

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>  
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2024, Том 11, № 1 / 2024, Vol. 11, Iss. 1 <https://resources.today/issue-1-2024.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/11NZOR124.pdf>

DOI: 10.15862/11NZOR124 (<https://doi.org/10.15862/11NZOR124>)

1.6.21. Геоэкология (географические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Макарова, В. Н. Анализ факторов внешней среды, влияющих на подтаивание вечной мерзлоты, на примере Якутии / В. Н. Макарова, В. С. Решетников // Отходы и ресурсы. — 2024. — Т. 11. — № 1. — URL: <https://resources.today/PDF/11NZOR124.pdf> DOI: 10.15862/11NZOR124

**For citation:**

Makarova V.N., Reshetnikov V.S. Prevention of degradation of the natural environment in the development of ecological tourism in specially protected natural areas. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2024; 11(1): 11NZOR124. Available at: <https://resources.today/PDF/11NZOR124.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/11NZOR124

*Авторы выражают благодарность научному консультанту: Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института мерзлотоведения имени П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, с.н.с., к.г.н. Угарову Иннокентию Спиридоновичу*

**Макарова Вера Николаевна**

ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», Владивосток, Россия  
Доцент кафедры «Экологии, биологии и географии»  
Кандидат технических наук  
E-mail: boyikova@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0575-2901>  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=801610](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=801610)

**Решетников Валерий Семенович**

ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», Владивосток, Россия  
E-mail: resh.valera654@gmail.com

## **Анализ факторов внешней среды, влияющих на подтаивание вечной мерзлоты, на примере Якутии**

**Аннотация.** Статья посвящена проблеме изменения климатических условий в зоне вечной мерзлоты и влиянию на неё факторов внешней среды. Внешние факторы включают в себя экологические, климатические и геологические аспекты окружающей среды, оказывающие возможное влияние на различные процессы и явления. К экологическим относится: интенсивность развития промышленного производства, динамика сбросов и выбросов. Под климатическими понимаются температура и осадки. Геологическим фактором внешней среды является глубина протаивания криолитозоны. Целью работы являлся анализ факторов внешней среды, влияющих на подтаивание вечной мерзлоты, на примере Якутии. В рамках данной работы авторы проанализировали данные по взаимосвязи индекса промышленного производства и поступления в окружающую среду сбросов и выбросов за 2016–2020 гг. Общее количество загрязнения атмосферного воздуха достаточно велико, практически половину состояния окружающей природной среды, в частности глубины протаивания криолитозоны, особенно на территории луга, что повлияет на использование от общего количества составляет угарный газ. Для анализа влияния загрязнённости атмосферы на сезонное протаивание грунтов вечной мерзлоты взяты данные с геокриологического стационара и проанализирована степень протаивания криолитозоны на территории луга и леса.

Научная новизна работы состоит в оценке взаимосвязи глубины протаивания и количества осадков, температуры воздуха, которая показала, что на данном этапе изменения климатических показателей она отслеживается только в локальных проявлениях. Практическая значимость работы заключается в оценке изменений в глубине протаивания криолозоны за исследуемый период.

Результаты показали один из важных факторов влияния на подтаивание вечной мерзлоты — повышение среднегодовой температуры. Полученные нами данные подтверждают, что среднемесячная температура действительно значительно повышается. В Якутии в связи с этим возрастает опасность изменения сельскохозяйственных культур на территории Республики.

**Ключевые слова:** вечная мерзлота; подтаивание; промышленное производство; выбросы; сбросы; лес; луг

### Введение

Одной из ключевых мировых проблем является вопрос о глобальном изменении климата. Зачастую ее связывают с изменением уровня мирового океана, вследствие таяния ледников, уменьшения площади территории вечной мерзлоты. Чаще всего изменение климата ассоциируется с воздействием человеческой деятельности (антропогенное воздействие) на состояние биосферы.

В нашей стране проблема оценки воздействия промышленных предприятий изучена в достаточном объеме для отдельных направлений практического опыта в сфере пищевого производства, металлургии, промышленное производство в целом. Это работы Н.М. Привалова, М.В. Двадненко, С.С. Булаев, А.П. Доненко, Т.Г. Короткова, Г.Х. Хурья, М.Н. Чомаева и др. [1–4].

