

## Анализ климатических факторов в аспекте развития процессов засоления в почвах северотаежных ландшафтов

О. В. Шадринова ✉

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,  
Российская Федерация  
(677000, г. Якутск, пр. Ленина, 39)

**Аннотация.** Цель – анализ природно-климатических факторов в зоне активного развития процессов засоления почв северотаежных ландшафтов на северо-западе Якутии на примере промышленной площадки Айхальского горно-обогатительного комбината (АГОК АК «АЛРОСА» (ПАО)).

**Материалы и методы.** Анализ климатических факторов произведен по массиву данных метеостанции Шелагонцы за период с 1985 по 2019 годы, подготовленному в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. Рассмотрены ход многолетних среднегодовых температур и сумма годовых осадков. Рассчитаны коэффициент увлажнения, испаряемость, индекс аридности и коэффициент континентальности.

**Результаты и обсуждение.** В ходе работ установлено, что на территории исследования наблюдается достоверный рост среднегодовых и внутрисезонных температур воздуха, максимальный их рост приходится на весенний период (+4,6 °С). Количество осадков наряду с коэффициентом увлажнения имеют нисходящий тренд при одновременном повышении испаряемости на протяжении исследуемого периода. Совокупность этих факторов могут способствовать аккумуляции солей в верхних горизонтах почв.

**Выводы.** Территория исследования характеризуется крайне-континентальным сильно аридным климатом с отрицательными среднегодовыми температурами, достаточным увлажнением и хорошо расчлененным рельефом. Анализ природно-климатических факторов показал отсутствие объективных предпосылок к развитию процессов природного засоления почв. Распространение площадного галогенеза на территории промышленной площадки имеет техногенный характер, а источником солей при этом являются отвалы пустых пород.

**Ключевые слова:** северотаежные ландшафты, техногенное засоление, климат Якутии, коэффициент увлажнения, индекс аридности.

**Источник финансирования:** Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН в рамках проекта НИР № FUGG-2024-0007.

**Для цитирования:** Шадринова О. В. Анализ климатических факторов в аспекте развития процессов засоления в почвах северотаежных ландшафтов // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2024, № 2, с. 106-115. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/90-99>

### ВВЕДЕНИЕ

Климат – главный фактор почвообразования, с которым связано проявление самых общих законов географии почв [5]. Влияние климата на растительность, почвы и другие объекты природы было установлено еще в классических работах А. Гумбольдта, В. В. Докучаева, Л. С. Берга, А. А. Григорьева и М. И. Будыко [3]. По данным Госдоклада [7] температура воздуха в 2021 году в среднем по территории России незначительно превысила норму: среднегодовая аномалия температуры воздуха составила +1,35 °С. Температуры выше климатической нормы наблюдались практически на всей территории страны. В Национальном докладе [14] отмечают, что до недавнего времени главными проблемами деградации земель назывались вопросы потери плодородия почв и продовольственной безопасности, а в последние годы все чаще начинают звучать проблемы климатических изменений, связанные с деграда-

цией земель. В настоящее время опубликовано много работ, посвященных изучению аридизации климата и связи ее с процессами засоления почв [16, 17, 18].

На карта-схеме распространения засоленных почв в пределах сельскохозяйственных угодий на территории субъектов Российской Федерации выделены ареалы распространения мерзлотных засоленных почв на территории Якутии [15]. На рисунке 1 представлен фрагмент карта-схемы, где выделены площади среднего течения реки Лена и ее левого притока реки Вилюй, в пределах которых, как правило, засоление развивается в результате геологических процессов и аласного седиментоза, и узкие участки прибрежной части, где развитие процессов природного первичного засоления почв связано с золовым переносом с поверхности Восточно-Сибирского моря и моря Лаптевых.

Целью работы является анализ природно-климатических факторов в зоне активного развития про-





Рис. 1. Фрагмент карта-схемы распространения засоленных почв в пределах сельскохозяйственных угодий на территории субъектов РФ ([15] с дополнениями автора)  
 [Fig. 1. Fragment of the map-scheme of the distribution of saline soils within agricultural lands on the territory of the regions of the Russian Federation ([15] with additions by the author)]

цессов засоления почв северотаежных ландшафтов на северо-западе Якутии на примере промышленной площадки Айхальского горно-обогатительного комбината (АГОК АК «АЛРОСА» (ПАО)).

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Расчеты произведены по массиву данных ближайшей метеостанции, внесенной в Список станций Росгидромета, подготовленного в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова – станции Шелагонцы [1], расположенной на 66°25' с.ш. и 114°20' в.д. Проанализированы климатические характеристики с 1985 по 2019 годы. Выбор периода объясняется наличием всех необходимых климатических показателей, начиная с 1985 года.

Коэффициент увлажнения (КУ) рассчитан по формуле Высоцкого-Иванова [8]:

$$КУ = \frac{R}{E_0},$$

где  $R$  – сумма осадков за год (мм),  $E_0$  – годовая сумма испаряемости (мм). Анализ степени увлажнения проведен по следующей градации, представленной авто-

ром формулы: >1,5 % – зона избыточного увлажнения, 1,49-1 % – зона достаточного увлажнения, 0,99-0,60 % – зона умеренного увлажнения, 0,59-0,30 % – зона недостаточного увлажнения, 0,29-0,13 % – зона скудного увлажнения, 0,12-0,00 – зона ничтожного увлажнения.

Для определения КУ необходимы показатели испаряемости. Испаряемость ( $E_0$ ) рассчитана по формуле Иванова Н. Н.:

$$E_0 = 0,0018(25 + t)^2(100 - f),$$

где  $t$  – среднемесячная температура воздуха (°C),  $f$  – среднемесячная влажность воздуха (%) [9].

