

ПРОГНОЗНОЕ ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОД ЮЖНОЙ ЯКУТИИ ПРИ НАРУШЕНИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА

В. А. Новоприезжая

Институт мерзлотоведения им П.И. Мельникова, г. Якутск, Россия,
schwarz999@mail.ru

Аннотация. В последние годы по всей Республике Саха (Якутия) происходит активное развитие криогенных процессов, в особенности на нарушенных ландшафтах, что является следствием современного потепления климата, выраженного в повышении среднегодовой температуры воздуха с конца 1980-х годов. Активизация криогенных процессов влияет на качество жизни населения, прежде всего на устойчивость инженерных сооружений и последующие экологические риски при аварийных ситуациях. Южная Якутия относится к зоне распространения прерывистой мерзлоты, где сосредоточено множество промышленных объектов. В настоящей статье рассмотрены результаты прогнозного моделирования геокриологических условий Южной Якутии при потеплении климата и нарушении растительного покрова в случае катастрофических пожаров и вырубок леса на горнотаежных и горноредколесных территориях. Объектом изучения являются глубина протаивания и температура многолетнемерзлых пород типичных ландшафтов Южной Якутии на делювиальных суглинистых породах пологих склонов и щебенистых породах плакорных участков. Расчетное моделирование производилось на 20 лет по участкам Верхняя Амга, Томмот и Чульман с учетом современных трендов повышения средней годовой температуры воздуха. По результатам прогнозного моделирования сочетание таких факторов, как повышение средней годовой температуры воздуха от 0,02°С/год и утрата растительного покрова приведет к протаиванию верхней толщи многолетнемерзлых пород до 5-9 м, повышению температур пород до 1,2°С и спровоцирует активизацию процессов просадок и оползней. Максимальные глубины протаивания предположительно по расчетам ожидаются в щебенистых породах плакорных участков, что объясняется их теплофизическими свойствами.

Ключевые слова: мерзлота, прогноз, моделирование, криогенные ландшафты, растительный покров, деградация, криогенные процессы, температуры пород, потепление климата, Южная Якутия.

Для цитирования: Новоприезжая В.А. Прогнозное тепловое состояние пород Южной Якутии при нарушении растительного покрова и потеплении климата. *Вестник СВФУ*. 2026;(3): 69-81. DOI: 10.25587/2587-8751-2026-1-69-81

Original article

PREDICTED THERMAL STATE OF GROUND IN SOUTH YAKUTIA UNDER VEGETATION COVER DISTURBANCE AND CLIMATE WARMING

Varvara A. Novopriezzhasya

*Melnikov Permafrost Institute, Yakutsk, Russia
schwarz999@mail.ru*

Abstract. In recent years, cryogenic processes have been actively intensifying across the Sakha Republic (Yakutia), particularly in disturbed landscapes as a consequence of modern climate warming, evidenced by the rise in mean annual air temperatures since the late 1980s. The intensification of cryogenic processes affects the population's quality of life primarily the stability of engineering structures and the environmental risks associated with potential accidents. South Yakutia lies within a zone of discontinuous permafrost, where numerous industrial facilities are concentrated. This article examines the results of predictive modeling regarding the geocryological

conditions of South Yakutia under scenarios of climate warming and vegetation cover disturbance, specifically due to catastrophic fires and logging in mountainous taiga and sparse-forest areas. The study focuses on the active layer thickness and permafrost temperature within typical South Yakutia landscapes, specifically on sites underlain by loamy deluvium on gentle slopes and by stony-rubby deposits on flat upland areas. Predictive modeling conducted for a 20-year period covering the Upper Amga, Tommot, and Chulman sites, taking into account current trends of rising mean annual air temperatures. Predictive modeling indicates that a combination of factors an increase in mean annual air temperature of 0.02°C per year and the loss of vegetation cover will cause the upper layer of permafrost to thaw to a depth of 5–9 meters and ground temperatures to rise by 1.2°C , thereby triggering subsidence and landslide processes. Calculations suggest that maximum thaw depths will occur in the rocky soils of slopes and plateau areas, a phenomenon attributed to their thermophysical properties.

Keywords: permafrost, forecast, modeling, cryogenic landscapes, vegetation cover, degradation, cryogenic processes, ground temperatures, climate warming, South Yakutia

For citation: Novopriezzhaia V.A. Predicted thermal state of ground in South Yakutia under vegetation cover disturbance and climate warming. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences*. 2026;(3): 69-81. DOI: 10.25587/2587-8751-2026-1-69-81

Введение

Южная Якутия – крупнейший промышленный центр Республики Саха (Якутия), где ведется добыча полезных ископаемых, в перспективе освоение лесных ресурсов. Как известно, растительный покров является теплоизолятором в верхней части мерзлоты и регулирует радиационное тепло [1]. В Центральной Якутии на нарушенных участках (просеках, пахотных угодьях, гарях) активно развиваются криогенные процессы, часто имеющие начальные стадии термокарстовых просадок. Мерзлота чутко реагирует на изменения приповерхностных условий, в том числе и на изменения климата. Южная Якутия характеризуется как район с прерывистой мерзлотой, которая в основном приурочена к высотной поясности, и с распространением высокотемпературных пород.

Территория исследования приурочена к среднегорному пологоувалистому рельефу Южной Якутии (рис. 1). В геолого-геоморфологическом отношении территория относится к южной части Лено-Алданского плато и Алдано-Учурскому поднятию. Мощность многолетнемерзлых пород в Верхней Амге около 500 м, а температуры пород варьируются от $-1,6$ до $-2,8^{\circ}\text{C}$. Температура пород составляет на пологих склонах Алдано-Учурского поднятия от $-1,5$ до $+1,5^{\circ}\text{C}$, талые массивы развиты на плоских водоразделах и нижних пологих склонах, где формируется мощный снежный покров и имеется высокая степень инфильтрации [2]. При изменениях приповерхностных условий возможны оползневые процессы, разрушительные для линейных объектов, таких как автодороги, трубопроводы и опоры ЛЭП. По исследованиям в Центральной Якутии на гарях после уничтожения растительного покрова глубина протаивания возрастает в два раза, с 2,3 м до 4,5 м [3].

