

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

УДК 551.345.2

DOI 10.25587/2587-8751-2025-1-67-77

Научная оригинальная статья

РАСЧЕТНЫЕ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖАЛАСИЙ ПОСЛЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

В.А. Новопроезжая, А.Н. Федоров*

Институт мерзлотоведения им П.И. Мельникова, Якутск, Россия

*schwarz999@mail.ru

Аннотация

В последние годы наблюдается тенденция увеличения лесных пожаров в Якутии, сопряженных с современным потеплением климата и обширной активизацией криогенных процессов. В Центральной Якутии широко распространен ледовый комплекс, приуроченный к межаласному типу местности. Протаивание льдистых грунтов приводит к развитию термокарста, что наблюдается на нарушенных лесными пожарами территориях. Описаны общие климатические условия, литологические и геокриологические характеристики участков, для которых производилось численное моделирование теплового состояния грунтов. Промоделировано тепловое состояние грунтов межаласий на 8 участках после лесных пожаров при восстановлении растительности с учетом текущего тренда повышения температуры воздуха на 0,02°/год. Модели были составлены по ключевым периодам смены приповерхностных условий и растительности: на 3, 8, 10 и 25 лет после лесных пожаров. Выявлено, что на участках Покровск, Борогонцы и Бердигестях возможно достижение глубины протаивания льдистого горизонта, что обусловлено высокими среднегодовыми температурами воздуха и распространением супесчаных отложений. В случае если за первые три года не возникнут условия для восстановления растительности, то предположительно на этих участках могут возникнуть криогенные процессы. На остальных участках протаивание по результатам моделирования не достигает ледового комплекса, постепенное самовосстановление растительности должно привести геокриологические условия в исходное состояние в течение 20-25 лет. Ожидается, что температура грунтов будет расти, что связано с общим потеплением климата в настоящее время. Если тенденция потепления сохранится, протаивание и повышение температур грунтов будут более значительными и заметными.

Ключевые слова: межаласье, лесные пожары, многолетнемерзлые грунты, ледовый комплекс, моделирование, изменение климата, прогноз, мерзлота, криогенные процессы, грунты

Для цитирования: Новопроезжая В.А., Федоров А.Н. Расчетные геокриологические характеристики межаласий после лесных пожаров в Центральной Якутии. *Вестник СВФУ*. 2025;(3): 67-77. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-67-77

CALCULATED GEOCRYOLOGICAL CHARACTERISTICS OF INTERLASES AFTER FOREST FIRES IN CENTRAL YAKUTIA

Varvara A. Novopriezzhasya*, Alexander N. Fedorov

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,

Yakutsk, Russian Federation

*schwarz999@mail.ru

Abstract

In recent years, forest fires have demonstrated an increasing trend in Yakutia, associated with modern global warming and extensive activation of cryogenic processes. In Central Yakutia, an ice complex is widespread, confined to the inter-alas type of terrain. Thawing of the ice component of the soils leads to the development of thermokarst, which is observed in disturbed treeless areas. The general climatic conditions, lithological and geocryological characteristics of the areas for which numerical modeling of the thermal state of soils was performed are described. The thermal state of inter-alas soils in 8 areas after forest fires was modeled during vegetation restoration, taking into account the current trend of increasing air temperature by 0.02°/year. The models were compiled for key periods of change in surface conditions and vegetation: 3, 8, 10 and 25 years after forest fires. It was revealed that in the Pokrovsk, Borogontsy and Berdigestyakh areas, it is possible to reach the depth of thawing of the ice horizon, which is due to high mean annual air temperatures and the spread of sandy loam in the upper part of deposits. And if the vegetation is not restored within the first three years, then presumably cryogenic processes will occur in these areas. In other areas, according to the modeling results, thawing does not reach the ice complex; gradual self-restoration of vegetation should bring geocryological conditions to their original state within 20-25 years. Soil temperatures are expected to rise, which is related to the current general warming of the climate. If the warming trend continues, thawing and soil temperature increases will be more significant and noticeable.

Keywords: interalas terrain, forest fires, permafrost, ice complex, modeling, climate change, forecast, permafrost, cryogenic processes, soils

For citation: Novopriezzhasya V. A., Fedorov A. N. Calculated geocryological characteristics of interlases after forest fires in Central Yakutia. *Vestnik of North-Eastern Federal University. "Earth Sciences"*. 2025;(3):67–77 (in Russian) DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-67-77

Введение

С начала 2000-х гг. в Якутии происходит резкое увеличение лесных пожаров, и в связи с потеплением климата и растущим антропогенным воздействием, многие исследователи ожидают роста числа пожаров. [1, 2]. Лесные пожары наносят колоссальный ущерб экологии, что в дальнейшем отражается на развитии региона. Ущерб особенно высок на торфяниках с вечной мерзлотой, поскольку корни деревьев находятся близко к поверхности. [3].