Индекс аридности (IA) рассчитан по формуле [13]:

$$IA = \frac{\sum P_{1-12}}{5,12 \cdot \sum t_{4-10} + 306},$$

где  $\sum P_{1-12}$  – годовая сумма осадков (мм),  $\sum t_{4-10}$  – сумма среднемесячных температур теплого периода (апрель-октябрь) (°C). Оценка степени аридности территории проводилась по следующей классификации: менее 0,16 – крайне аридные; 0,16-0,30 – сильно аридные; 0,31-0,45 – аридные; 0,46-0,60 – субаридные; 0,61-0,80 – слабо аридные; 0,8-1,0 – периодически аридные [12].

Также рассчитан коэффициент континентальности (КК) по формуле Иванова Н. Н.:

$$КК = \frac{A \cdot 100}{0,33f},$$

где  $A$  – амплитуда годовых температур воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $f$  – широта местности. Применена его шкала с 10 градациями континентальности [10], в которой 100% является средней планетарной величиной континентальности, от нее вниз идет группа океанических климатов, а вверх – континентальных: 100-121% – слабо-континентальный климат, 122-146% – умеренно-континентальный, 147-177% – континентальный, 178-214% – резко-континентальный, более 214% – крайне-континентальный.

Построение графиков и многолетней скользящей средней произведены в программе Microsoft Office Excel2010. Статистические расчеты выполнены с помощью пакета программы STATISTICA10.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Территория исследования находится на северо-западе Республики Саха (Якутия) в Якутской алмазодобывающей провинции в п. Айхал Мирнинского района в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород, где на промышленной площадке Айхальского ГОКа наблюдается развитие площадного распространения процессов засоления почв [19].

Рассматриваемая территория находится в зоне формирования одного из крупнейших полей Якутской алмазодобывающей провинции – Алаakit-Мархинского кимберлитового поля, где помимо кимберлитовых трубок и пород магматического вулканизма, на поверхность выходят породы ордовика и пермь-триаса. Породы не засолены. Практически все образования кембрийских и ордовикских систем в той или иной мере гипсоносны. Надмерзлотные подземные воды на территории представлены водами сезонно-талого слоя, водами гидрогенных подрусловых таликов и водами гидрогенных подземных таликов. Водоупором для них служит поверхность многолетней мерзлоты.

Воды сезонноталого слоя формируются за счет атмосферных осадков, характеризуются сплошным распространением, приурочены к рыхлым четвертичным отложениям и существуют только в период положительного баланса температур. Глубина распространения поверхностных вод, как правило, не превышает 1-2 м в конце теплого периода. Состав подземных вод сезонно-талого слоя непостоянен и является преимущественно гидрокарбонатнокальциевым с минерализацией от 0,03 г/л до 0,5 г/л. Ниже, на глубине 260-410 м, залегают межмерзлотные воды с минерализацией от 74,3 до 310 г/л, обладающие слабой щелочной реакцией [6]. Выходов высокоминерализованных вод на дневную поверхность не зафиксировано.

Температура воздуха территории характеризуется довольно большими годовыми амплитудами (табл. 1). Средняя температура самого холодного месяца года равна  $-39,8^{\circ}\text{C}$ , самого теплого месяца  $+15,1^{\circ}\text{C}$ . Максимальная среднемесячная температура июля за рассматриваемый период составила  $+18,3^{\circ}\text{C}$ . Минимальная температура января опускалась до  $-48,9^{\circ}\text{C}$ .

Распределение среднемесячных атмосферных осадков имеет аналогичный температуре ход: максимум приходится на летние месяцы, минимум – на зимние (рис. 2). В целом, среднемесячная температура в течение года характеризуется небольшим значением стандартного отклонения и ее диапазон довольно постоянен. В то же время изменчивость суммы атмосферных осадков в летние и осенние месяцы достаточно широка (см. табл. 1).

Статистические показатели среднегодовых климатических характеристик представлены в таблице 2. Значения среднегодовой температуры воздуха отрицательны, наряду со значением континентальности характеризуются небольшим стандартным отклонением. Суммы годовых атмосферных осадков и испаряемости имеют среднюю вариабельность, значения коэффициента увлажнения колеблются в широких пределах, что обусловлено различием количества осадков в летнее и зимнее время.

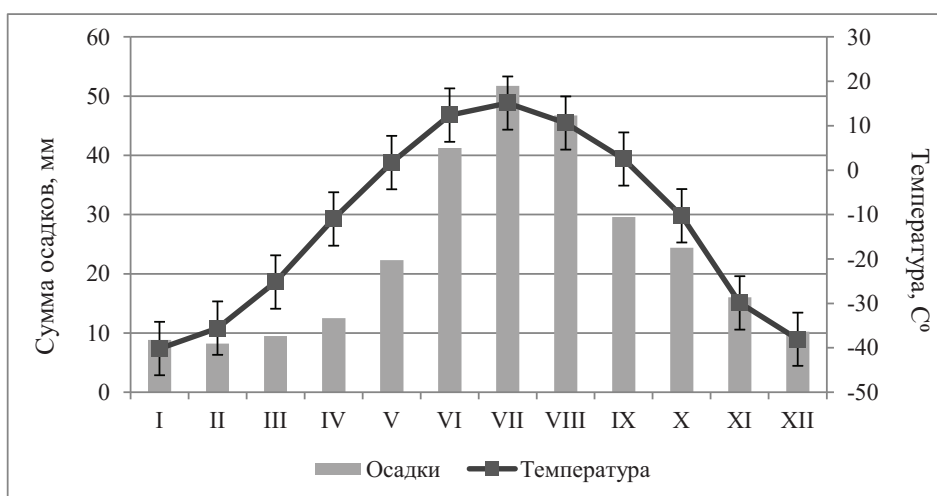


Рис. 2. Ход среднемесячных температур воздуха и осадков по медиане [Fig. 2. The course of average monthly annual temperatures and precipitation by median]