Актуальность проблемы, изменения климатических условий характерны для разных уголков России и мира в целом. Площадь вечной мерзлоты (криолитозоны) на территории Российской Федерации занимает около 62 процентов от общей территории страны (10,70 км кв. от 17,26 км кв.) по состоянию на май 2023 года [5]. В условиях глобального потепления наиболее динамичные изменения климата фиксируют в Сибири, в первую очередь — в Арктической зоне России. На трансформацию климата откликаются все экосистемы — лес, водоёмы, растения, но одной из наиболее чувствительно реагирующих экосистем является экосистема зоны вечной мерзлоты. Её таяние — предмет многочисленных споров и предположений, связанных с экологическими катастрофами, угрожающими Земле, а также с перманентным воздействием производства на окружающую среду. Также в результате бытовой и производственной деятельности человека земля подвергается таянию (интенсивному разрушению), при этом из-за промерзания она теряет способность к аккумуляции влаги и питательных веществ, удерживать тепло, грунт проседает, что приводит к его заболачиванию. Это может привести к нарушению естественных водных и воздушных процессов почвы, а также к её загрязнению и засорению [6–13].

Загрязнение атмосферы тоже влияет на таяние почвы вечной мерзлоты, в результате бытовой и производственной деятельности человека атмосфера подвергается тепловому загрязнению, а также загрязнению химическими соединениями, препятствующими тепловому излучению с поверхности Земли. Это приводит к потеплению, что, в свою очередь, будет способствовать большему таянию почвы криолитозоны [14–17].

Для определения воздействия факторов внешней среды на криолитозону мы проведем анализ их взаимосвязи, а именно воздействие климатических, экологических и геологических параметров и состояния (глубины) криолитозоны.

Целью работы является анализ факторов внешней среды, влияющих на подтаивание вечной мерзлоты, на примере Якутии. Использование данного анализа позволит выявить взаимосвязь экологических факторов и их влияния на подтаивание вечной мерзлоты, на примере города Якутска. Задачи исследования: анализ взаимосвязи развития производства и его воздействия на окружающую среду; изучение влияния климатических факторов на эколого-геологические процессы; изучение влияния антропогенного фактора на динамику эколого-геологических процессов.

Объект исследования: процесс воздействия внешних факторов протаивание вечной мерзлоты.

Предмет исследования: уровень влияния факторов, связанных с производством на подтаивание вечной мерзлоты на примере Якутии.

### Материалы и методы

Материалы и методы: в качестве информационной основы для исследования использовались данные Федеральной службы государственной статистики, а также ежегодный отчет субъекта Российской Федерации, направленный на выполнение Посланий Президента Российской Федерации Федеральному Собранию РФ. Кроме того, была использована нормативно-правовая база в области реализации экологической политики государства.

Оценка взаимосвязи между динамикой сбросов (выбросов) и интенсивностью промышленного производства в Якутии, в том числе на основе корреляционного (включая расчёт t-критерия Стьюдента для оценки значимости полученного коэффициента корреляции (r)) и графического анализа. В работе взаимосвязь между динамикой промышленного производства и объемом загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты обозначалась нами как r1, а взаимосвязь между динамикой промышленного производства и объемом выбросов в атмосферу загрязняющих веществ как r2.

Данные исследования сезонного протаивания, приведённые в данной статье, ведутся на Геоэкологическом стационаре «Туймаада» (г. Якутск)

### Основная часть

Современная экологическая ситуация в Республике Саха (Якутия) обусловлена, с одной позиции, наличием малонаселенных территорий, на которых практически отсутствует хозяйственная деятельность, с другой стороны, наличием районов с очень высокой антропогенной нагрузкой от промышленных предприятий в сфере добычи природных ресурсов.