В Центральной Якутии около 72 % территории распространена среднетаежные леса, где преобладает лиственница Каяндера. Лиственничные леса пожароопасные, но при этом могут восстанавливаться и увеличивать площадное распространение. Межаласный тип местности по типу леса и напочвенных покровов по классам пожарной опасности относится к высокопожароопасным [4].

С ростом глобального потепления среднегодовые температуры Центральной Якутии по метеостанциям Чурапча, Амга, Ытык-Кюель, Крест-Хальджай, Верхоянский Перевоз, Покровск, Бердигестях и Якутск достигли –10,6°С. В июле 2001 года среднемесячная температура воздуха по Центральной Якутии составила аномальные 21,9°С при среднемноголетней 15,4°С. В этот период повышение температуры воздуха и малое количество осадков – 143 мм, что меньше на 27% нормы, спровоцировало возникновение лесных пожаров на исследуемой территории.

Что в дальнейшем привело к термокарстовым просадкам, трансформации растительного и почвенного покрова.

За период 2000–2020 гг. количество ежегодных лесных пожаров и гарей в Центральной Якутии составило 300 пожаров и около 295 тыс. га. В 2002, 2010–2012 и 2018–2020 гг. наблюдался рост активности лесных пожаров [6]. В 2021 г. в Якутии выгорело более 8 млн га леса при лесопокрытой площади около 131 млн га и значительно увеличило площадь гарей с полностью уничтоженным древостоем [5]. На рисунке 1 приведено фото леса, сгоревшего в 2021 году в Горном улусе.

На межальсаях Центральной Якутии широко распространены аласы – термокарстовые котловины, образовавшиеся в результате вытаявания ледового комплекса. Некоторые исследователи предполагают их возникновение в голоцене с лесными пожарами по исследованиям древесного угля на днищах термокарстовых озер [7].

Целью данной работы является прогнозная оценка теплового состояния грунтов после лесных пожаров и риска возникновения термокарстового процесса на межальсаях в Центральной Якутии.



Рис. 1. Сгоревший лес в Горном улусе (близ с. Асыма), май 2025

Fig. 1. Burnt forest in Gorny District (near Asyma), May 2025

Растительный покров обладает высоким альбедо, затеняет приповерхностную область, поглощает солнечную радиацию и атмосферные осадки, ассимилирует углекислоту, на что затрачивается солнечная энергия [8]. При нарушении растительного покрова в условиях потепления климата глубина протаивания возрастает. По сведениям Р.В. Десяткина, если в естественных условиях глубина протаивания достигала до 2,3–2,5 м, то на гарях глубина протаивания практически в два раза увеличивалась, до 4,5–5,0 м [5].

По сведениям М.И. Петрова [6] отмечено, что в первый год после пожара происходит зачернение поверхности и уменьшение альбедо, снижение затеняющей способности деревьев, появление ветра, увеличение влажности приповерхностных слоев грунта на 20–30%, что влияет на геокриологические условия верхней части многолетнемерзлой толщи. Р.В. Десяткин также отмечает [5], что на следующий год после пожаров грунты переувлажнены, в лиственных

лесах верховодка наблюдалась на глубине 1 м, на гарях с 0,5 м. На второй год появляется пионерная растительность как иван-чай, осока, на третий год при благоприятных условиях для формирования всходов появляются подросты березы и лиственницы. Примерно с 6-8 года после лесного пожара береза и лиственница достигают высоты первых десяти см, а на 10 год влажность слоя сезонного оттаивания восстанавливается до естественных значений.

Материалы и методы

Литогенная составляющая межаласий Центральной Якутии представлена следующим разрезом: до 0,1 м почвенно-растительный слой (ПРС); с 0,1 до 2,1 м супеси и суглинки с влажностью 0,14-0,25 д. ед.; 2,1-15,0 м ледогрунт; 15,0-25,0 м песок мелкий с влажностью 0,25 д. ед. (рисунок 2).