Таблица 1

Среднемесячные показатели температуры воздуха (°С) и суммы осадков (мм) на метеостанции Шелагонцы за 1985-2019 годы

[Table 1. Monthly average air temperature (°C) and precipitation total (mm) at the Shelagontsy weather station since 1985-2019]

Месяцы / Months	Среднее / Average	Медиана / Median	Минимум / Minimum	Максимум / Maximum	Ст. откл./ Standard deviation
<i>Температура / Temperature</i>					
Январь	-39,8	-40,2	-48,9	-27,1	4,4
Февраль	-35,7	-35,6	-42,4	-28,9	3,9
Март	-24,0	-25,2	-32,1	-12,7	4,1
Апрель	-10,4	-11,0	-16,4	-3,1	3,2
Май	1,8	1,7	-2,9	7,7	2,4
Июнь	12,0	12,4	7,7	17,2	2,2
Июль	15,1	15,1	11,7	18,3	1,7
Август	10,8	10,6	8,6	14,5	1,3
Сентябрь	2,5	2,5	0,1	5,6	1,4
Октябрь	-10,5	-10,3	-16,1	-2,7	3,1
Ноябрь	-29,9	-29,9	-37,9	-24,0	3,8
Декабрь	-37,8	-38,1	-44,3	-30,7	3,2
<i>Осадки / Precipitation</i>					
Январь	9,2	8,8	4,1	18,6	2,9
Февраль	8,0	8,2	1,1	15,3	3,7
Март	9,4	9,5	2,1	17,0	4,1
Апрель	13,3	12,5	3,0	24,1	5,4
Май	25,3	22,3	2,5	54,7	13,4
Июнь	46,7	41,2	6,1	96,8	24,5
Июль	51,5	51,7	4,4	123,8	28,9
Август	54,7	46,7	7,7	124,9	27,1
Сентябрь	31,2	29,6	3,8	78,3	17,8
Октябрь	24,3	24,4	5,3	45,9	10,7
Ноябрь	15,9	16,0	6,4	28,6	5,6
Декабрь	10,6	10,2	2,4	28,2	5,1

Таблица 2

Статистические показатели некоторых климатических характеристик по данным метеостанции Шелагонцы (n=33)

[Table 2. Statistical indicators of some climatic characteristics according to the Shelagontsy weather station data (n=33)]

Показатели / Indicators	Средняя годовая T°С / Average annual T°С	Сумма осадков/ год, мм / Total precipitation / year, mm	Испаряемость/ год, мм / Evaporation / year, mm	КУ / Moisture coefficient	КК / Continentality coefficient
min	-15,3	187,3	262,6	0,45	185,95
Медиана	-12,15	288,1	348,8	0,83	256,66
max	-10,09	431,5	437,7	1,34	293,85
Среднее арифметическое	-12,16	300,1	349,0	0,88	252,12
Стандартное отклонение	1,22	53,1	45,0	0,22	21,13
Коэффициент вариации	-	17,7	12,9	25,45	8,37

Ход многолетних среднегодовых температур воздуха °С показан на рисунке 3. В ежегодных значениях наблюдаются небольшие колебания, однако, линия тренда среднегодовых температур с годами повышается, но имеет небольшой коэффициент аппроксимации ( $R^2 = 0,384$ ).

Также на графике показана 10-летняя скользящая средняя среднегодовых температур воздуха, имеющая восходящий линейный тренд с достоверным коэффициентом аппроксимации ( $R^2 = 0,8945$ ), что позволяет утверждать о повышении среднегодовой температуры воздуха.

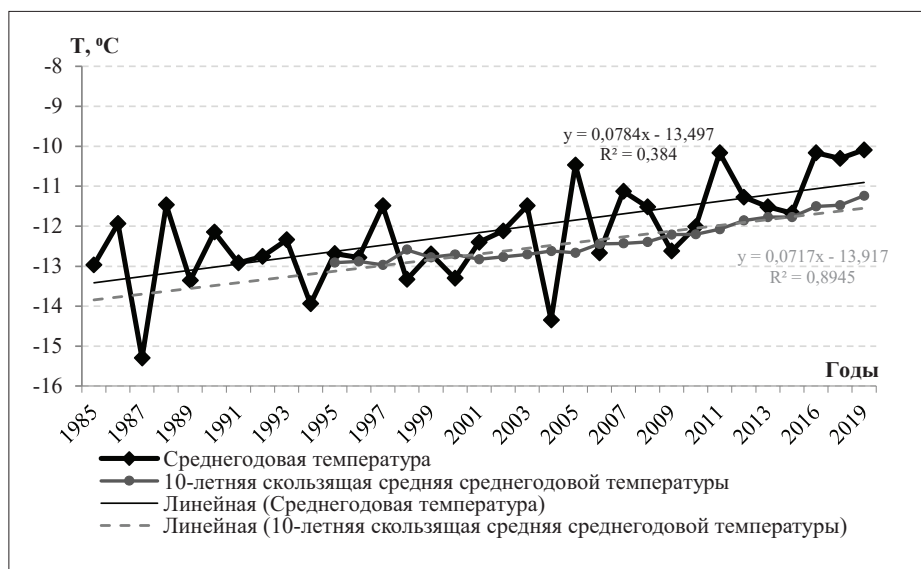


Рис. 3. Ход многолетних среднегодовых температур воздуха, °С  
[Fig. 3. The course of long-term average annual air temperatures, °C]