Метеостанция Буга находится в с. Верхняя Амга, на высоте 277 м над уровнем моря. Метеостанция Томмот находится в с. Томмот, на высоте 283 м над уровнем моря. Метеостанция Чульман находится в 27 км на севере от города Нерюнгри, в пгт. Чульман, на высоте 877 м над уровнем моря [4].

Растительность представлена в Чульмане горнотаежными сосново-лиственничными лесами с кустарничково-лишайниково-моховым покровом, комплексом горноредколесной и горнотаежной долинной растительности; в Томмоте сосновыми лесами кустарничково-лишайниковыми и сосново-лиственничными лесами с кустарничково-лишайниково-моховым покровом и лиственничными лесами кустарничковыми с кустарничково-моховым покровом; в Верхней Амге сосново-лиственничными лесами с кустарничково-лишайниковым покровом и лиственничными лесами с кустарничковым и кустарничково-моховым покрытием. Распространены в основном на исследуемых участках склоновые и низкотеррасовые типы местности (рис. 2) [5].

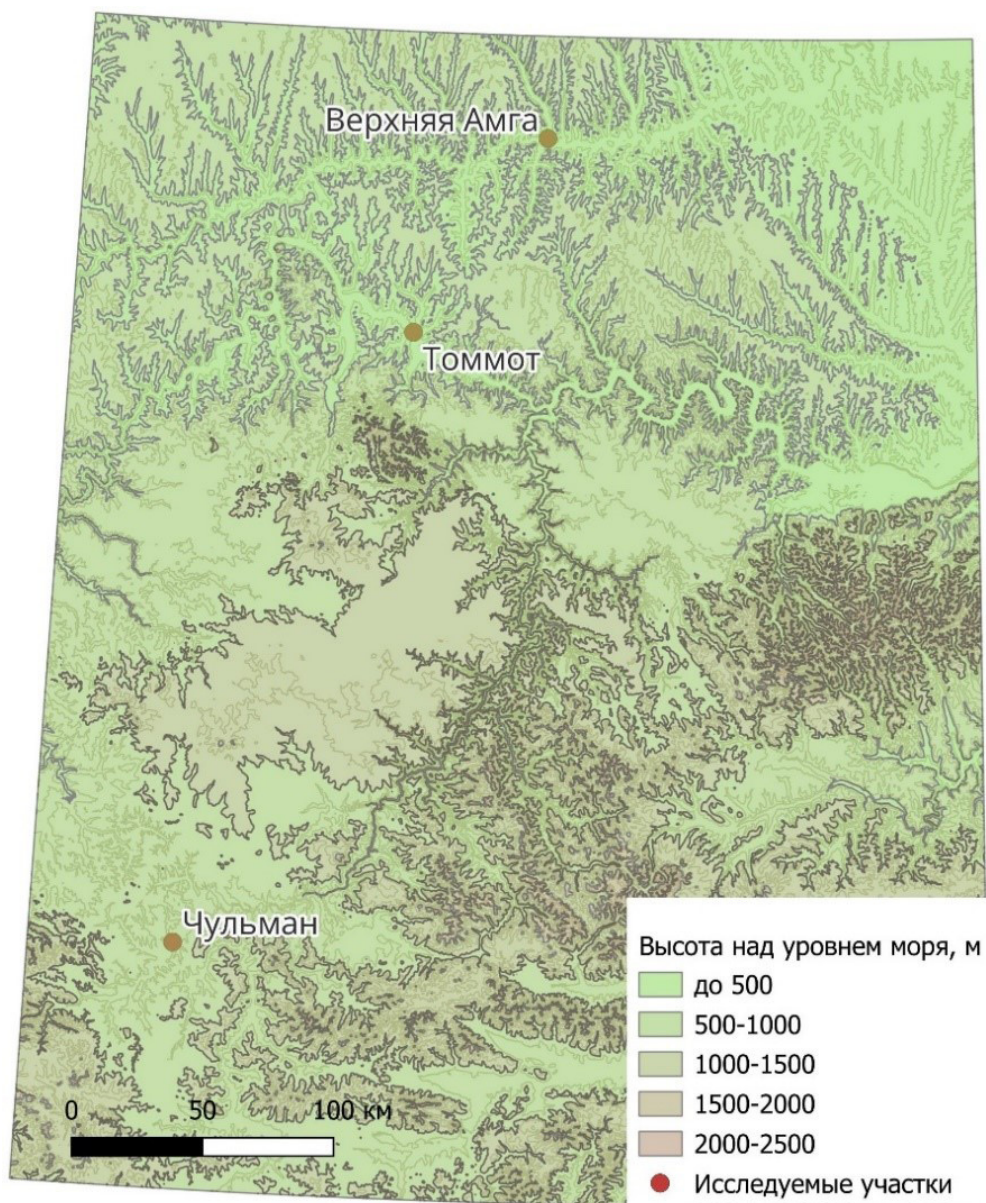


Рис. 1. Орографическая схема территории исследований

Fig. 1. Orographic map of the study area

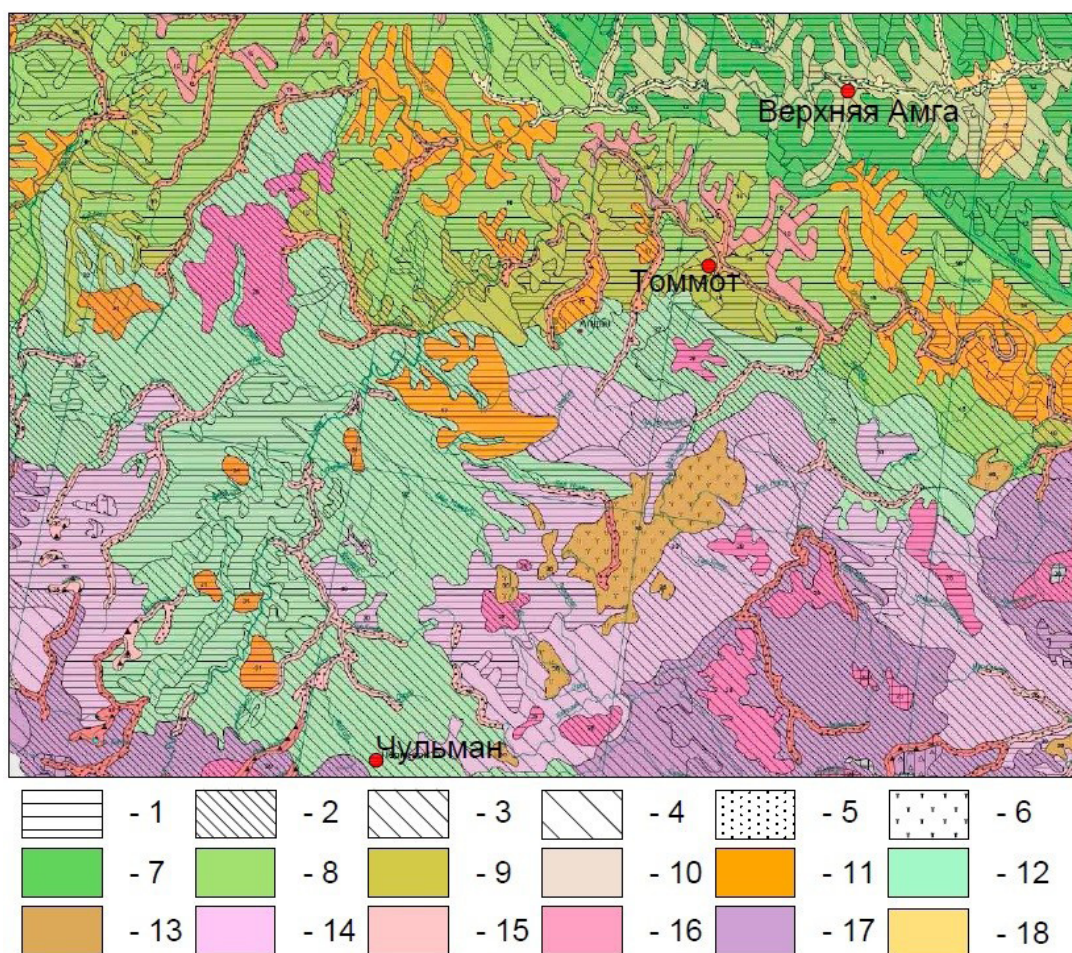


Рис. 2. Фрагмент мерзотно-ландшафтной карты (Федоров и др., 2018).

Fig. 2. Fragment of the permafrost-landscape map (Fedorov et al., 2018).

Условные обозначения. Типы местности: 1 – приводораздельный элювиальный, 2 – склоновый коллювиальный, 3 – склоновый делювиально-коллювиальный, 4 – склоновый делювиально-солифлюкационный, 5 – низкотеррасовый, 6 – слабодренированный маревый. Ландшафты: 7 – лиственные леса кустарничковые и кустарничково-моховые, 8 – лиственные леса кустарничковые и кустарничково-моховые на прерывистой мерзлоте, 9 – сосново-лиственные леса кустарничково-лишайниково-моховые на прерывистой мерзлоте, 10 – сосново-лиственные