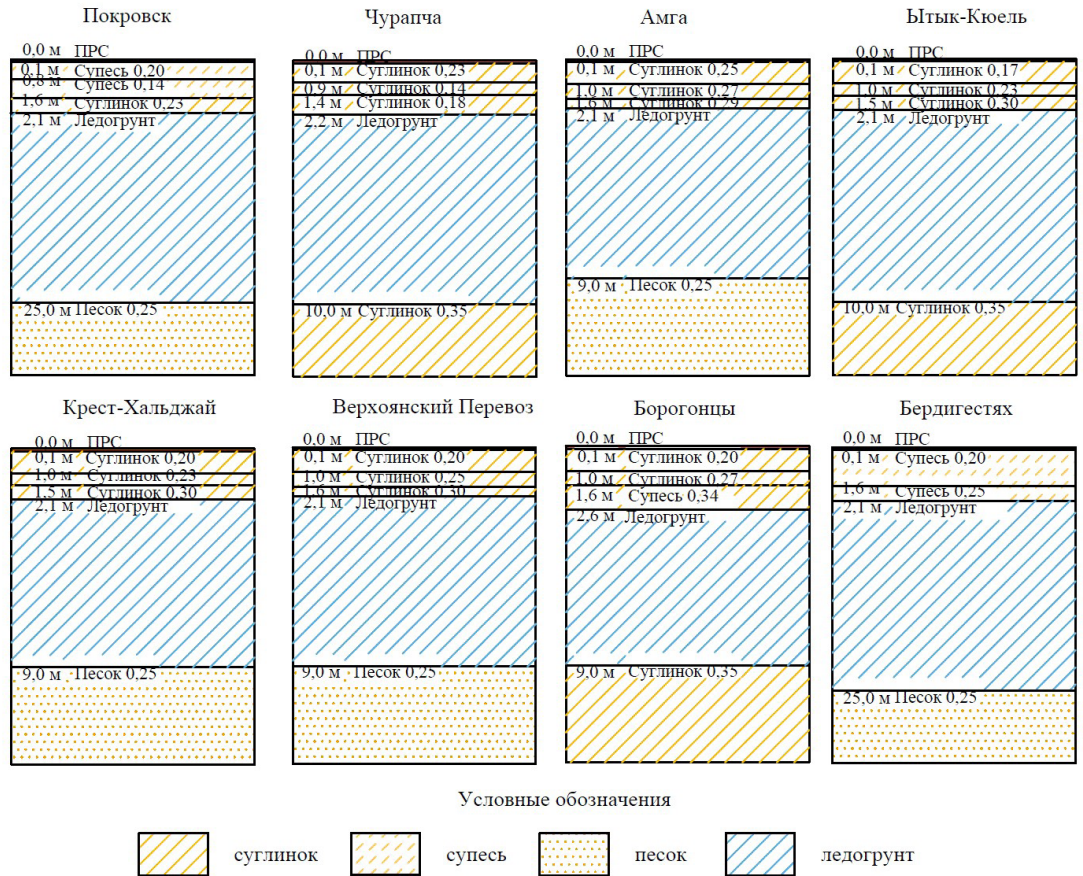


Рис. 2. Литологические колонки участков

Fig. 2. Lithological columns of area

Для оценки качества моделей была проведена их верификация с фактическими данными, полученными Институтом мерзлотоведения в период с 2017 по 2023 год. Моделирование производилось с помощью программного комплекса Frost3d, предназначенного для моделирования процессов тепломассопереноса в многолетнемерзлых грунтах с учётом влияния внешних тепловых воздействий. Для проведения расчетов на поверхности грунта установлены граничные условия III рода, которые выражались через климатические характеристики, которые представлены в таблицах 1, 2 и 3: скорость ветра, среднемесячные температуры воздуха, высота и плотность снежного покрова [9, 10]. При этом на первый год моделирования задавалось нали-

чие ветровой нагрузки, отсутствие почвенно-растительного слоя, увеличение влажности слоя сезонного оттаивания (СТС) на 30 % за счет изменения теплофизических свойств грунтов.

Таблица 1

Температуры атмосферного воздуха, °C (период измерений 1936-2024)

Table 1

Atmospheric air temperatures, °C (measurement period 1936-2024)

Участок	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ср.г.
Покровск	-39,9	-34,6	-21,4	-5,9	6,5	15,2	18,4	14,5	5,6	-7,6	-27,4	-38,2	-9,6
Чурапча	-42,5	-37,0	-22,5	-6,4	6,7	15,6	18,6	14,5	5,3	-9,2	-30,1	-41,0	-10,7
Амга	-41,4	-36,7	-22,4	-6,2	7	15,3	18,4	14,4	5,5	-8,5	-28,9	-39,7	-10,3
Ытык-Кюель	-44,4	-38,8	-24	-7,3	6,2	14,9	17,8	13,9	4,8	-10	-31,9	-42,6	-11,8
Крест-Хальджай	-44	-38	-22,2	-6	6,9	15,6	18,7	14,7	5,9	-8,7	-30,3	-42,2	-10,8
Верхоянский Перевоз	-43,1	-38,2	-23,4	-7,3	5,9	15	17,9	14	5,1	-9,7	-31,1	-41,3	-11,4
Борогонцы*	-41,5	-36,0	-21,5	-6,4	6,6	15,9	19,1	15,0	5,9	-8,3	-28,8	-39,6	-10
Бердигестях	-38,8	-33,9	-21,0	-6,9	5,6	14,3	17	13	4,2	-8,3	-27,2	-37,7	-10

Борогонцы* – интерполировано по метеостанциям Якутск и Намцы.

