- водно-физические свойства горных пород.

Методы исследований

Исследования инженерно-геокриологических условий проводятся с учетом требований методических рекомендаций для равнинных территорий криолитозоны [22].

Верхний горизонт толщи многолетнемерзлых пород отличается от подстилающей своим строением, свойствами и генезисом. Криогенное строение слоя характеризуется широким развитием различных текстур и поясков льда (см. рисунок). Грунты часто перенасыщены льдом, влажность суглинков и супесей достигает 200 %, а объемная льдистость 0,8. На участках освоения глубина сезонного оттаивания грунтов возрастает, что приводит к деформациям земной поверхности.

Начиная с 1950-х гг. геокриологи стали организовывать круглогодичные стационарные



Инженерно-геокриологический разрез скв. 1а (станция Солёный).

1 – мох, торф; 2 – суглинок; 3 – супесь; 4 – песок; 5–7 – криогенная текстура: 5 – тонкослоистая; 6 – линзовидная; 7 – массивная; 8 – слой протаивания.

Engineering geocryological section of well 1a (Solyony station).

1 – moss, peat; 2 – loam; 3 – sandy loam; 4 – sand; 5–7 – cryogenic texture: 5 – thin-layered; 6 – lenticular; 7 – massive; 8 – thaw layer.

исследования теплового режима грунтов слоя годовых теплооборотов. Эти работы особенно расширились в 1970-х гг., когда началось планомерное освоение криолитозоны Европейского Севера, Западной и Восточной Сибири, а также Дальнего Востока.

Стационарные теплобалансовые исследования были выполнены в подзонах северной тайги и южной тундры Енисейской Арктики в 1971–1978 гг. и охватывали широкий круг вопросов, связанных с изучением теплового режима грунтов в естественных условиях и при освоении этой территории [20].

В основу исследований был положен метод теплофизики ландшафтов. Экспериментальные исследования включали микрометеорологические, актинометрические, теплофизические, гидротермические наблюдения и геокриологиче-

ский прогноз. Стационары были организованы в наиболее типичных мерзлотно-климатических условиях на участках местности, различающихся наземными покровами, составом грунтов и видами техногенного воздействия. В 1971–1974 гг. на Игарском теплобалансовом стационаре Института мерзлотоведения СО АН СССР в подзоне северной тайги режимные исследования были проведены на пяти площадках: разнотравный луг, березовый лес, оголенный участок, торфяник, с пленочным покрытием. Работы в подзоне южной тундры на Соленинском стационаре в 1974–1976 гг. охватили мохово-лишайниковый и сфагново-ерниковый тундровые участки, осоково-сфагновое болото, площадки с удаленным и нарушенным напочвенным покровами. с пенопластовым и бревенчатым покрытиями. В 1977–1978 гг. в подзоне южной тундры сезонный ста-

ционер в районе пос. Геологический включал следующие площадки: мохово-лишайниковый, мохово-ерниковый, тундровые участки, с удаленным напочвенным покровом, с естественным зарастанием, с посевами различных трав.

Принятая для условий Заполярья рациональная методика режимных стационарных наблюдений достаточно проста, точна и надежна.

Результаты и обсуждение

Многолетние исследования сотрудников Игарской НИМС позволили оценить особенности формирования геокриологических условий в различных природных условиях.

В северной зоне многолетнемерзлые породы имеют сплошное распространение. Талики встречаются под глубокими реками и водоемами шириной более 1 км. Мощность мерзлых пород на пойме составляет от 50–70 до 170–350 м. Температура грунтов на подошве слоя ее годовых колебаний равна $-1 \div -3$ °С. На первой надпойменной террасе температура пород понижается до $-4 \div -5$ °С, а мощность увеличивается от 100–150 на юге до 180–450 м на севере. На озерно-аллювиальной равнине и на водораздельном плато температура мерзлых грунтов равна $-5 \div -8$ °С, а мощность достигает 200–550 м.

Центральная геокриологическая зона характеризуется почти сплошным распространением многолетнемерзлых пород. Температура пород на глубине нулевых ее амплитуд в пределах поймы изменяется от -1 до -2 , на надпойменной террасе – от -2 до -4 , а на водораздельном плато – от -3 до -6 °С. Мощность многолетнемерзлых пород на пойме равна 40–75 м, на надпойменной террасе – 75–100 м, на водораздельных пространствах 100–250 м.