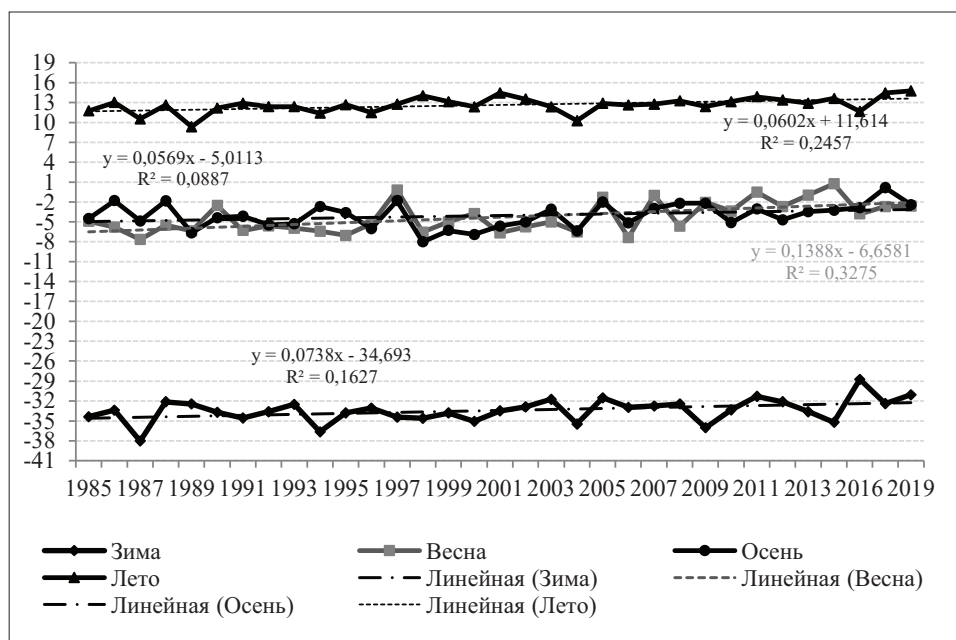


Рис. 4. Динамика среднесезонных многолетних температур (Т, °С) воздуха за 1985-2019 годы  
[Fig. 4. Dynamics of seasonal average long-term air temperatures for the period 1985-2019]

Если рассматривать посезонный ход температуры во времени, можно также отметить ее рост (рис. 4). Наибольший рост температуры наблюдается в весенний период (4,6 °С), в остальные сезоны рост составил примерно одинаковое значение (2 °С).

Таким образом, на территории исследования наблюдается рост среднегодовых и внутрисезонных температур воздуха, с максимумами в весенние месяцы.

Почвы территории исследования в период положительных температур в весенний период хорошо увлажнены за счет таяния снега, летний период приходится на пик максимумов осадков, а наличие на исследуемой территории мерзлых пород способствует постоянному увлажнению почв. В целом, повышение температуры воздуха способствует увеличению испарения влаги с поверхности почвенного покрова,

что при определенных условиях может содействовать движению солей к верхним горизонтам почв.

Количество осадков за период наблюдений имеет нисходящую тенденцию с достаточно высоким значением коэффициента аппроксимации линейного тренда скользящей средней ( $R^2=0,7843$ ) (рис. 5а). Общее уменьшение осадков приводит, в том числе к изменению количества влаги, поступающей в почву. Атмосферные осадки транспортируют соли в почвенном профиле в нижние горизонты. Уменьшение их количества наряду с понижением увлажнения может обусла-

вливать задержку легкорастворимых солей в верхних горизонтах почвенного профиля.

Значения испаряемости (рис. 5б) характеризуются, наоборот, восходящим линейным трендом, 10-летняя скользящая средняя годовых значений суммы испаряемости соответственно имеет восходящий линейный тренд с высоким коэффициентом аппроксимации ( $R^2=0,7657$ ). Повышение испаряемости также может способствовать иссушению почв с поверхности и движению солей в верхние горизонты почв.

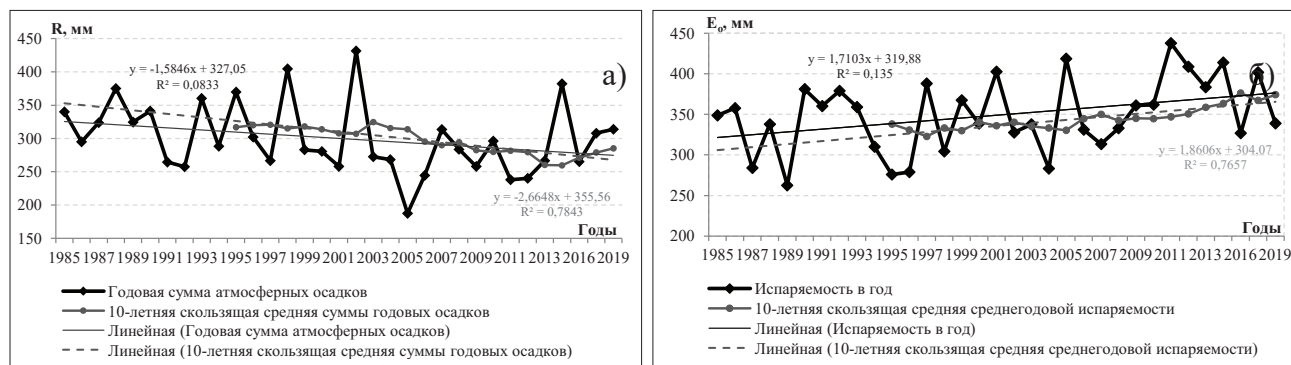


Рис. 5. Ход многолетних значений: а – суммы годовых атмосферных осадков, б – суммы испаряемости [Fig. 5. The course of long-term values of: a – total annual precipitation, b – amount of evaporation]

Коэффициент увлажнения за 34-летний период характеризуется достоверным нисходящим линейным трендом 10-летней скользящей средней ( $R^2=0,8434$ ) и колеблется в пределах 0,45 – 1,34, в среднем составляя 0,83 по медиане (рис. 6).