Таблица 2

Среднемесячная скорость ветра, м/с

Table 2

Average monthly wind speed, m/s

Участок	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Покровск	2	2,3	2,6	3	3,2	2,9	2,7	2,8	2,6	2,5	2,2	1,8
Чурапча	0,6	0,7	1,3	2,1	2,6	2,4	2	1,9	1,8	1,8	1	0,6
Амга	0,7	0,8	1,4	2,4	3	2,7	2,3	2,2	2,1	1,9	1,3	0,7
Ытык-Кюель	0,4	0,5	1	1,9	2,5	2,2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,7	1,3
Крест-Хальджай	0,2	0,3	0,8	1,7	2,1	1,8	1,5	1,5	1,5	1,5	0,6	0,3
Верхоянский Перевоз	0,7	0,6	1,1	1,8	2,2	1,9	1,6	1,5	1,6	1,8	0,9	0,8
Борогонцы*	0,8	0,9	1,4	2,2	2,6	2,4	2,2	2,0	2,1	1,8	1,2	0,9
Бердигестях	0,4	0,8	1,1	2	2,2	1,8	1,4	1,3	1,6	1,6	1	0,5

Борогонцы* – данные по метеостанции Якутск.

Таблица 3

Высота и плотность снежного покрова, в м и кг/м³

Table 3

Snow depth and density, m and kg/m³

Участок	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель
Чурапча	0,08/120	0,20/140	0,25/150	0,29/150	0,33/150	0,34/160	0,19/190
Ытык-Кюель	0,11/130	0,21/140	0,27/150	0,29/150	0,31/160	0,33/170	0,27/190
Амга	0,08/120	0,20/140	0,27/160	0,31/170	0,35/180	0,35/190	0,21/230
Покровск	0,08/110	0,19/120	0,26/140	0,31/150	0,34/160	0,36/160	0,27/200
Крест-Хальджай	0,10/100	0,24/140	0,28/160	0,33/160	0,36/160	0,38/170	0,30/200
Верхоянский Перевоз	0,12/120	0,26/140	0,31/140	0,35/150	0,38/160	0,40/160	0,36/190
Борогонцы*	0,07/110	0,18/130	0,26/140	0,30/150	0,32/160	0,33/170	0,20/220
Бердигестях	0,08/110	0,17/120	0,24/140	0,31/150	0,38/160	0,41/170	0,35/210

Борогонцы* – данные по метеостанции Якутск.

Исходные температуры грунтов характеризуются как низкотемпературные и варьируются от -2,1 до -3,0°C, грунты незасоленные.

Теплофизические свойства грунтов были подобраны с учетом их влажности и плотности в каждом слое: теплопроводность талых супесей составляет от 1,16 до 1,26 Вт/м*К, талых суглинков – от 1,16 до 1,33 Вт/м*К, а талых песков – 2,5 Вт/м*К. В случае с мерзлыми грунтами эти значения меняются следующим образом: теплопроводность мерзлых супесей – от 1,28 до 1,89 Вт/м*К, мерзлых суглинков – 1,51-2,15 Вт/м*К, а мерзлых песков – 2,73 Вт/м*К. Теплоемкость талых супесей составляет 642-686 Вт/м³, талых суглинков 686-896 Вт/м³, талых песков 872 Вт/м³, мерзлых супесей 523-529 Вт/м³, мерзлых суглинков 523-605 Вт/м³ и мерзлых песков 651 Вт/м³. Температура замерзания супесей составляет -0,15°C, суглинков -0,20°C, а песков -0,10°C [11, 12].

В моделях, которые учитывали восстановление почвенно-растительного слоя на приповерхностных слоях в течение трех лет после пожара, было показано, что на восьмой год ветер перестал оказывать влияние на расчеты, так как молодые растения создают свой микроклимат. На десятый год, благодаря изменению теплофизических характеристик, влажность в слое сезонного оттаивания вернулась к исходным значениям.