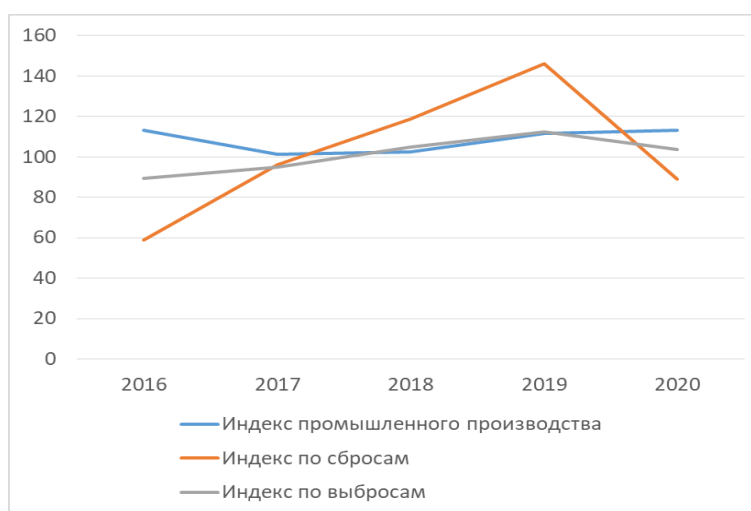
Нет довольно умеренного распределения производственной деятельности на территории, основная привязка идет к местам залегания природных ресурсов, а, следовательно, источники выбросов и зоны экологической напряженности будут распределяться на территории республики неравномерно.

Существуют также потенциальные риски от объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. Основной вклад в негативное воздействие на природную среду вносят предприятия, занимающиеся добычей полезных ископаемых и обеспечивающие электрическую и тепловую энергию.

Республика Саха занимает лидирующие позиции в России, в первую очередь, в добывающих отраслях. Основные отрасли, оказывающие воздействие на окружающую среду, включают электроэнергетику, горнодобывающую промышленность, нефтегазовый сектор и промышленность строительных материалов. При этом преобладающее количество выбросов приходится на выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников, загрязняющих атмосферный воздух.

При анализе данных наблюдений загрязняющие вещества в атмосфере Якутии, которые вносят основной вклад в создание высокого уровня загрязнения определяются согласно действующим нормативам. Значения предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ устанавливаются в соответствии с утвержденными гигиеническими нормативами.<sup>1</sup>

На рисунке 1 показана ежегодная динамика показателей с 2016 по 2020 года в Республике Саха (Якутия).



**Рисунок 1.** Динамика показателей с 2016 по 2020 по Республике Саха (Якутия) ( $r1 = (-) 0,12$ ;  $r2 = 0,16$ ) (составлено автором)

На графике представленном на рисунке 1 виден резкий рост индекса по выбросам в 2016 году и такое же резкое снижение, и практически неизменная величина индекса промышленного производства, в течении нескольких последующих лет.

На графике представленном на рисунке 1 виден интенсивный рост индекса по сбросам до 2019 года и практически неизменные величины индекса промышленного производства и индекса по выбросам.

Распределение загрязняющих веществ в валовых выбросах в атмосферу по Республике Саха (Якутия) представлено в таблице 1.

На основании таблицы 1 можно сделать вывод, что общее количество загрязнения атмосферного воздуха достаточно велико, практически половину от общего количества составляет угарный газ. К 2020 году количество загрязняющих веществ достигло своего максимума (286,319 тыс. т). Больше всего волнует постепенный рост количества твёрдых веществ(пыль). Пыль, которая поднимается выше облаков и при этом не происходят процессы, способствующие очищению ее с помощью осадков, способствует снижению прозрачности

<sup>1</sup> ГН 2.1.6.1983-05. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Дополнения и изменения № 2 к ГН 2.1.6.1338-03 [Электронный ресурс]. URL: [http://snipov.net/database/c\\_4164565195\\_mod\\_4294844491.html](http://snipov.net/database/c_4164565195_mod_4294844491.html) (дата обращения: 07.03.2017).