Исследованиями сотрудников Почвенного института им. В.В. Докучаева [11] установлена связь между КУ и распространением засоления почв: при

$KU > 0,85$  засоленные почвы обычно не встречаются, поскольку при увеличении значения КУ наблюдается нисходящее движение почвенной влаги, что способствует движению легкорастворимых солей вниз по профилю и рассолению почвы. При этом отмечается, что расчлененный рельеф препятствует распространению засоления почв вне зависимости от показателя величины КУ.

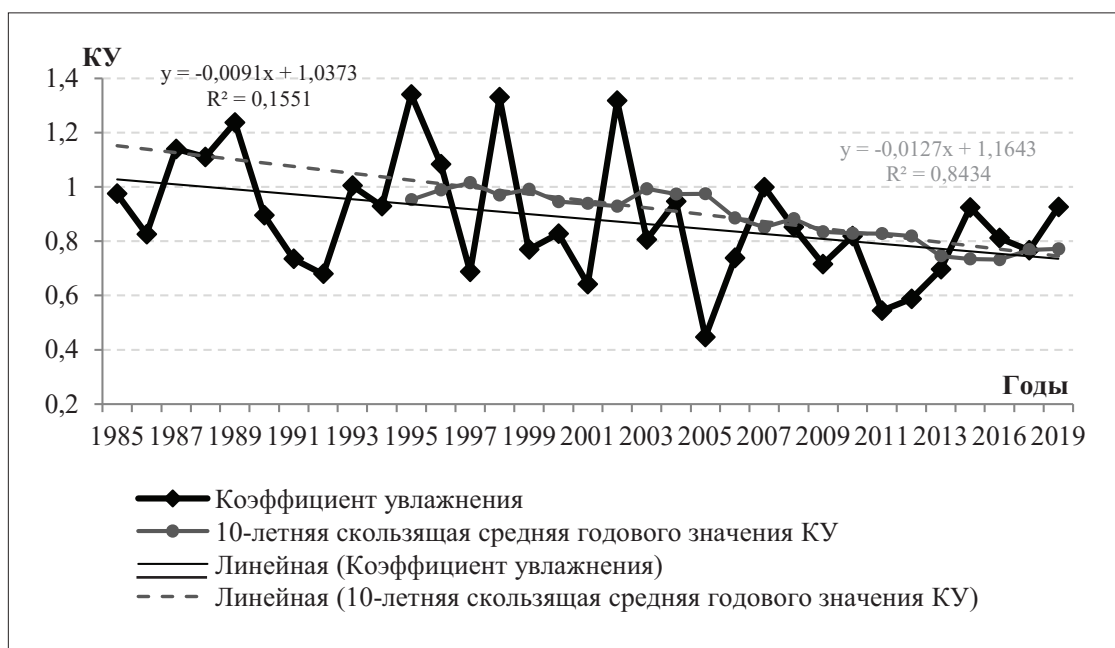


Рис. 6. Ход многолетних значений коэффициента увлажнения [Fig. 6. The course of long-term values of the moisture coefficient]

По значениям рассчитанной величины КУ территория исследования находится в зоне умеренного и достаточного увлажнения. А также характеризуется хорошо расчлененным рельефом [4]. Следовательно, на данной территории процессы засоления почв развиваться не должны.

Динамика индекса аридности имеет нисходящий тренд (рис. 7) с достаточно достоверным коэффициентом аппроксимации линейного тренда 10-летней скользящей средней ( $R^2=0,7475$ ), что говорит об увеличении аридности на территории, при этом, согласно классификации [12], значения индекса на протяжении всего периода наблюдений находятся в пределах одной группы – сильно аридных территорий.

Г. Н. Высоккий (1906) в начале XX века предложил метод количественной оценки соотношения тепла и влаги через отношение годовых сумм атмосферных осадков и испаряемости. Аналогичную схему оценки предложил А. Пенк (1910), согласно которой аридный климат характеризуется превышением испаряемости над количеством осадков, а гумидный – превышением осадков над испаряемостью [2]. Стоит отметить, что с начала 2000-х годов годовые значения испаряемости на исследуемой территории выше значения годовой суммы осадков, что также характеризует климат территории Айхальского ГОКа как аридный. Наличие сплошного распространения многолетнемерзлых пород на территории северо-западной Якутии позволяет характеризовать климат как криоаридный.

Таким образом, рассчитанные интегральные коэффициенты позволяют говорить о том, что при наличии солей в профиле они бы аккумуляровались в верхних горизонтах почвенного профиля, чего мы не наблюдаем в природных почвах северотаежных ландшафтов.

Климат территории по значению коэффициента континентальности за весь рассматриваемый период является крайне-континентальным. Роль континентальности климата в процессах развития засоления почв в настоящее время имеет довольно слабую изученность [16]. Пока мы можем только констатировать известный факт, что климат на изучаемой территории имеет крайнюю континентальность с большими амплитудами летних и зимних температур.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Территория исследования характеризуется крайне-континентальным сильно аридным климатом с отрицательными среднегодовыми температурами и достаточным увлажнением. При этом наблюдается рост среднегодовых температур. Анализ сезонной динамики температур показал, что наибольший рост наблюдается в весенний период (+4,6 °С). Отмечается рост испаряемости наряду с уменьшением суммы годовых атмосферных осадков и коэффициента увлажнения.