Результаты и обсуждение

Расчетные геокриологические характеристики приведены в таблице 4. Моделирование было выполнено для октября, когда глубина сезонного оттаивания грунта достигает своего максимума. Температуры грунтов рассчитаны для слоя годовых теплооборотов, расположенного на глубине 15 м.

Таблица 4

Расчетные геокриологические характеристики

Table 4

Calculated geocryological characteristics

Геокриологические характеристики	Покровск	Чурапча	Амга	Ытык-Кюель	Крест-Хальджай	Верхоянский Перевоз	Борогонцы	Бердигестях
Первоначальные данные за период с 2017 по 2023 год.								
Температура грунтов, $t_{гр}, ^\circ\text{C}$	-2,5	-2,9	-3,0	-3,0	-2,7	-2,9	-2,1	-2,5
Глубина протаивания, м	1,6	1,4	1,4	1,4	1,6	1,4	1,4	1,6
Прогнозируемые температуры грунтов и глубина сезонного оттаивания на октябрь (период максимального протаивания)								
Третий год после пожара. Наблюдается тенденция к снижению температуры на $0,02^\circ/\text{год}$. В местах пожара появляется пионерная растительность, такая как иван-чай, а уровень влажности возрастает								
Температура грунтов, $t_{гр}, ^\circ\text{C}$	-2,3	-2,9	-3,0	-3,0	-2,5	-2,8	-2,0	-1,8
Глубина протаивания, м	2,1	1,8	1,8	1,8	1,6	1,8	2,1	2,1
Спустя восемь лет после пожара, при температурном тренде $0,02^\circ/\text{год}$, высота молодых деревьев достигла 10 см								
Температура грунтов, $t_{гр}, ^\circ\text{C}$	-2,1	-2,6	-2,6	-2,7	-2,5	-2,5	-2,0	-1,9
Глубина протаивания, м	1,6	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	2,2	2,0
Прошло десять лет после пожара, и за это время температура воздуха повысилась $0,02^\circ/\text{год}$. Однако за это время восстановился древостой, а уровень влажности снизился								
Температура грунтов, $t_{гр}, ^\circ\text{C}$	-2,0	-2,8	-2,6	-2,8	-2,4	-2,4	-1,8	-1,8
Глубина протаивания, м	1,6	1,4	1,8	1,4	1,5	1,5	1,8	1,7
25 год после пожара, и при тенденции к потеплению на $0,02^\circ/\text{год}$, наблюдается восстановление древостоя								
Температура грунтов, $t_{гр}, ^\circ\text{C}$	-1,9	-2,7	-2,2	-2,7	-2,3	-2,3	-1,8	-1,8
Глубина протаивания, м	1,6	1,4	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8	1,6

Прогнозные изменения температур грунтов при условии восстановления растительности не будут значительными, даже с учетом тенденции к потеплению на $0,02^\circ\text{C}/\text{год}$. Основным фактором, влияющим на повышение температур грунтов в конце расчетного периода, является среднегодовой тренд на потепление температуры воздуха. Через 25 лет ожидается увеличение

температуры на 0,5-1,6°C. Изменения глубин протаивания на 25-й год на участках Борогонцы и Покровск составят 0,4 м, в Бердигестях и Верхоянском Перевозе глубина протаивания от начальной увеличится на 0,3 м, а на остальных участках Центральной Якутии – 0,2 м.

На участках Покровск, Борогонцы и Бердигестях возможно достижение глубины протаивания кровли ледового комплекса. Это связано с высокими среднегодовыми температурами воздуха и распространением в верхней части разреза супесей, которые обладают более высокими теплопроводными свойствами, чем суглинки.

Моделирование было выполнено с учетом сукцессий, включая альбедо, затененность в летний период и изменение влажности пород при восстановлении растительности. Однако, если в первые годы, в «шоковый» период, растительность не начнет быстро восстанавливаться на межлассных участках, то дальнейшие изменения глубины протаивания будут более резкими из-за более высокой скорости протаивания льдистых пород, что может привести к активизации криогенных процессов.

В остальных участках – Чурапча, Амга, Ытык-Кюель, Крест-Хальджай, Верхоянский перевоз – протаивание, по расчетам, достигает глубины 1,6-1,8 м. Растительность постепенно восстанавливается, адаптируясь к изменившимся геокриологическим условиям (Рисунок 3).