атмосферного воздуха. создает своеобразный экран для солнечного света и меняет отражательную способность Земли. Также за счет загрязнения атмосферы аэрозолями и газами происходит резкое снижение количества солнечной радиации. Ультрафиолетовая радиация, при этом уменьшается практически на треть, а ее видимая составляющая — более чем на половину, также приводит к повышению температуры на планете, что также может привести к негативному воздействию на территории, которые находятся в вечной мерзлоте.

Таблица 1

**Доля загрязняющих веществ в валовых выбросах  
в атмосферу от стационарных источников с 2016 по 2020 гг.**

№ п/п	Загрязняющие вещества, тыс. т	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
1	Оксид углерода	126,123 (49 %)	118,801 (49 %)	138,357 (54 %)	151,699 (54 %)	140,101 (49 %)
2	Твердые вещества	53,214 (21 %)	51,960 (21 %)	46,485 (18 %)	58,638 (21 %)	58,638 (20 %)
3	Оксиды азота	34,113 (13 %)	33,396 (14 %)	29,530 (12 %)	32,085 (11 %)	40,915 (14 %)
4	углеводороды	16,537 (6 %)	14,106 (6 %)	21,017 (8 %)	14,700 (5 %)	14,411 (5 %)
5	Летучие органические соединения	13,540 (5 %)	12,195 (5 %)	9,798 (4 %)	12,140 (5 %)	16,159 (6 %)
6	Диоксид серы	13,057 (5 %)	25,812 (11 %)	10,819 (4 %)	13,749 (5 %)	14,516 (5 %)
7	Прочие газообразные и жидкие	—	—	0,264 (0 %)	1,163 (0 %)	1,579 (1 %)
8	Всего	256,584	243,611	256,270	281,712	286,319

*Составлено автором*

Для анализа влияния загрязнённости атмосферы на сезонное протаивание грунтов вечной мерзлоты мы взяли данные с геокриологического стационара «Туймаада» (г. Якутск), на рисунке 2 — показаны территория луга и леса, состояние которой анализировалось.

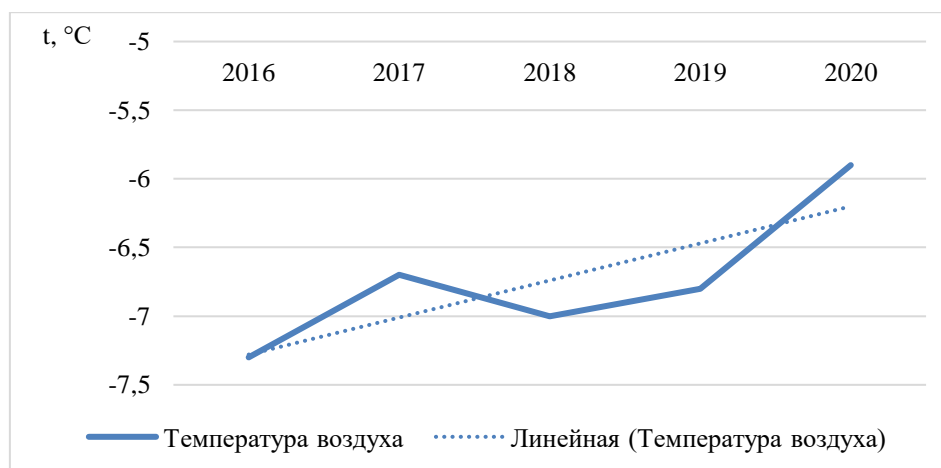
Данные исследования сезонного протаивания с Геокриологического стационара «Туймаада» (г. Якутск).

Описание площадки луга (рис. 2): естественная, размером 50×50 м<sup>2</sup>, размещается в средней части лесной поляны. Травяной покров несомкнут, представлен злаками и разнотравьем. Литологический разрез горных пород в пределах поляны сравнительно однородный: до 0,2–0,3 м дерново-растительный слой; с 0,2–0,3 до 0,6 м — легкий суглинок; далее песок мелкозернистый вначале с прослоями супеси, затем растительного детрита и гальки.