леса кустарничково-лишайниково-моховые, 11 – сосновые леса кустарничково-лишайниковые на прерывистой мерзлоте, 12 – горнотаежные сосново-лиственные леса кустарничково-лишайниково-моховые, 13 – мари горнотаежные с лиственными рединами, 14 – лиственные редколесья кустарничково-лишайниковые и моховые, 15 – комплекс горноредколесной и горнотаежной долинной растительности, 16 – кедровый стланик кустарничково-лишайниковый в сочетании с ольховником и ерниками, 17 – лиственные редколесья и редины кустарничково-лишайниковые и моховые, 18 – сосновые леса кустарничково-лишайниковые.

Материалы и методы исследования

Моделирование динамики геокриологических условий при уничтожении растительного покрова имитировало вырубку лесного массива или лесные пожары. Прогнозные модели производились с помощью программы Frost 3D (ООО «НТЦ «Симмэйкерс», Беларусь) [6]. Расчет нестационарной задачи распространения тепла в трехмерном пространстве [7] в программе

Frost 3D основан на уравнении теплопроводности с учетом фазовых переходов. Построена расчётная область, которая начинается на поверхности и заканчивается на глубине 30 м. За верхнее граничное условие бралось граничное условие третьего рода, температуры и коэффициента теплообмена между поверхностью грунта и атмосферой в зависимости от скорости ветра. Боковое граничное условие задано как нулевой тепловой поток. На нижней границе расчетной области (30 м) бралось постоянное значение температуры пород на глубине нулевых амплитуд. Для расчета использовались теплофизические свойства по литологическому составу грунтов, среднемесячные температуры воздуха, среднемесячные высота и плотность снежного покрова (табл. 1 и 2) по среднедекадным значениям метеостанций Буяга (Верхняя Амга), Томмот, Чульман [4, 8, 9, 10].