В южной геокриологической зоне многолетнемерзлые породы термически малоустойчивы. Под руслами рек, под акваториями озер и на участках со снежным покровом мощностью 1,5–2 м встречаются сквозные талики. Мощность мерзлых отложений на пойме составляет около 20 м, температура на подошве нулевых амплитуд равна $-0,5 \div -0,6$ °С. Мощность мерзлых толщ на надпойменной террасе превышает 30 м. На подошве слоя годовых колебаний температура пород изменяется от $-0,1$ до $-0,5$ °С.

Во всех подзонах повсеместно распространены подземные льды. Полигонально-жильные льды залегают в торфяниках под слоем сезонного протаивания грунтов на глубине всего лишь

0,5–0,6 м. Мощность льдов достигает 4–5 м. В глинистых грунтах развиты сегрегационные льды. На контакте суглинков и отложений с валунными материалами встречаются пластовые льды мощностью до 2 м. В озерно-ледниковых глинах обнаружены уникальные залежи пластовых льдов, мощность которых превышает 20–30 м.

Оценка многолетней изменчивости теплового режима грунтов с учетом изменений климата проведена для трех пунктов (Соленый, Алыкель, Игарка), расположенных в подзонах южной тундры, лесотундры и северной тайги. При моделировании использованы данные натуральных наблюдений за снегоотложениями, напочвенными покровами, составом, влажностью и температурным режимом грунтов. Теплофизические характеристики покровов и грунтов определены в полевых условиях и по справочникам.

Моделирование позволило определить изменение средней годовой температуры (t_0) и глубины сезонного протаивания грунтов (ξ) от метеоусловий и оценить пределы их колебаний (табл. 1). Из климатических факторов наибольшей изменчивостью характеризуется снежный покров, а наименьшей – среднегодовая температура воздуха. При этом введены следующие обозначения: $t_{вз}$ – среднегодовая температура воздуха, $\Sigma|+t_{вз}|$ и $\Sigma|-t_{вз}|$ – суммы положительных и отрицательных значений воздуха.

Оценка изменения теплового режима грунтов проведен по видам типичных нарушений естественных условий (табл. 2). Охлаждающее влияние уплотненного снега на среднегодовую температуру грунтов увеличивается от 4 в тундре до 5 °С в северной тайге. Глубина сезонного протаивания уменьшается на 0,1 на севере, на 0,2 м на юге. Удаление снежного покрова в тундре и лесотундре снижает t_0 на 4–10 °С, сокращает ξ на 0,2–0,4 м. Снятие мохово-торфяного покрова повышает t_0 на 0,3–1 °С, увеличивает ξ на 0,2–0,6 м. Удаление напочвенного и снежного покровов приводит к понижению t_0 на 5–9 °С, сокращает ξ на 0,1–0,3 м (см. табл. 2).

В 1974–1977 гг. Институт мерзлотоведения СО АН СССР проводил инженерно-геокриологические исследования на Соленинском и Мессояхских газовых месторождениях и на трассе газопровода Мессояха–Норильск. На основе данных натуральных наблюдений была оценена эффективность методов инженерной и биологической рекультивации, рассмотрен комплекс мероприятий и средств, способствующих защите мерзлот-

Таблица 1

Многолетние вариации параметров климата и теплового режима грунтов

Table 1

Long-term variations in climate parameters and soils thermal regime

Параметры/Parameters	$t_{B3}, ^\circ\text{C}$	$\Sigma +t_{B3} , ^\circ\text{C} \cdot \text{мес}$	$\Sigma -t_{B3} , ^\circ\text{C} \cdot \text{мес}$	$h_{\text{с}}, \text{м}$	$t_0, ^\circ\text{C}$	$\xi, \text{м}$
Южная тундра/Southern Tundra						
Максимум/Maximum	-7,0	42,3	-122,2	0,76	-5,3	0,56
Минимум/Minimum	-14,8	18,7	-196,5	0,30	-11,0	0,34
Лесотундра/Forest Tundra						
Максимум/Maximum	-6,5	44,8	-118,5	0,82	-1,8	1,36
Минимум/Minimum	-14,6	21,6	-196,9	0,25	-7,8	0,93
Северная тайга/Northern Taiga						
Максимум/Maximum	-5,3	50,3	-107,9	0,99	0,0	1,46
Минимум/Minimum	-10,6	34,8	-167,6	0,30	-4,3	1,02