Анализ природно-климатических факторов показал отсутствие объективных предпосылок к развитию процессов засоления: почвы территории хорошо увлажнены, как правило, им характерна тиксотропность и переувлажненность, на территории исследования отсутствует близкое залегание и разгрузка на дневную поверхность высокоминерализованных подземных вод, а надмерзлотные воды имеют пресный состав. Дополнительными причинами, препятствующими распространению засоления почв на территории, являются расчлененность рельефа и отрицательные среднегодовые температуры. Совокупность факторов указывает на отсутствие объективных условий для развития процессов засоления почв на территории северотаежных ландшафтов на северо-западе Якутии.

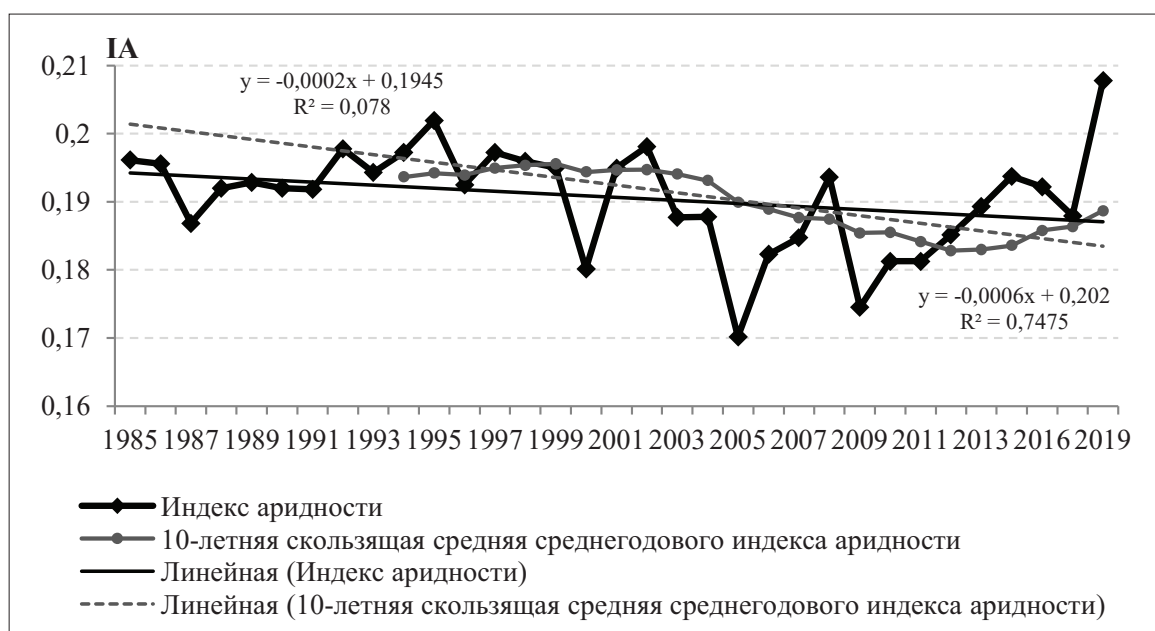


Рис. 7. Динамика среднегодового значения индекса аридности  
[Fig. 7. Dynamics of the average annual value of the aridity index]

Несмотря на это, в пределах промышленной площадки горно-обогатительного комбината отмечается повсеместное распространение поверхностного засоления почв. Повышение испаряемости и уменьшение количества выпадающих атмосферных осадков способствуют аккумуляции легкорастворимых солей и их задержке преимущественно в верхних горизонтах почв. При этом мерзлота, находящаяся близко к дневной поверхности, служит водоупором и препятствует вымыванию токсичных солей из почвенного профиля. По поверхности многолетнемерзлых пород происходит латеральная миграция солей, затем в процессе испарения с восходящими токами влаги последние подтягиваются к верхним горизонтам, образуя при этом некий горизонт аккумуляции, где соли остаются до следующих осадков, таким образом образуется условно замкнутый круговорот солей. Источником легкорастворимых солей в данном случае служат отвалы пустых пород на промышленной площадке.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В. «Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394. – URL: <http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения: 30.11.2022). – Текст: электронный.
2. Боков В.А., Смирнов В.О. О смыслах способов оценки увлажнения ландшафтов // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*, 2019, № 1, с. 83-92.
3. Влияние аридности и континентальности климата на биологические свойства почв в трансекте Ростов-на-Дону – Астрахань / К.Ш. Казеев, Ю.С. Козунь, Л.С. Самохвалова, С.И. Колесников // *Известия РАН. Серия Географическая*, 2015, № 5, с. 46-53.
4. Геоэкологическая ситуация в районе Айхальского ГОКа / Я. Легостаева, И. Козлова, В. Попов, Д. Ноев // *Материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России»*, 2020, с. 482-485.
5. Глобальные изменения климата и почвенный покров / В.Н. Кудяров, В.А. Демкин, Д.А. Гиличинский, С.В. Горячкин и др. // *Почвоведение*, 2009, № 9, с. 1027-1042.
6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Верхневилуйская. Лист Q-49-XXI, XXII (Айхал). Объяснительная записка / Р.Ф. Салихов, В.В. Салихова, Н.В. Иванюшин, В.И. Охлопков. Москва: МФ ВСЕГЕИ, 2013. 284 с.
7. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. Москва, 2022. 104 с.
8. Иванов Н.Н. Зоны увлажнения Земного шара // *Известия Академии наук СССР*, 1941, № 3. с. 261-288.
9. Иванов Н.Н. Об определении величин испаряемости // *Известия Всесоюзного географического общества*, 1954, № 2, с. 189-196
10. Иванов Н.Н. Пояса континентальности Земного шара // *Известия Всесоюзного географического общества*, 1959, № 5, с. 410-423.
11. Картографический анализ зависимости распространения засоленных почв на территории России от ряда климатических характеристик (по широте 53°44') / Н.В. Калинина, Д.И. Рухович, Е.И. Панкова, Г.И. Черноусенко и др. // *Почвоведение*, 2016, № 11, с. 1-19.
12. Лобова Е.В., Островский И.М., Хабаров А.В. Об определении засушливости аридных областей мира // *Проблемы освоения пустынь*, 1977, № 4, с. 31-40.
13. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. *Увлажненность Западно-Сибирской равнины*. Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. 168 с.
14. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)» / под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. Москва: ООО «Издательство МБА», 2019. 476 с.
15. Панкова Е.И., Конюшкова М.В., Горохова И.Н. О проблеме оценки засоленности почв и методике крупномасштабного цифрового картографирования засоленных почв // *Экосистемы: экология и динамика*, 2017, т. 1, № 1, с. 26-54.
16. Панкова Е.И., Конюшкова М.В. Влияние глобального потепления климата на засоленность почв аридных регионов // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*, 2013, вып. 71, с. 3-15.
17. Панкова Е.И., Черноусенко Г.И. Проблема активизации засоления в почвах юга Восточной Сибири и Монголии в связи с аридизацией климата // *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*, 2020, вып. 101, с. 19-46.
18. Черноусенко Г.И., Хитров Н.Б. Изменение климата в зоне распространения засоленных почв криоаридных регионов на юге Восточной Сибири // *Экосистемы: экология и динамика*, 2019, т. 3, № 3, с. 5-57.
19. Шадринова О.В. К вопросу засоления почв на территории алмазодобычи (Западная Якутия) // *Материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ и Дню Байкала «Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем»*, 2021, с. 564-567.