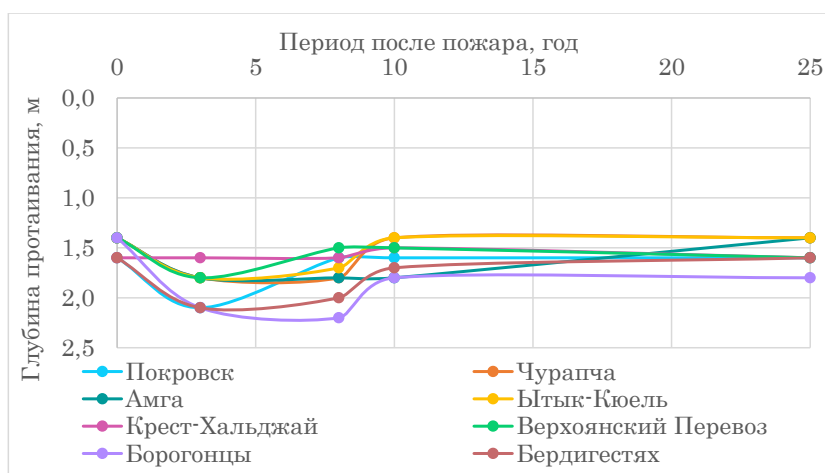


Рис. 3. Расчетная глубина протаивания на гарях по периодам

Fig. 3. Estimated depth of thawing on burnt areas by periods

Измерения температуры грунтов и глубины их протаивания [13] после лесных пожаров на межлассье показали следующие результаты:

1. В первые пять после пожара температура многолетнемерзлых пород повысилась на 0,3-0,5°C, а глубина протаивания увеличивалась на 0,4-0,8 м.

2. В последующие годы тепловое состояние грунтов постепенно восстанавливалось по мере роста травяно-мохового покрова и березово-лиственничной поросли, которые сокращали поступление солнечной радиации.

3. Через 20 лет после пожара температура межлассья снизилась на 0,9°C, а глубина протаивания уменьшилась на 0,1-0,3 м. Однако в периоды с большим снежным покровом температура грунтов повышалась на 1,5°C, а после малоснежных сезонов возвращалась к прежнему уровню.

4. В последние годы температура грунтов повысилась на 0,5°C, что свидетельствует о корректирующей роли режимов увлажнения и снегонакопления на охлаждающее воздействие сукцессионного развития растительности. Фактические данные подтверждают, что процесс восстановления геокриологических условий, происходит согласно расчетам. Глубина про-

таивания, по прогнозам, увеличивается примерно на 0,6–0,8 м, а по результатам замеров этот показатель составляет около 0,4–0,8.

Согласно расчетам, температура на глубине слоя годовых теплооборотов поднимется примерно на 0,6°C. Однако, по данным замеров, разница составляет около 0,5°C.

По данным Петрова М.И. [6], среднее многолетнее значение мощности СТС на контрольном участке составило 1,22 м, а на гари – 1,37 м. В первые два года после лесного пожара изменения мощности СТС в конце лета на гари были незначительными. Однако с третьего по седьмой год (2004–2008) после лесного пожара разница между значениями стала заметной. Максимальное значение мощности сезонно-талого слоя в этот период достигло 1,55 м. В последующие годы, с 2009 по 2011, на гари мощность талых пород уменьшилась. В эти годы на контрольном участке температуры грунта стабилизировалась. Второе увеличение мощности сезонно-талого слоя было связано со вторичным лесным пожаром, когда глубина слоя достигла 1,5–1,6 м. По сравнению с первым периодом, этот период был более коротким, и с 2016 года глубина протаивания зафиксировалась на отметках 1,3–1,4 м. В период с 2018 по 2020 год, спустя 17–19 лет после первого лесного пожара, разница в глубине протаивания на территории гари и на контрольном участке составила всего около 0,1 м.

Результаты наших расчетов подтверждают гипотезы, выдвинутые А.П. Тыртиковым [14], Ю.Л. Шуром [15], В.Н. Конищевым [16] о защитных свойствах влаголюбивой пионерной растительности в условиях мерзлотных ландшафтов.

Заключение

При условии восстановления растительности с учетом настоящего тренда повышения средней годовой температуры воздуха 0,02°C/год изменения в геоэкологических характеристиках грунтов будут незначительными. На динамику температур многолетнемерзлых пород в большей степени влияет тренд повышения средней годовой температуры воздуха. На участках Покровск, Борогонцы и Бердигестях на гаях уже на третий год возможно достижение талого слоя на поверхности льдонасыщенных грунтов и развитие протаивания ледового комплекса.