Таблица 1

Температуры атмосферного воздуха, °С (период измерений 1930-2025)

Table 1

Atmospheric air temperatures, °C (measurement period 1936-2025)

Участок	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ср. год.
Буяга	-35,7	-31,2	-19,9	-5,7	5,7	14,1	17,1	13,4	4,9	-7,0	-24,6	-34,3	-8,6
Томмот	-34,1	-29,7	-18,6	-4,8	5,9	14,2	17,3	13,7	5,4	-6,3	-23,2	-32,4	-7,7
Чульман	-32,6	-27,5	-17,2	-5,6	4,4	13,0	16,2	12,9	4,7	-7,1	-22,1	-31,5	-7,7

Таблица 2

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

Table 2

Snow depth and density, m and kg/m³

Участок	X	XI	XII	I	II	III	IV
Буяга	0,07/130	0,23/130	0,32/140	0,41/150	0,46/153	0,48/166	0,37/196
Томмот	0,08/120	0,22/136	0,30/146	0,37/160	0,42/170	0,44/180	0,39/210
Чульман	0,13/126	0,25/136	0,35/143	0,43/150	0,47/166	0,51/173	0,43/205

Анализ средней годовой температуры воздуха по метеостанциям за весь период наблюдений с 1936 по 2025 гг. выявил, что тренд повышения среднегодовой температуры составляет от 0,026-0,048° С/год (рис. 3). По исследованиям Ю.Б. Скачкова повышение средней годовой температуры воздуха за период 1966-2015 составляет 1,1-1,8° С [11], по А.В. Жожикова за период наблюдений 1961-2020 гг. составляет 0,8-2,1° С [12]. Величина снежного покрова оставалась неизменной в силу высокой непредсказуемости динамики высоты снежного покрова.

Геологический разрез для делювиальных отложений пологих склонов сложен: 0-0,1 м почвенно-растительный слой; 0,1-1,2 м суглинки с щебнем с суммарной влажностью 0,18 д.ед.; 1,2-5,0 м суглинки щебенистые, льдистые, со слоистой криогенной текстурой, с суммарной влажностью 0,16 д. ед.; 2,2-2,3 м прослой ледогрунта, ниже 5,0 м известняк выветрелый, трещиноватый. Литогенная основа для делювиальных отложений плакорных участков следующая: 0-0,1 м почвенно-растительный слой, 0,1-1,1 м щебенистый грунт с песчаным заполнителем, влажностью 0,08 д. ед.; 1,1-5,3 м щебенистый грунт с суглинистым заполнителем льдистый с влажностью 0,14 д. ед.; ниже 5,3 м известняк выветрелый, трещиноватый (рис. 4). Теплофизические характеристики грунтов подобраны на литогенной основе и физическим свойствам грунтов. Теплопроводность талых суглинков 1,16-1,72 Вт/м*° С, мерзлых суглинков

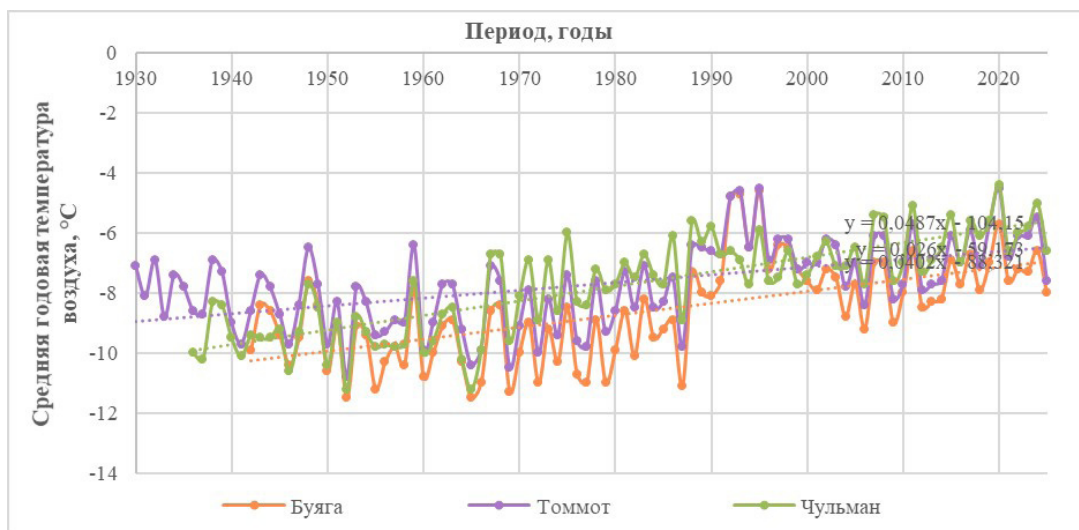


Рис. 3. Средние годовые температуры воздуха по метеостанциям за весь период наблюдений (1930-2025)

Fig. 3. Average annual air temperatures by weather station for the entire observation period (1930-2025)

2,15-2,48 Вт/м³°С, талых щебенистых грунтов 2,05-2,2 Вт/м³°С, мерзлых щебенистых грунтов 2,21-2,45 Вт/м³°С известняка выветрелого 3,56 Вт/м³°С. Теплоемкость талых суглинков 732-896 Вт/м³, мерзлых суглинков 581-605 Вт/м³, талых щебенистых грунтов 580-620 Вт/м³, мерзлых щебенистых грунтов 440-490 Вт/м³, известняка выветрелого 732 Вт/м³ [13, 14].