Таблица 2

Прогноз изменений температуры и глубины сезонного протаивания грунтов

Table 2

Forecast of the change and the depth of soils seasonal thawing

Естественные условия/ Natural Conditions	Уплотнение снега/ Snow Settlement	Удаление снега/ Snow Removal	Удаление растительного покрова/ Vegetation Removal	Удаление снега и растительного покрова/ Snow & Vegetation Removal
$\frac{t_0, ^\circ\text{C}}{\xi, \text{м}}$	$\frac{t_0, ^\circ\text{C}}{\xi, \text{м}}$	$\frac{t_0, ^\circ\text{C}}{\xi, \text{м}}$	$\frac{t_0, ^\circ\text{C}}{\xi, \text{м}}$	$\frac{t_0, ^\circ\text{C}}{\xi, \text{м}}$
Южная тундра/Southern Taiga				
$\frac{-0,6...-7,3}{0,4...1,3}$	$\frac{-6,6...-10,3}{0,3...1,0}$	$\frac{-9,7...-11,7}{0,3...0,9}$	$\frac{-0,4...-6,5}{0,6...1,6}$	$\frac{-9,9...-11,6}{0,5...1,2}$
Лесотундра/Forest Tundra				
$\frac{-0,4...-5,0}{0,7...1,5}$	$\frac{-6,3...-8,9}{0,7...1,2}$	$\frac{-8,9...-10,8}{0,7...1,1}$	$\frac{-0,4...-4,2}{1,0...1,8}$	$\frac{-8,8...-10,5}{0,9...1,4}$
Северная тайга/Northern Taiga				
$\frac{-0,1...-0,5}{0,9...1,6}$	$\frac{-4,9...-6,9}{0,9...1,4}$	$\frac{-8,5...-9,6}{0,8...1,0}$	$\frac{-0,1...-0,7}{1,0...2,3}$	$\frac{-8,2...-8,7}{1,0...1,8}$

ных ландшафтов от разрушения. Совместно с институтами ВНИИГаз и ВСЕГИНГЕО, а также объединением «Норильскгазпром» были составлены рекомендации и руководство, предназначенные для специалистов по проектированию, строительству и эксплуатации площадных и линейных сооружений в районах Севера [23–25].

В 2020 г. принята государственная программа «Стратегия развития Российской Арктики до 2035 г.». Программа предусматривает разработку проекта системы «Вечная мерзлота АЗРФ». Основной целью этого проекта является создание государственного мониторинга вечной мерз-

лоты для обеспечения экологического пользования криогенных ресурсов и устойчивого развития арктических территорий.

Исследования состояния криолитозоны включают организацию геотемпературного мониторинга – эффективной системы изучения состояния, прогноза и эволюции инженерно-геокриологических условий при изменении климата и антропогенных воздействий.

Основные задачи исследований закономерностей формирования инженерно-геокриологических условий включают: 1) выбор объектов режимных наблюдений на основе ландшафтной

дифференциации; 2) организация наблюдательной сети, охватывающей естественные, нарушенные ландшафты и природно-технические системы; 3) усовершенствование методики, автоматизации экспериментов и обработки информации; 4) прогноз эволюции термического состояния верхних горизонтов криолитозоны; 5) разработка технологических решений по защите ландшафтов при деградации криолитозоны.

Выводы

1. Обобщены результаты региональных инженерно-геокриологических исследований природно-технических систем в подзонах северной тайги, лесотундры и южной тундры.

2. Методом математического моделирования составлен прогноз изменения глубины протаивания и средней годовой температуры грунтов при антропогенных воздействиях.

3. Предложены основные задачи организации геотемпературного мониторинга в осваиваемых территориях региона.