**Рисунок 2.** Снимок со спутника территории ст. Якутск, май 2020 год, выделены изучаемые участки (составлено автором)

Описание площадки леса (рис. 2): площадка леса размещена в сосновом лесу, на расстоянии около 200 м от площадки луга. Таксационные характеристики сосняка (10Л) следующие: возраст 50–70 лет; бонитет V; сомкнутость крон 0,3–0,4; средняя высота деревьев 9–10 м; преобладающий диаметр стволов на уровне груди 10–15 см; число стволов на гектар составляет без учета подроста 1 200–1 300. В травяном покрове под пологом леса встречается разнотравье, но преобладает толокнянка; степень покрытия почвы составляет около 70 %. Лес относится к сосняку толокнянковому. Лесная постилка состоит из хвои, мха, корней, различных сгнивших и полусгнивших остатков; имеет толщины всего 0,02–0,03 м. Далее необходимо рассмотреть изменение температуры воздуха (рис. 3).

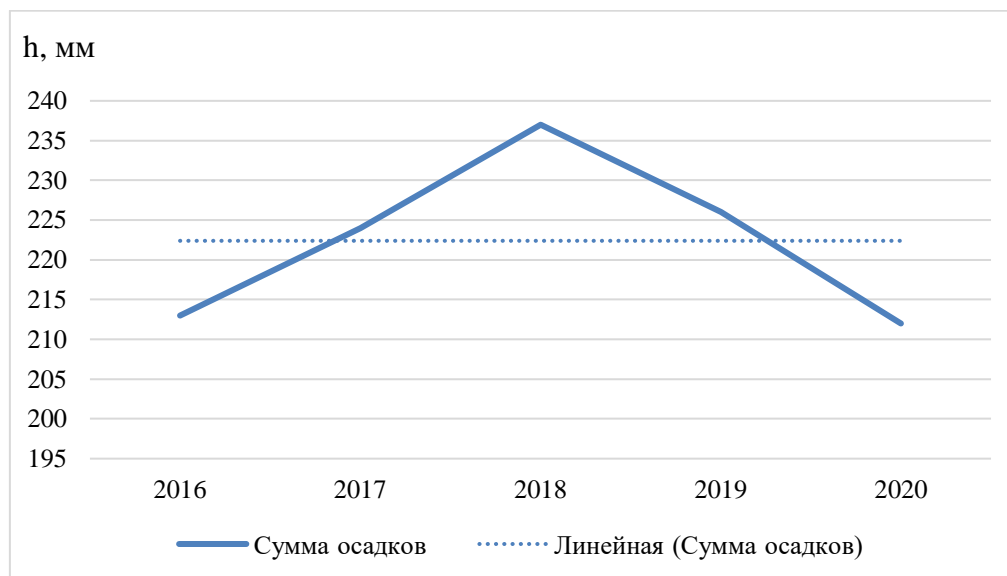


**Рисунок 3.** Ход среднегодовой температуры воздуха с 2016 по 2020 гг. (составлено автором)

По данному графику на рисунке 3 наблюдается постепенный рост температуры воздуха в корреляции по результату наблюдений с 2016 по 2020 год и временной тренд температуры за тот же период.

Как итог за последние пять лет наблюдений температура повысилась на 1,4 градуса Цельсия, что может способствовать более интенсивному изменению климата и таянию криолитозоны.

При анализе сезонного протаивания грунтов вечной мерзлоты важно также рассмотреть среднегодовое поступление осадков (рис. 4).