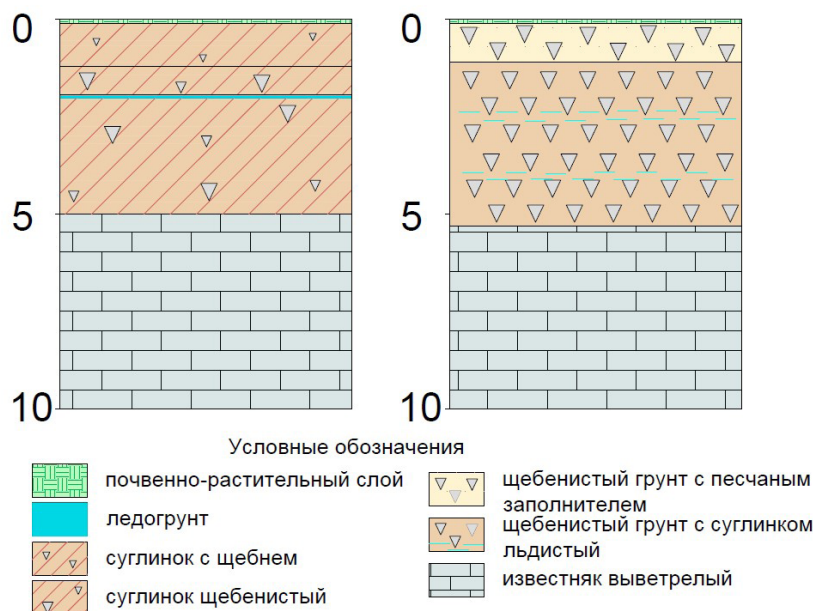


Рис. 4. Литологический разрез пологих склонов и плакорных участков.

Fig. 4. Lithological section of gentle slopes and plateau areas.

При моделировании учитывалось в первые 2 года зачернение поверхности в летнее время за счет повышения температур и увеличение влажности приповерхностных слоев пород на 20-30 % за счет отсутствия транспирации растительного покрова, аналогично условиям после

сильных пожаров с выгоранием почвенно-растительного слоя и вырубке лесов при помощи тяжелой самоходной техники. В следующие годы восстанавливается первичная растительность – иван-чай и кустарники, потому затемнение поверхности учитывалось только в мае-июне. Значения снежного покрова сменялись по высоте и плотности с лесного участка на значения с открытой незащищенной местности и поля [8, 9].

При катастрофических лесных пожарах Южной Якутии нарушаются гидротермические условия элювиальных и делювиальных отложений. Дальнейшие восстановление ландшафтов и растительности затруднительно, нарушения в большинстве случаев имеют необратимый характер [15]. В работе рассматриваются нарушенные участки, в которых почвенно-растительный слой полностью уничтожен и самовосстановление лесного массива затруднено.

Прогнозные расчеты производились на 20 лет, с 2025 года по 2045 год, при уничтожении почвенно-растительного слоя (ПРС) и также с трендами на потепление климата на 0,02-0,04° С/год, при современном в 2025 году тренде повышения среднегодовой температуры воздуха 0,03° С/год в Южной Якутии.

Результаты

По фондовым материалам Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН по исследованиям по трассе Амуро-Якутской железной дороги, представленным д.г.н. А.Н. Федоровым и по отчету инженерно-геологических изысканий ООО «Нефтегазгеодезия» по газопроводу Якутия-Хабаровск-Владивосток на участке Алдан-Сковородино, глубина протаивания на участках исследований составляет 2,0-2,1 м для суглинков на пологих склонах, для щебенистых пород с песчаным заполнителем на плакорах 2,2-2,6 м. Температуры пород по данным изысканий приведены на глубине нулевых годовых колебаний 10-15 м и составляют от -1,0 до -1,6 °С. Прогнозное моделирование производилось с учетом трендов повышения средней годовой температуры 0,02, 0,03, и 0,04° С/год.

Для оценки качества моделей была произведена их верификация на основе данных исследований по трассе Амуро-Якутской железной дороги и инженерно-геологических изысканий на участке Алдан-Сковородино (табл. 3).

Таблица 3

Фактические и расчетные значения температур пород пологих склонов Верхней Амги по глубинам

Table 3

Observed and calculated ground temperatures at various depths on the gentle slopes of the Verkhnyaya Amga

Глубина	Температура пород			
	Замеренная	Расчетная	Расчетная при тренде 0,04° С/год	Расчетная при увеличении влажности
1,0	+0,3	+0,6	+2,0	+0,4
2,0	-0,2	-0,2	+0,5	-0,3
3,0	-0,9	-0,8	-0,3	-0,6
4,0	-0,9	-0,9	-0,6	-0,7
5,0	-1,0	-1,0	-0,8	-0,8
6,0	-1,2	-1,1	-0,9	-0,9
7,0	-1,3	-1,2	-1,0	-1,0
8,0	-1,4	-1,3	-1,1	-1,1
9,0	-1,5	-1,4	-1,2	-1,2
10,0	-1,6	-1,5	-1,2	-1,3
15,0	-1,6	-1,6	-1,4	-1,5

Приведенные температуры пород модели на основе литологического разреза и климатических характеристик практически совпадают с фактическими замерами пологих склонов Верхней Амги в сентябре, разница температур пород в интервале глубине 2,0-15,0 м составляет до 0,1° С. Для оценки чувствительности модели к различным изменениям произведены расчеты на 20 лет с максимальным трендом повышения средней годовой температуры воздуха 0,04° С/год и повышением влажности сезонного-талого слоя на 30 %, температура пород на глубине нулевых колебаний повысилась на 0,1-0,2° С. При тренде 0,04° С/год глубина протаивания составит 2,9 м, а при увеличении влажности составит 1,9 м. На временном интервале 20 лет изменения температур пород соответствуют ожидаемым закономерностям.

Результаты прогнозного моделирования с учетом трендов повышения средней годовой температуры воздуха отображены в таблицах 4 и 5. По результатам моделирования отмечено, что в первые два года после уничтожения растительного покрова по всем участкам глубина протаивания становится больше на 0,5 м от исходных значений.