Список литературы / References

1. Пчелинцев А.М. *Строение и физико-механические свойства мерзлых грунтов*. М.: Наука; 1964. 260 с.

[Pchelintsev A.M. *Structure, physical and mechanical properties of frozen soils*. Moscow: Nauka; 1964. 260 p. (In Russ.)]

2. Константинова Г.С. Многолетнемерзлые горные породы Енисейско-Пясинского Севера. *Вопросы региональной геокриологии Средней Сибири*. [Сборник статей]. М.: Изд-во АН СССР; 1961:114–139 (Тр. Игарской НИМС, вып. 2).

[Konstantinova G.S. Permafrost rocks of the Yenisei-Pyasinsky North. *Issues of regional geocryology of Central Siberia. [Collected papers]*. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1961:114–139 (*Proceedings of the Igarsk Permafrost Research Station, Issue 2*). (In Russ.)]

3. Тыртиков А.П. Мощность сезонно-талого слоя почвы в районе Игарки. *Труды Игарской НИМС*. Вып. 2. М.; 1961:91–96.

[Tyrtikov A.P. The thickness of the seasonally thawed soil layer in the Igarka area. *Proceedings of the Igarsk Permafrost Research Station, Issue 2*. Moscow; 1961:91–96. (In Russ.)]

4. Григорьев Н.Ф. О современном промерзании пород в процессе обмеления рек в районах Енисейского Севера. *Гидрогеология Енисейского Севера*. Л.; 1969:106–108.

[Grigorev N.F. Modern rocks freezing in the process of shallowing of the rivers in the North Yenisei region. *Hydrogeology of the Yenisei North*. Leningrad; 1969:106–108. (In Russ.)]

5. Карпов Е.Г. О температуре мерзлой зоны Таймырской депрессии. *Гидрогеология Енисейского Севера*. Вып. 1. Л.; 1969:75–77.

[Karpov E.G. The temperature of the frozen zone of the Taimyr depression. *Hydrogeology of the Yenisei North. Вып. 1*. Leningrad; 1969:75–77. (In Russ.)]

6. Тыртиков А.П. Развитие растительности как фактор формирования и динамики многолетнемерзлых пород. *Проблемы Севера*. Вып. 7. М.: Изд-во АН СССР; 1963:227–231.

[Tyrtikov A.P. Vegetation development as a factor in the formation and dynamics of permafrost. *Problems of the North. Issue 7*. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1963:227–231. (In Russ.)]

7. Бакулин Ф.Г., Ермаков В.Ф. Новые данные о температуре многолетнемерзлых пород в Западной Сибири. *Геокриологические исследования*. Якутск: Якутское кн. изд-во; 1971:83–85.

[Bakulin F.G., Ermakov V.F. New data on the temperature of permafrost in Western Siberia. *Permafrost Research*. Yakutsk: Yakutsk Publishing House; 1971:83–85. (In Russ.)]

8. Григорьев Н.Ф. Изменение мерзлотных условий при создании водохранилищ в Заполярье (на примере Хантайского водохранилища). *Вопросы развития и освоения мерзлых толщ*. Якутск: ИМЗ СО АН СССР; 1990:85–90.

[Grigorev N.F. Changes in permafrost conditions during the creation of reservoirs in the Arctic (on the example of the Khantai reservoir). *Issues of evolution and development of the frozen strata*. Yakutsk: Melnikov Permafrost Institute SB, the USSR Academy of Sciences; 1990:85–90. (In Russ.)]

9. Казанский О.А. Влияние мохово-торфяных покровов на температурный режим грунтов (на примере района нижнего течения р. Курейки). *Термика почв и горных пород в холодных регионах*. Якутск: ИМЗ СО АН СССР; 1982:80–89.

[Kazanskiy O.A. Influence of moss-peat covers on the temperature regime of soils (Case study on lower reaches of the Kureika River). *Thermology of soils and rocks in cold regions*. Yakutsk: Melnikov Permafrost Institute SB Academy of Sciences USSR; 1982:80–89. (In Russ.)]

10. Шевелева Н.С., Хомичевская Л.С. *Геокриологические условия Енисейского Севера*. М.: Наука; 1967. 128 с.