Литература

1. Hu Y., Fernandez-Anez N., Smith T.E.L., Rein G. Review of emissions from smouldering peat fires and their contribution to regional haze episodes. *International Journal of Wildland Fire*. 2018;(27):293–312. DOI: 10.1071/WF17084.
2. Ciavarella A., Cotterill D., Stott P., Kew S., Philip S., van Oldenborgh G.J., Skalevag A., Lorenz P., Robin, Y., Otto, F. Prolonged Siberian heat of 2020 almost impossible without human influence. *Climatic Change*. 2021;(166):9. DOI: 10.1007/s10584-021-03052-w.
3. Kuklina V., Sizov O., Rasputina E., Bilichenko I., Krasnoshtanova N., Bogdanov V., Petrov A.N. Fires on Ice: Emerging Permafrost Peatlands Fire Regimes in Russia's Subarctic Taiga. *Land* 2022;11(3):322; <https://doi.org/10.3390/land11030322>.
4. Варламов С.П., Скрыбин П.Н. Постпирогенная динамика гидротермического состояния грунтов криолитозоны Якутии. *Успехи современного естествознания*. 2016;(5):105–110. DOI: <https://doi.org/10.17513/use.35907>
5. Десяткин Р.В., Николаева М.Х., Иванова А.З., Десяткин А.Р., Оконешникова М.В., Филиппов Н.В. Влияние крупных лесных пожаров 2021 года на растительность и почвы на территории распространения легких почвообразующих пород Центральной Якутии. *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*. 2024;(118):231–275. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-118-231-275.
6. Petrov, M.I., Fedorov, A.N., Konstantinov, P.Y., and Argunov, R.N. Variability of Permafrost and Landscape Conditions Following Forest Fires in the Central Yakutian Taiga Zone. *Land*. 2022(11):496. <https://doi.org/10.3390/land11040496>.
7. Katamura F., Fukuda M., Bosikov N.P., Desyatkin R.V. Charcoal records from thermokarst deposits in central Yakutia, eastern Siberia: Implications for forest fire history and thermokarst development. *Quaternary Research*. 2009(71):36–40.

8. Павлов А.В. *Энергообмен в ландшафтной сфере Земли*. Новосибирск: Наука; 1984. 254 с.
9. Веселов В.М., Прибыльская И.Р., Мирзеабасов О.А. Специализированные массивы для климатических исследований. [Электронный ресурс] <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index1.xhtml>
- Veselov V.M., Pribylskaya I.R., Mirzeabasov O.A. Specialized arrays for climate research. <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index1.xhtml>
10. [Электронный ресурс] <http://www.pogodaiklimat.ru>
11. Гаврильев Р.В. *Теплофизические свойства горных пород и напочвенных покровов криолитозоны*. Новосибирск: Изд-во СО РАН; 1998. 280 с.
12. Новоприезжая В.А. Прогноз динамики верхней толщи криолитозоны Лено-Амгинского междуречья. *Актуальные проблемы и перспективы развития геокриологии: материалы VII Всероссийского научного молодежного геокриологического форума с международным участием, посвященного 150-летию и 100-летию со дня рождения ученых-мерзловедов Михаила Ивановича Сумгина и Кирилла Фабиановича Войтковского, г. Якутск, Россия, 27 июня – 7 июля 2023 г.* 2023;102–105.
13. Варламов С.П., Скачков Ю.Б., Скрыбин П.Н. *Мониторинг теплового режима грунтов Центральной Якутии*. Якутск; Издательство ФГБУН Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН: 2021. 156 с.
14. Тыртиков А.П. О влиянии растительности на многолетнемерзлую подпочву. *Материалы к основам учения о мерзлых зонах земной коры*. М.: Изд-ва АН СССР. 1956;(3):85–106.
15. Шур Ю.Л. *Верхний горизонт толщи мерзлых пород и термокарст*. Новосибирск: Наука; 1988. 213 с.
16. Конищев В.Н. Реакция вечной мерзлоты на потепление. *Криосфера Земли*. 2011;15(4):15–18.