Таблица 4

Расчетные глубины протаивания на нарушенных участках, м

Table 4

Calculated thaw depths in disturbed areas, m

Участок	Естественная глубина протаивания	без ПРС	без ПРС и тренде 0,02° С/год	без ПРС и тренде 0,03° С/год	без ПРС и трен- де 0,04° С/год
суглинки пологих склонов					
Верхняя Амга	2,0	3,5	5,6	6,5	7,0
Томмот	2,1	3,6	6,0	6,9	7,1
Чульман	2,2	3,7	6,4	7	7,2
щебенистые породы плакоров					
Верхняя Амга	2,2	3,6	5,9	7,7	9,0
Томмот	2,6	4,0	6,2	8,5	9,6

Таблица 5

Расчетные температуры пород на нарушенных участках, °С

Table 5

Calculated ground temperatures in disturbed areas, °C

Участок	Естественная температура	без ПРС	без ПРС и тренде 0,02° С/год	без ПРС и тренде 0,03° С/год	без ПРС и тренде 0,04° С/ год
суглинки пологих склонов					
Верхняя Амга	-1,6	-0,9	-0,7	-0,6	-0,5
Томмот	-1,5	-0,9	-0,7	-0,6	-0,3
Чульман	-1,2	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3
щебенистые породы плакоров					
Верхняя Амга	-1,2	-0,7	-0,5	-0,3	-0,1
Томмот	-1,0	-0,5	-0,4	-0,2	-0,1

Прогнозная глубина протаивания через 20 лет при утрате растительного покрова составит 3,5-4,0 м, увеличение глубины протаивания составит 1,4-1,5 м, а повышение температур пород составит 0,4-0,7° С на пологих склонах, на плакорах – 0,5° С (рис. 5 и 6).

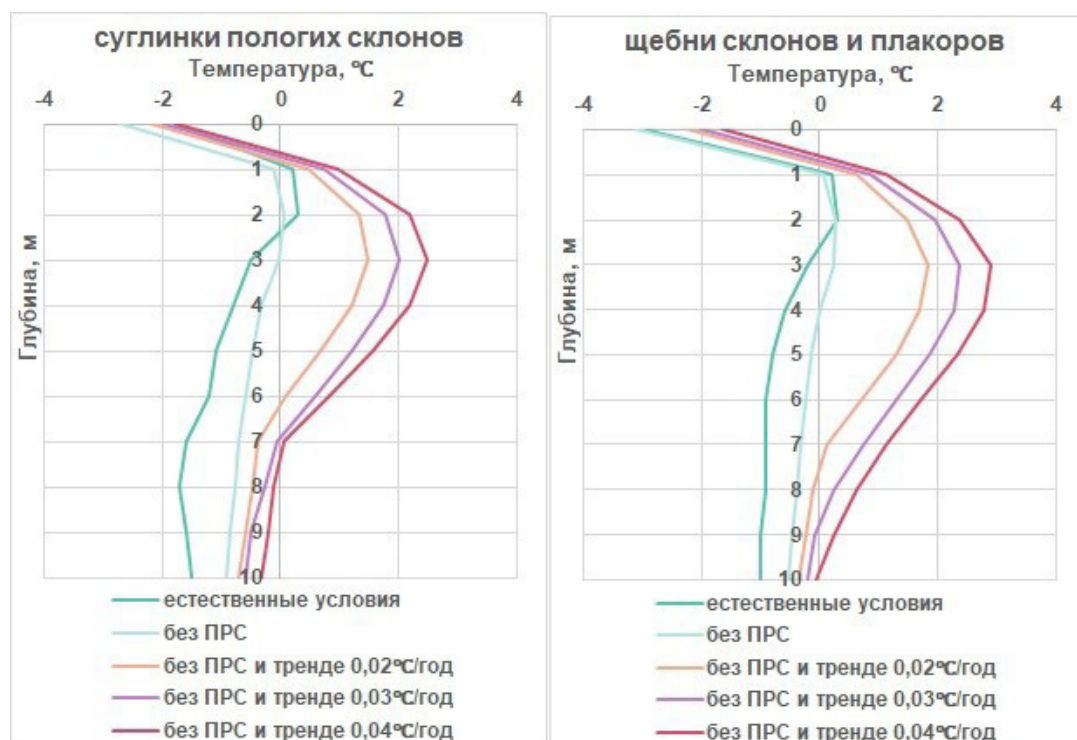


Рис. 5. Расчетное температурное распределение по глубине на примере Томмот

Fig. 5. Calculated temperature distribution by depth using the example of Tommot

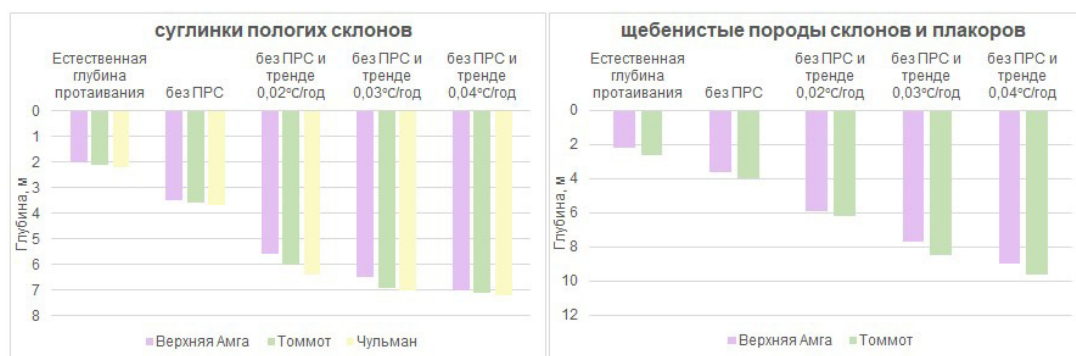


Рис. 6. Модельные глубины протаивания

Fig. 6. Modeled thaw depths

При условии повышения средней годовой температуры воздуха на 0,02° С/год протаивание достигнет глубины 5,6-6,4 м, а температура пород увеличится на 0,6-0,9° С до -0,4...-0,7° С.