[Sheveleva N.S., Khomichevskaya L.S. *Hydrogeology of the Yenisei North*. Moscow: Nauka; 1967. 128 p. (In Russ.)]

11. Карпов Е.Г., Барановский Е.Л. *Состояние криолитозоны Игарского района Енисейского Севера*. Якутск: Издательство Института мерзлотоведения СО РАН; 1999. 90 с.

[Karpov E.G., Baranovskiy E.L. *The state of the cryolithozone in the Igarsky region of the Yenisei North*. Yakutsk: Publishing House of the Permafrost Institute SB RAS; 1999. 90 p. (In Russ.)]

12. Гончаров Ю.М., Попович А.П. Опыт строительства и эксплуатации производственного здания на пространственном вентилируемом фундаменте в г. Норильске. *Проблемы инженерного мерзлотоведения: материалы 9th Международного симпозиума*. Якутск: Издательство Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН; 2011:516–518.

[Goncharov Yu.M., Popovich A.P. Construction and facility management of an industrial building on a spatial ventilated foundation in Norilsk. *Problems of permafrost engineering: proceedings of the IX International Symposium*. Yakutsk: Publishing House of the Melnikov Permafrost Institute SB RAS; 2011:516–518. (In Russ.)]

13. Дроздов Д.Г., Малкова Г.В., Украинцева Н.Г., Коростелев Ю.В. Мониторинг геокриологических условий южнотундровых ландшафтов Европейского Севера и Западной Сибири. *Труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению: Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире*. Том 3. Тюмень: Печатник; 2012:159–164.

[Drozдов D.G., Malkova G.V., Ukraintseva N.G., Korostelev Yu.V. Monitoring of geocryological conditions of southern tundra landscapes of the European North and Western Siberia *Proceedings of the Tenth International Conference on Permafrost Studies: Resources and Risks of Permafrost Regions in a Changing World*. Том 3. Tyumen: Pechatnik; 2012:159–164. (In Russ.)]

14. Круподеров В.С., Дубровин В.А. Проблемные аспекты изучения и освоения Арктической криолитозоны. *Труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению: Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире*. Том 3. Тюмень: Печатник; 2012:275–279.

[Krupoderov V.S., Dubrovin V.A. Problematic aspects of the study and development of the Arctic permafrost. *Proceedings of the Tenth International Conference on Permafrost Studies: Resources and Risks of Permafrost Regions in a Changing World*. Том 3. Tyumen: Pechatnik; 2012:275–279. (In Russ.)]

15. Оберман Н.Г. Многолетний режим температуры криолитозоны европейского Северо-Востока в течение современного потепления климата. *Труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению: Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире*. Том 3. Тюмень: Печатник; 2012:359–364.

[Oberman N.G. Long-term temperature regime of the permafrost zone of the European North-East during the current climate warming. *Proceedings of the Tenth International Conference on Permafrost Studies: Resources and Risks of Permafrost Regions in a Changing World*. Том 3. Tyumen: Pechatnik; 2012:359–364. (In Russ.)]

16. Рыкова В.В., Шевцова Э.Ю. Особенности возведения инженерных сооружений в криолитозоне: анализ информационного массива из БД «Проблемы Севера». *Труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению: Ресурсы и риски регионов с*

вечной мерзлотой в меняющемся мире. Том 3. Тюмень: Печатник; 2012:519–523.

[Rykova V.V., Shevtsova E.Yu. Features of the construction of engineering structures in the permafrost zone: analysis of the information array from the database «Problems of the North». *Proceedings of the Tenth International Conference on Permafrost Studies: Resources and Risks of Permafrost Regions in a Changing World*. Том 3. Tyumen: Pechatnik; 2012:519–523. (In Russ.)]

17. Шполянская Н.А. Особенности плейстоценово-голоценовой истории криолитозоны западного и восточного секторов Российской Арктики и Субарктики. *Труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению: Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире*. Том 3. Тюмень: Печатник; 2012:591–596.