**Конфликт интересов:** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 05.05.2023  
Принята к публикации: 28.05.2024



## Analysis of Climatic Factors in the Aspect of Development of Salinization Processes in Soils of the Northern Taiga Landscapes

O. V. Shadrinova ✉

*Institute of Geology of Diamond and Precious Metals,  
the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation  
(39, Lenin Ave., Yakutsk, 677000)*

**Abstract.** The purpose is to analyze natural and climatic factors in the zone of active development of soil salinization processes in the north-taiga landscapes in the north-west of Yakutia on the example of the industrial site of the Aikhal Mining and Processing Plant.

**Materials and methods.** Climatic factors were analyzed using the data set of Shelagontsy weather station for the period from 1985 to 2019, prepared at the Main Geophysical Observatory named after A.I. Voyeykov. The course of multiyear average annual temperatures and the sum of annual precipitation are considered. The humidification coefficient, evapotranspiration, aridity index and continentality coefficient are calculated.

**Results and discussion.** In the course of works it was established that in the study area there is a reliable growth of average annual and intra-seasonal air temperatures, their maximum growth falls on the spring period (+4.6 °C). The amount of precipitation along with the wetting coefficient have a downward trend with a simultaneous increase in evapotranspiration during the study period. The aggregate of these factors may contribute to salt accumulation in upper soil horizons.

**Conclusions.** The study area is characterized by extreme continental strongly arid climate with negative average annual temperatures, sufficient moisture and well-divided relief. The analysis of natural-climatic factors showed the absence of objective prerequisites for the development of natural soil salinization processes. Spreading of area halogenesis on the territory of the industrial site is technogenic, and the source of salts is waste rock dumps.

**Key words:** northern taiga landscapes, technogenic salinization, climate of Yakutia, wetting coefficient, aridity index

**Funding:** The work was performed under the state assignment of the Institute of Geology of Diamond and Precious Metals, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences within the framework of the R&D project No. FUG-2024-0007.

**For citation:** Shadrinova O. V. Analysis of Climatic Factors in the Aspect of Development of Salinization Processes in Soils of the Northern Taiga Landscapes. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geologiya*, 2024, no. 2, pp. 106-115. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/2/90-99>

### REFERENCES

- Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Korshunova N.N., Shvec N.V. «Opisanie massiva dannyh mesyachnyh summ osadkov na stanciyah Rossii» [Description of the data array of monthly precipitation amounts at stations in Russia]. – URL: <http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#opisanie-massiva-dannyh> (accessed 30.11.2022). – Text: electronic. (In Russ.)
- Bokov V.A., Smirnov V.O. O smyslah sposobov ocenki uvlazhneniya landshaftov [On the scope of methods for the assessment of landscapes humidification assessment]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*, 2019, no. 1, pp. 83-92. (In Russ.)
- Vliyanie aridnosti i kontinental'nosti klimata na biologicheskie svoystva pochv v transekte Rostov-na-Donu – Astrahan' / K.Sh. Kazeev, Yu.S. Kozun', L.S. Samohvalova, S.I. Kolesnikov [Influence of aridity and continentality of climate on biological properties of soils in the Rostov-on-Don – Astrakhan transect]. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*, 2015, no. 5, pp. 46-53. (In Russ.)
- Geoekologicheskaya situatsiya v rajone Ajhal'skogo GOKa / Ya. Legostaeva, I. Kozlova, V. Popov, D. Noev [Geoecological situation in the territory of Aykhal mining]. *Materialy X Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii»*, 2020, pp. 482-485. (In Russ.)
- Global'nye izmeneniya klimata i pochvennyj pokrov [Global climate changes and the soil cover] / V.N. Kudiyarov, V.A. Demkin, D.A. Gilichinskij, S.V. Goryachkin i dr. *Pochvovedenie*, 2009, no. 9, pp. 1027-1042. (In Russ.)
- Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:200 000. Seriya Verhnevilyujskaya. List Q-49-XXI, XXII (Ajhal). Ob'yasnitel'naya zapiska* [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:200 000. Seriya Verhnevilyujskaya. List Q-49-XXI, XXII (Ajhal). About explanatory note] / R.F. Salihov, V.V. Salihova, N.V. Ivanyushin, V.I. Ohlopov. Moscow: MF VSEGEI, 2013. 284 p. (In Russ.)
- Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2021 god* [Document ob osobennostyah climate on territorii Rossijskoj Federacii za 2021 god]. Moscow, 2022. 104 p. (In Russ.)
- Ivanov N.N. Zony uvlazhneniya Zemnogo shara [Humidification zones of the Globe]. *Izvestiya Akademii nauk SSSR*, 1941, no. 3, pp. 261-288. (In Russ.)
- Ivanov N.N. Ob opredelenii velichin isparyaemosti [On the determination of the values of evaporation]. *Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva*, 1954, no. 2, pp. 189-196. (In Russ.)