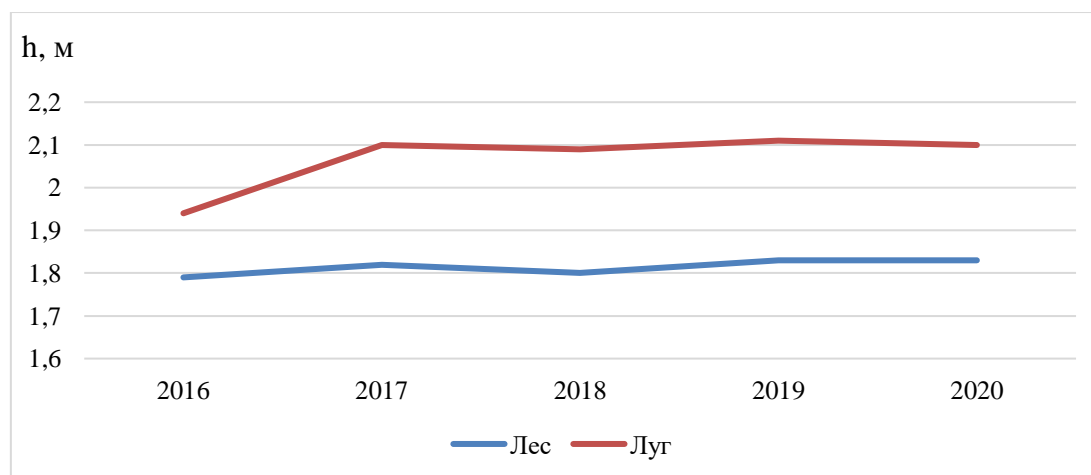
**Рисунок 4.** Среднегодовой ход суммы осадков с 2016 по 2020 гг. (составлено автором)

На рисунке 4 — мы видим среднегодовой ход суммы осадков и временной тренд по ним за тот же период. Отметим, что с 2016 года наблюдается рост осадков на территории вплоть до 2018 года и такое же постепенное их снижение.

Но, как известно, за счет потепления климата, осадки не уменьшаются, а, наоборот, увеличиваются, по отношению к предыдущему рассматриваемому периоду (2016–2017 гг.).

По взаимосвязи температуры и осадков, можно сделать вывод, что прямая взаимосвязь между ними отсутствует.

Далее можно приступить к анализу сезонного протаивания грунтов вечной мерзлоты (рис. 5).



**Рисунок 5.** Изменчивость сезонно-талого слоя по годам (составлено автором)

Как видно из рисунка 5, среднегодовые вариации глубин сезонного протаивания на площадках слабо коррелируют с метеорологическими параметрами (рис. 3, 4). Если, к примеру, за период 2016–2019 гг. мы видим практически прямую взаимосвязь температуры воздуха и глубины протаивания — для луга, то в случае с лесом такая тенденция выражена не столь ярко.

Максимальная мощность сезонно-талого слоя (СТС) достигала в 2019 году в двух площадках (луг и лес), который не характеризуется ни повышенными значениями индекса протаивания, ни экстремальным количеством летних осадков. В то же время, для 2018 года, характеризовавшемся одними из наименьших глубин сезонного протаивания.

### Обсуждение

Таким образом мы получаем следующие результаты:

Представленный выше анализ не позволяет сделать вывод о наличии взаимосвязи между темпами промышленного производства и интенсивностью его воздействия на окружающую среду для Республики Саха (Якутия). Статистически значимая зависимость между рассматриваемыми в исследовании процессами (между темпами развития промышленного производства и объемами сбросов) не была получена, графический и сравнительный анализ обобщенных в работе данных также косвенно подтверждает состоятельность апробированной гипотезы.

По взаимосвязи температуры и осадков, можно сделать вывод, что прямая взаимосвязь между ними отсутствует.

Повышение температуры воздуха сильно повлияло на сезонно-талый слой (СТС) луга, глубина протаивания увеличилась до 0,17 м. По сравнению с лугом сезонно-талый слой (СТС) леса мало изменился (в пределах 0,05–0,07 м), что объясняется затененностью поверхности лесного покрова.

За период, выбранный нами с 2016 года по 2020 год особо интенсивного изменения температуры и протаивания почвы вечной мерзлоты не произошло, но наблюдаются маленькие изменения, которые со временем могут перерасти в большее.

Одним из ключевых факторов влияния на подтаивание вечной мерзлоты является повышение среднегодовой температуры. Полученные нами данные подтверждают, что среднемесячная температура действительно значительно повышается (2016 г., май: норма среднемесячной температуры мая: 7.5°. Фактическая температура месяца по данным наблюдений: 7.6°. Отклонение от нормы: +0.1°. Норма суммы осадков в мае: 20 мм. Выпало осадков: 15 мм. Эта сумма составляет 75 % от нормы. Самая низкая температура воздуха (-5.8°) была 4 мая. Самая высокая температура воздуха (26.9°) была 31 мая).