При тренде повышения средней годовой температуры воздуха на 0,03° С/год протаивание увеличится до глубины 6,5-7,0 м на пологих склонах, а на щебенистых породах плакорных

участков достигнет глубины 7,7-8,5 м. Температура пород увеличится на 0,8-1,0° С, до -0,6...-0,7° С на пологих склонах и до -0,2...-0,3° С на плакорах.

При тренде повышения средней годовой температуры воздуха на 0,04° С/год протаивание увеличится до глубины 7,0-7,2 м на пологих склонах, а на щебенистых породах плакорных участков достигнет глубины 9,0-9,6 м. Температура пород увеличится на 0,9-1,2° С, до -0,3...-0,5° С на пологих склонах и до -0,1° С на плакорах.

Обсуждение

Анализ прогнозных геокриологических характеристик выявил, что на увеличение глубины протаивания в конце расчетного периода в большей степени влияет среднегодовой тренд температуры воздуха. В сравнении глубины протаивания без растительного покрова с неизменным климатом и с трендом повышения среднегодовой температуры воздуха 0,02° С/год разница составляет 2,1-2,7 м. Температуры пород на глубине нулевых колебаний в этих вариациях не особенно отличаются, на 0,1-0,2° С.

Существенное ускорение протаивания наблюдается при достижении протаивания кровли известняков. Благодаря высокой теплопроводности и малой теплоемкости этих пород, они чутко реагируют на рост среднегодовой температуры воздуха, что приводит к значительному увеличению глубины протаивания.

В случае самого негативного сценария разница глубины протаивания между стабильными климатическими условиями и в условиях повышения средней годовой температуры воздуха 0,04° С/год составит на пологих склонах 3,5 м, на плакорах 5,4-5,6 м; разница температур пород достигает 0,4-0,5° С суглинках на пологих склонах, а на щебенистых породах 0,4-0,6° С. В естественных условиях при тренде 0,04° С/год глубина протаивания на пологих склонах согласно расчетам 2,9 м, при утрате растительного покрова глубина возрастает более чем в 2 раза – на 4,1 м; разница температур пород на глубине нулевых колебаний составляет 0,9° С, что подтверждает важность недопущения нарушений растительного покрова в условиях потепления климата для устойчивости многолетнемерзлых пород.

При отсутствии растительного покрова и при различных сценариях повышения температуры воздуха наибольшие глубины протаивания на пологих склонах у участка Чульман ввиду большого количества снега, являющегося теплоизолятором в морозные месяцы.

Для щебенистых грунтов при утрате растительного покрова протаивание и повышение температур пород более интенсивное, чем для суглинистых, что объясняется большей теплопроводностью щебенистых пород. Наибольшие прогнозные показатели на участке Томмот, в силу сочетания большей высоты снежного покрова в первые месяцы и средней годовой температуры воздуха с высокими летними температурами воздуха, в отличие от участка Верхней Амги. Тем самым очевидно, что при сочетании изменения приповерхностных и климатических условий многолетнемерзлые породы чутко реагируют в силу теплофизических характеристик пород и особенностей снегонакопления.

Результаты моделирования совпадают с результатами других исследователей: по Варламову С.П. глубина протаивания увеличилась на 0,8 м на вырубленном сосновом лесу, повышение температуры грунтов составило 0,4 °С; на старых вырубках Центральной Якутии с возобновлением напочвенного покрова и лиственнично-березового мелколесья около 15-25 лет наблюдалось повышение температуры пород на 0,4-0,7° С [16]; по Федорову А.Н. на нарушенных участках глубина протаивания в первые 5 лет глубина протаивания увеличивалась на 0,3-0,5 м, а повышение температур грунтов достигало 0,5° С [17]. В Центральной Якутии на старых вырубках протаивание на суглинках увеличилось на 0,5-0,6 м, а в Южной Якутии при тренде 0,02° С/год по расчетам увеличится на 3,6-4,2 м, что можно связать с более теплыми климатическими условиями исследуемого района.

Заключение

Прогнозная глубина протаивания через 20 лет при уничтожении растительного покрова и сохранении текущих климатических условий достигнет 3,5-4,0 м, а повышение температур

пород составит 0,4-0,7° С. В условиях повышения средней годовой температуры воздуха 0,02-0,04° С/год и утраты растительного покрова протаивание достигнет глубины 5,6-9,6 м, а температура пород на глубине нулевых годовых амплитуд повысится на 0,4-1,2° С.

По результатам прогнозного моделирования сочетание факторов повышения средней годовой температуры от 0,02° С/год и утраты растительного покрова за 20 лет приведет к неизбежной деградации верхней толщ многолетнемерзлых пород и спровоцирует активизацию процессов просадок и оползней на дисперсных породах.