[Shpolyanskaya N.A. Peculiarities of the Pleistocene-Holocene History of the Permafrost Zone in the Western and Eastern Sectors of the Russian Arctic and Subarctic. *Proceedings of the Tenth International Conference on Permafrost Studies: Resources and Risks of Permafrost Regions in a Changing World*. Том 3. Tyumen: Pechatnik; 2012:591–596. (In Russ.)]

18. Мельников Н.И., Власов В.П. Инженерно-геологическая изученность Северо-Востока России. *Материалы XI Международного симпозиума по проблемам инженерного мерзлотоведения: Тезисы докладов*. Якутск: Издательство Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН; 2017:276–277.

[Melnikov N.I., Vlasov V.P. Engineering and geological knowledge of the North-East of Russia. *11th International Symposium on Permafrost Engineering. Conference abstracts*. Yakutsk: Melnikov Permafrost Institute SB RAS; 2017:96.]

19. Сериков С.И., Зheleznyak M.N., Guly S.A., Skachkov Yu.B., Ruzanov V.E., Romanovsky V.E., Kholodov A.A. Мониторинг динамики температурного режима в восточной Сибири. *Tenth International Conference on Permafrost (TICOP): Resources and Risks of Permafrost Areas in a Changing World. Volume 4*. Tyumen: Pechatnik; 2012:516–517.

20. Скрыбин П.Н., Сергеев Б.П. *Тепловой режим грунтов Енисейского Севера*. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР; 1989. 176 с.

[Skryabin P.N., Sergeev B.P. *Thermal regime of soils of the Yenisei North*. Yakutsk: Permafrost Institute, the USSR Academy of Sciences; 1989. 176 p. (In Russ.)]

21. Скрыбин П.Н. Тепловое состояние грунтов Енисейской Арктики. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2021;26(3):43–51.

[Skryabin P.N. Thermal state of soils in the Yenisei Arctic. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2021; 26(3):43–51. (In Russ.)]

22. *Методы региональных инженерно-геокриологических исследований для равнинных территорий*. М.: Недра; 1986. 207 с.

[*Methods of regional engineering and geocryological studies for lowland territories*. М.: Nedra; 1986. 207 p. (In Russ.)]

23. Сергеев Б.П., Скрябин П.Н. Радиационный режим различных видов деятельной поверхности на севере Красноярского края и Тюменской области. *Геотермофизические исследования в Сибири*. Новосибирск; 1978:73–85.

[Sergeev B.P., Skryabin P.N. Radiation regime of various types of active surface in the north of the Krasnoyarsk Territory and the Tyumen Region. *Geothermophysical research in Siberia*. Novosibirsk; 1978:73–85. (In Russ.)]

24. Рекомендации по выбору и подготовке строительных площадок, инженерной и биологической рекультивации тундровых массивов, нарушенных в результате строительства газопроводов. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР; 1978. 25 с.

[*Recommendations on the selection and preparation of construction sites, engineering and biological reclamation of tundra massifs disrupted as a result of the construction of gas pipelines*. Yakutsk: Permafrost Institute SB the USSR Academy of Sciences; 1978. 25 p. (In Russ.)]

25. Временное руководство по защите ландшафтов при прокладке газопроводов на Крайнем Севере. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР; 1980. 44 с.

[*Interim Guidance on landscape protection when laying gas pipelines in the Far North*. Yakutsk: Permafrost Institute SB the USSR Academy of Sciences; 1980. 44 p. (In Russ.)]

Об авторе

СКРЯБИН Павел Николаевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория геотермии криолитозоны, Researcher ID: V-9373-2018, Author ID: 6508006475, <https://orcid.org/0000-0001-8155-378X>, e-mail: vsp@mpi.ysn.ru

Аффилиация

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Российская Федерация

About the author

SKRYABIN, Pavel Nikolayevich, Cand. Sci. (Geography), Leading Researcher, Laboratory of Permafrost Geothermics, Researcher ID: V-9373-2018, Author ID: 6508006475, <https://orcid.org/0000-0001-8155-378X>, e-mail: vsp@mpi.ysn.ru

Affiliation

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 36 Merzlotnaya st., Yakutsk 677010, Russian Federation

Поступила в редакцию / Submitted 18.05.2022

Поступила после рецензирования / Revised 21.09.2022

Принята к публикации / Accepted 11.10.2022