В связи с развитием производства, особенно в топливно-энергетическом комплексе, а также в сельском хозяйстве, растет антропогенное воздействие на окружающую природную среду. Поэтому особое внимание необходимо уделять проблеме экологизации природопользования. В связи с этим в Якутии возрастает опасность изменения эколого-геологической ситуации.

Среднегодовые вариации глубин сезонного протаивания на площадках слабо коррелируют с метеорологическими параметрами, за период 2016–2019 гг. Практически прямая взаимосвязь температуры воздуха и глубины протаивания — для луга, то в случае с лесом такая тенденция выражена не столь ярко.

Изучить влияние антропогенных факторов на динамику факторов внешней среды, на данный момент невозможно, поскольку отсутствует взаимосвязь между темпами промышленного производства и интенсивностью его воздействия на окружающую среду для Республики Саха (Якутия).



Научная новизна работы состоит в оценке взаимосвязи глубины протаивания и количества осадков, температуры воздуха, которая показала, что на данном этапе изменения климатических показателей она отслеживается только в локальных проявлениях. Практическая значимость работы заключается в оценке изменений в глубине протаивания криолозоны за исследуемый период.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Привалова, Н.М. Экологический аспект производства консервной продукции / Н.М. Привалова, С.С. Булаев // Научные труды КубГТУ: 2019. — С. 922–930. URL: <https://ntk.kubstu.ru/data/mc/0063/2617.pdf> (дата обращения: 09.03.2023).
2. Анализ и разработка мероприятий в области охраны атмосферного воздуха консервного производства / Н.М. Привалова, М.В. Двадненко, С.С. Булаев // Научные труды КубГТУ: 2019. № 3. — С. 931–937. URL: <https://ntk.kubstu.ru/data/mc/0063/2618.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).
3. Характеристика рисоперерабатывающего предприятия как источника загрязнения атмосферного воздуха / А.П. Доненко, Т.Г. Короткова // Научные труды КубГТУ: 2016. № 11. — С. 1–13. URL: <https://ntk.kubstu.ru/data/mc/0032/1182.pdf> (дата обращения: 09.03.2023).
4. Промышленное производство и экология среды: аспекты взаимовлияния / Г.Х. Хурья, М.Н. Чомаева // Международный журнал гуманитарных и естественных наук: 2021. № 9-1(60). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obrabatyvayushchie-proizvodstva-i-zdorovie-naseleniya-v-regionah-bazirovaniya-k-poisku-vzaimosvyazi> (дата обращения: 05.02.2023).
5. Павлова Т.В., Катцов В.М., Надежина Е.Д. и др. // Криосфера Земли. — 2007. Т. 11. № 2. — С. 3–13.
6. Денисов, В.А. Мониторинг таяния вечной мерзлоты и анализ динамики изменения рельефа в целях экологической безопасности / В.А. Денисов, Б.Н. Олзоев. // ИРНИТУ, 2021. — С. 189–192.
7. Анастасьева, И.В. Инfiltrация почв в условиях вечной мерзлоты в западной части Саха(Якутия) / И.В. Анастасьева, И.А. Соловьёва, В.И. Орехова // Экология речных ландшафтов. Кубанский аграрный государственный университет имени И.Т. Трубилина, 2017. — С. 12–15.
8. Исследование стабильности геодезических центров в районе вечной мерзлоты / Ложкин А.О., Ходаков П.А. // Геодезия и картография. — 2012. № 3. — С. 21–26.
9. Науменко, В.О. Влияние структурных особенностей осадочного чехла на газовый состав таблицы вечной мерзлоты на севере Западной Сибири / В.О. Науменко, М.Д. Завацкий, А.Ю. Белоносов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2016. Т. 327. № 4. — С. 108–118. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klimaticheskie-osobennosti-i-statisticheskie-otsenki-izmeneniya-elementov-klimata-v-rayonah-vechnoy-merzloty-na-territorii-severa/viewer>.
10. Лебедева, Л.С. Температура пород в слое годовых теплооборотов в районе распространения надмерзлотных таликов в Центральной Якутии / Л.С. Лебедева, Н.Е. Баишев, Н.А. [и др.] Павлова // 2023. — № 2. — С. 3–15. URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/551742846/>.