© Shadrinova O. V., 2024

✉ Olesya V. Shadrinova, e-mail: [ovshadrinova@mail.ru](mailto:ovshadrinova@mail.ru)



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

10. Ivanov N.N. Poyasa kontinental'nosti Zemnogo shara [Belts of the continental Globe]. *Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva*, 1959, no. 5, pp. 410-423. (In Russ.)
11. Kartograficheskij analiz zavisimosti rasprostraneniya zasolennykh pochv na territorii Rossii ot ryada klimaticheskikh harakteristik (po shirote 53°44') [Cartographic analysis of the distribution of saline soils in Russia depending on some climatic parameters] / N.V. Kalinina, D.I. Ruhovich, E.I. Pankova, G.I. Chernousenko i dr. *Pochvovedenie*, 2016, no. 11, pp. 1-19. (In Russ.)
12. Lobova E.V., Ostrovskij I.M., Habarov A.V. Ob opredelenii zasushlivosti aridnykh oblastej mira [Problems of desert land development]. *Problemy osvoeniya pustyn'*, 1977, no. 4, pp. 31-40. (In Russ.)
13. Mezencev V.S., Karnacevich I.V. *Uvlazhnennost' Zapadno-Sibirskoj ravniny* [Moisture content of the ' West Siberian Plain]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1969. 168 p. (In Russ.)
14. *Nacional'nyj doklad «Global'nyj klimat i pochvennyj pokrov Rossii: opustynivanie i degradaciya zemel', institucional'nye, infrastrukturalnye, tekhnologicheskie mery adaptacii (sel'skoe i lesnoe hozyajstvo)»* [National report «Global Climate and soil cover of Russia: desertification and land degradation, institutional, infrastructural, technological adaptation measures (agriculture and forestry)»] / pod red. R. S.-H. Edel'gerieva. Moscow: OOO «Izdatel'stvo MBA», 2019. 476 p. (In Russ.)
15. Pankova E.I., Konyushkova M.V., Gorohova I.N. O probleme ocenki zasolenosti pochv i metodike krupnomasshtabnogo cifrovogo kartografirovaniya zasolennykh pochv [On the problem of soil salinity's evaluation and method of large-scale digital mapping of saline soils]. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika*, 2017, vol. 1, no. 1, p. 26-54. (In Russ.)
16. Pankova E.I., Konyushkova M.V. Vliyanie global'nogo potepleniya klimata na zasolenost' pochv aridnykh regionov [The effect of global warming on soil salinity in arid regions]. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 2013, v. 71, pp. 3-15. (In Russ.)
17. Pankova E.I., Chernousenko G.I. Problema aktivizacii zasoleniya v pochvah yuga Vostochnoj Sibiri i Mongolii v svyazi s aridizaciej klimata [The problem of salinization activation in soils of the south of Eastern Siberia and Mongolia in connection with climate aridization]. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva*, 2020, v. 101, pp. 19-46. (In Russ.)
18. Chernousenko G.I., Hitrov N.B. Izmenenie klimata v zone rasprostraneniya zasolennykh pochv krioaridnykh regionov na yuge Vostochnoj Sibiri [Climate change in the zone of distribution of salted soils of cryoarid regions in south of East Siberia]. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika*, 2019, vol. 3, no.3, pp. 5-57. (In Russ.)
19. Shadrinova O.V. K voprosu zasoleniya pochv na territoriialmazodobychi (Zapadnaya Yakutiya) [Salinization of soils in the territory of diamond mining (Western Yakutia)]. *Materialy V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 90-letiyu kafedry pochvovedeniya i ocenki zemel'nyh resursov IGU i Dnyu Bajkala «Pochva kak svyazuyushchee zveno funkcionirovaniya prirodnyh i antropogenno-preobrazovannyh ekosistem»*, 2021, pp. 564-567. (In Russ.)

**Conflict of interests:** The author declares no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 05.05.2023

Accepted: 28.05.2024

Шадринова Олеся Владимировна  
младший научный сотрудник лаборатории геоэкологии и биогеохимии ИГАБМ СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация,  
ORCID: 0000-0003-4541-412X, e-mail: ovshadrinova@mail.ru

Olesya V. Shadrinova  
Junior Researcher at the Laboratory of Geocology and Biogeochemistry of the Institute of Geology of Diamond and Precious Metals, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-4541-412X, e-mail: ovshadrinova@mail.ru