References

1. Hu Y, Fernandez-Anez N, Smith TEL, et al. Review of emissions from smouldering peat fires and their contribution to regional haze episodes. *International Journal of Wildland Fire*. 2018;(27):293–312. DOI: 10.1071/WF17084.
2. Ciavarella A, Cotterill D, Stott P, et al. Prolonged Siberian heat of 2020 almost impossible without human influence. *Climatic Change*. 2021;(166):9. DOI: 10.1007/s10584-021-03052-w.
3. Kuklina V, Sizov O, Rasputina E, et al. Fires on Ice: Emerging Permafrost Peatlands Fire Regimes in Russia's Subarctic Taiga. *Land* 2022;11(3):322; <https://doi.org/10.3390/land11030322>.
4. Varlamov SP, Skryabin PN. Postpyrogenic dynamics of the hydrothermal state of soils in the permafrost zone of Yakutia. *Advances in modern natural science*. 2016;(5):105–110 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.17513/use.35907>.
5. Desyatkin RV, Nikolaeva MKh, Ivanova AZ, et al. The impact of large forest fires of 2021 on vegetation and soils in the territory of distribution of light soil-forming rocks in Central Yakutia. *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute*. 2024;(118):231–275 (in Russian). DOI: 10.19047/0136-1694-2024-118-231-275.
6. Petrov MI, Fedorov AN, Konstantinov PY, et al. Variability of Permafrost and Landscape Conditions Following Forest Fires in the Central Yakutian Taiga Zone. *Land*. 2022(11):496. <https://doi.org/10.3390/land11040496>.
7. Katamura F, Fukuda M, Bosikov NP, et al. Charcoal records from thermokarst deposits in central Yakutia, eastern Siberia: Implications for forest fire history and thermokarst development. *Quaternary Research*. 2009(71):36–40.
8. Pavlov AV. *Energy exchange in the landscape sphere of the Earth*. Novosibirsk: Nauka; 1984:254 (in Russian).
9. Veselov VM, Pribylskaya IR, Mirzeabasov OA. Specialized arrays for climate research. Available at: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index1.xhtml> (in Russian).
10. <http://www.pogodaiklimat.ru> (in Russian).
11. Gavriliev RV. *Thermophysical properties of rocks and ground covers of the cryolithozone*. Novosibirsk: Publishing house of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 1998:280 (in Russian).
12. Novopriezzaya VA. Forecast of the dynamics of the upper layer of the cryolithozone of the Lena-Amga interfluv. *Actual problems and prospects for the development of geocryology: Proceedings of the VII All-Russian scientific youth geocryological forum with international participation, dedicated to the 150th and 100th anniversaries of the birth of permafrost scientists Mikhail Ivanovich Sumgin and Kirill Fabianovich Voitkovsky, Yakutsk, Russia, June 27 – July 7, 2023*. 2023;102–105 (in Russian).

13. Varlamov SP, Skachkov YuB, Skryabin PN. *Monitoring the thermal regime of soils in Central Yakutia*. Yakutsk; Publishing house of the Federal State Budgetary Institution of Science of the P.I. Melnikov Institute of Permafrost Science SB RAS; 2021:156 (in Russian).

14. Tyrtikov AP. *On the influence of vegetation on permafrost subsoil. Materials for the foundations of the theory of frozen zones of the earth's crust*. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. 1956;(3):85–106 (in Russian).

15. Shur YuL. *The upper horizon of frozen rocks and thermokarst*. Novosibirsk: Science; 1988:213 (in Russian).

16. Konishchev VN. Permafrost response to warming. *Earth's Cryosphere*. 2011;15(4):15–18 (in Russian).

Об авторах

НОВОПРИЕЗЖАЯ Варвара Андреевна – м.н.с. Института мерзлотоведения им П.И. Мельникова, г. Якутск, Российская федерация, ORCID: 0000-0003-4632-9840, ResearcherID: AER-2270-2022, Scopus Author ID: 57219963224, SPIN: 4245-5312

E-mail: schwarz999@mail.ru

ФЕДОРОВ Александр Николаевич – д.г.н., г.н.с., зам. дир. по науке Института мерзлотоведения им П.И. Мельникова, г. Якутск, Российская федерация, ORCID: 0000-0002-4016-2149, ResearcherID: K-2478-2016, Scopus Author ID: 22957332600, SPIN: 6083-1651

E-mail: fedorov@mpi.ysn.ru

About the authors

Varvara A. NOVOPRIEZZHAYA – Junior Researcher, Post-Graduate Student, Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-4632-9840, ResearcherID: AER-2270-2022, Scopus Author ID: 57219963224, SPIN: 4245-5312

E-mail: schwarz999@mail.ru

Alexander N. FEDOROV – Dr. Sci. (Geography), Chief Researcher, Deputy Director for Science, Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-4016-2149, ResearcherID: K-2478-2016, Scopus Author ID: 22957332600, SPIN: 6083-1651

E-mail: fedorov@mpi.ysn.ru

Вклад авторов

Новоприезжая В.А. – методология, верификация данных, проведение исследования, администрирование данных, визуализация

Федоров А.Н. – разработка концепции, редактирование рукописи, руководство исследованием, администрирование проекта, получение финансирования

Authors' contribution

Novopriezzhaya V.A. – conceptualization, methodology, validation, investigation, data curation, writing original draft, editing, visualization.

Fedorov A.N. – conceptualization, editing, supervision, project administration, funding acquisition

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 01.07.2025

Принята к публикации / Accepted 04.08.2025