11. Матышак, Г.В. Влияние влажности на эмиссию CO<sub>2</sub> из почв бугристых торфяников севера Западной Сибири / Г.В. Матышак, С. В. Чуванов, О.Ю. Гончарова [и др.] // Почвоведение. — 2022. — № 2. — С. 450–463. URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/552607989/>.
12. Демченко П.Ф., Величко А.А., Голицын Г.С. и др. Судьба вечной мерзлоты: взгляд из прошлого в будущее. — Природа, 2001, № 11, с. 43–49.
13. Риски чрезвычайных ситуаций в арктической зоне Российской Федерации / Молчанов В.П., Акимов В.А., Соколов Ю.И. // Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России — 2011. — С. 300.
14. Бурматова, О.П. Возможности внедрения принципа НДТ в российскую практику экологической политики / О.П. Бурматова. // Мир экономики и управления. — 2018. — № Том 18, № 3. — С. 29–41.
15. Губин С.В., Лупачев А.В., Шатилович А.В. и др. Влияние криогенного массообмена на распределение жизнеспособной микрофауны в профилях криоземов // Почвоведение. — 2016, № 12, — С. 1485–1490.
16. Шмакова Л.А., Ривкина Е.М. Живые эукариоты типа амоевозоа из многолетнемерзлых отложений Арктики // Палеонтол. журн., 2015, № 6, С. 14–19.
17. Конищев В.Н. Реакция вечной мерзлоты на потепление климата // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2009. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reaktsiya-vechnoy-merzloty-na-poteplenie-klimata> (дата обращения: 15.09.2023).

**Makarova Vera Nikolaevna**

Vladivostok State University, Vladivostok, Russia

E-mail: boyikova@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0575-2901>

RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=801610](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=801610)

**Reshetnikov Valeriy Semyonovich**

Vladivostok State University, Vladivostok, Russia

E-mail: resh.valera654@gmail.com

## Prevention of degradation of the natural environment in the development of ecological tourism in specially protected natural areas

**Abstract.** The article is devoted to the problem of changing climatic conditions in the permafrost zone and the influence of environmental factors on it. External factors include environmental, climatic and geological aspects of the environment that have a possible impact on various processes and phenomena. Environmental factors include: the intensity of the development of industrial production, the dynamics of discharges and emissions. Climate refers to temperature and precipitation. The geological factor of the external environment is the depth of thawing of the cryolithozone. The aim of the work was to analyze environmental factors affecting permafrost melting, using the example of Yakutia.

Within the framework of this work, the authors analyzed data on the relationship between the index of industrial production and the environmental discharge and emissions for 2016–2020. The total amount of atmospheric air pollution is quite large, almost half of the total amount is carbon monoxide. To analyze the influence of atmospheric pollution on the seasonal thawing of permafrost soils, data from a geocryological hospital were taken and the degree of thawing of the cryolithozone on the territory of meadows and forests was analyzed. The scientific novelty of the work consists in assessing the relationship between the depth of thawing and the amount of precipitation, air temperature, which showed that at this stage of climate change, it is monitored only in local manifestations. The practical significance of the work lies in the assessment of changes in the depth of thawing of the cryolithozone during the study period.

The results showed one of the important factors influencing permafrost thawing — an increase in the average annual temperature. The data we have obtained confirm that the average monthly temperature is indeed significantly increasing. In Yakutia, in this regard, there is an increasing risk of changes in the state of the environment, in particular the depth of thawing of the cryolithozone, especially on the territory of the meadow, which will affect the use of agricultural crops on the territory of the Republic.

**Keywords:** permafrost; thawing; industrial productions; emissions; discharges; forest; meadow