Литература

1. Павлов А.В. *Энергообмен в ландшафтной сфере Земли*. Новосибирск: Наука; 1984. 254 с.
2. Железняк М.Н. *Геотемпературное поле и криолитозона юго-востока Сибирской платформы*. Новосибирск: Наука; 2005. 227 с.
3. 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.
4. [Электронный ресурс] <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения: 18.05.2026).
5. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000 / Федоров А.Н., Торговкин Я.И., Шестакова А.А., СО РАН, 2018.
6. Специализированный программный комплекс Frost 3D. Сертификат соответствия № РОСС RU.HB61.H25485, выданный центром сертификации программной продукции в строительстве.
7. Самарский А.А., Гулин А.В. *Численные методы математической физики*. Москва: Научный мир, 2003: 316.
8. Научно-прикладной справочник по климату СССР, выпуск 24, часть II, IV. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1989.
9. Справочник по климату СССР, выпуск 24, часть II, IV. Ленинград, Гидрометеорологическое издательство. 1968.
10. Веселов В.М., Прибыльская И.Р., Мирзеабасов О.А. Специализированные массивы для климатических исследований. [Электронный ресурс] <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index1.shtml> (дата обращения: 18.05.2026).
11. Скачков Ю.Б. Динамика изменения среднегодовой температуры воздуха в Республике Саха Якутия за последние 50 лет. *Труды IX международного симпозиума «Баланс углерода, воды и энергии и климат бореальных и арктических регионов с особым акцентом на восточную Евразию. 1-4 ноября 2016 г. Якутск, Россия*. Наоя: Изд-во Университета Наоя. 2016: 208-211.
12. Жожиков А.В., Алексеева Е.К., Никитина С.А. Егорова В.Н. Влияние изменения климата на традиционные виды природопользования коренных жителей Республики Саха (Якутия). *Международный научно-исследовательский журнал*. 2023;12(138). DOI: 10.23670/IRJ.2023.138.188.
13. Гаврильев Р.И. *Теплофизические свойства горных пород и напочвенных покровов криолитозоны*. Новосибирск: Изд-во СО РАН; 1998: 280.
14. Фельдман Г.М., Тетельбаум А.С., Шендер Н.И., Гаврильев Р.И. *Пособие по прогнозу температурного режима грунтов Якутии*. Якутск, изд-во ИМЗ СО АН СССР; 1988: 240.
15. Горохов А.Н., Чевычелов А.П. *Природа возникновения и экологическое значение лесных пожаров в Южной Якутии*. Проблемы региональной экологии. 2025: 57-60. DOI: 10.24412/1728-323X-2025-1-57-61.
16. 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.
17. Федоров А.Н., Ивахана Г., Константинов П.Я., Мачимура Т., Аргунов Р.Н., Ефремов П.В., Лопез Л.М., Такакай Ф., Петров М.И. Изменчивость мерзлотно-ландшафтных условий после сплошной вырубки в Центральной Якутии. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2013:8.

References

1. Pavlov A.V. *Energy exchange in the landscape sphere of the Earth*. Novosibirsk: Nauka; 1984:254 (in Russian).
2. Zheleznyak M.N. Geotemperature Field and Cryolithozone of the Southeastern Siberian Platform. Novosibirsk: Nauka; 2005. 227 (in Russian).
3. Desyatkin R.V., Nikolaeva M.Kh., Ivanova A.Z., 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.
4. <http://www.pogodaiklimat.ru> (date of inquiry: 18.05.2026).
5. Permafrost-landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia). Scale 1: 1,500,000. Fedorov A.N., Torgovkin Ya.I., Shestakova A.A., Vasilyev N.F., Makarov V.S. etc.; Ch. ed. M.N. Zheleznyak. Yakutsk: IMZ SB RAS, 2018 (in Russian).
6. Frost 3D specialized software suite. Certificate of Conformity No. ROSS RU.NV61.H25485, issued by the Certification Center for Construction Software Products.
7. Samarskii A.A., Gulin A.V. *Numerical Methods of Mathematical Physics*. Moscow: Nauchnyi Mir, 2003:316 (in Russian).
8. Handbook of the USSR Climate, issue 24, part II, IV. Leningrad, Hydrometeorological Publishing House. 1968 (in Russian).
9. Scientific and Applied Climate Reference Book of the USSR, Issue 24, Parts II and IV. Leningrad: Hydrometeorological Publishing House; 1989 (in Russian).
10. <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index1.xhtml> (date of inquiry: 18.05.2026).
11. Skachkov Yu.B. Dynamics of changes in mean annual air temperature in the Republic of Sakha (Yakutia) over the last 50 years. *Proceedings of the IX International Symposium "Carbon, Water and Energy Balance and Climate of Boreal and Arctic Regions with Particular Emphasis on Eastern Eurasia"*, November 1–4, 2016, Yakutsk, Russia. Nagoya: Nagoya University Press; 2016:208–211 (in Russian).
12. Zhzhikhov A.V., Alekseeva E.K., Nikitina S.A., Egorova V.N. Impact of climat change on traditional nature use of indigenous people of the Republic of Sakha (Yakutia). *International Research Journal*. 2023;12(138) (in Russian). DOI: 10.23670/IRJ.2023.138.188.
13. Gavriliev R.I. *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).
14. Feldman G.M., Tetelbaum A.S., Shender N.I., Gavriliev R.I. A manual on forecasting the temperature regime of soils in Yakutia. Yakutsk, publishing house IMZ SB AN USSR; 1988:240 (in Russian).
15. Gorokhov A.N., Chevychelov A.P. *Nature and ecological significance of forest fires in South Yakutia*. Regional Environmental Issues. 2025;1 (in Russian). DOI: 10.24412/1728-323X-2025-1-57-61.
16. Varlamov S.P., Skachkov Yu.B., Skryabin P.N. Monitoring the thermal regime of soils in Central Yakutia. Yakutsk; Publishing house of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Institute of Permafrost Science named after. P.I. Melnikov SB RAS: 2021:156 (in Russian).
17. Fedorov A.N., Iwahana G., Konstantinov P.Ya., et al. Variability of permafrost-landscape conditions after clear-cutting in Central Yakutia. *International Journal of Applied and Basic Research*. 2013;8 (in Russian).

Об авторах

НОВОПРИЕЗЖАЯ Варвара Андреевна – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, ORCID: 0000-0003-4632-9840, ResearcherID: AER-2270-2022, Scopus Author ID: 57219963224, SPIN: 4245-5312, e-mail: schwarz999@mail.ru

About the authors

Varvara A. NOVOPRIEZZHAYA – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Researcher, P. I. 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

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The author declares no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 07.08.2026

Поступила после рецензирования / Revised 09.09.2026

Принята к публикации / Accepted 21.09.2026