

Проявления загрязненности снега тяжелыми металлами на территории Приокско-Террасного заповедника в условиях современного климата

Л. М. Китаев¹✉, В. А. Аблеева²

¹Институт географии РАН, Российская Федерация
(109017, г. Москва, Старомонетный пер., 29)

²Приокско-Террасный государственный заповедник, Российская Федерация
(142200, Московская обл., пос. Данки)

Аннотация. Цель исследований – оценка особенностей изменчивости загрязненности снежного покрова тяжелыми металлами на фоне текущих изменений метеорологического режима.

Материалы и методы. Учет и анализ особенностей накопления свинца, кадмия и ртути в снеге основаны на данных полевых экспериментальных наблюдений в период с 1996 по 2022 гг. Отбор и анализ проб проводился в соответствии с методиками станций комплексного фонового мониторинга. Изменчивость концентрации тяжелых металлов рассматривается в связи с изменениями запасов воды в снеге, осадков, продолжительности снежного периода, количества оттепелей, ветрового режима – по данным наблюдений на территории Приокско-Террасного заповедника, с учетом требований Росгидромета.

Результаты и обсуждение. Определен соответствующий региональным особенностям диапазон изменений метеорологических характеристик зимнего периода, тенденции в изменениях характеристик снежного покрова и метеорологического режима. Динамика концентрации тяжелых металлов в снежном покрове аналогична изменчивости концентрации в атмосферном воздухе, критичные для экосистем и населения значения отсутствуют. Выявленна значимая зависимость загрязнения от изменений снегозапасов и метеорологического режима при коэффициентах множественной регрессии 0,54–0,64 с ведущим вкладом осадков и снегозапасов.

Выводы. Выявленное отсутствие критических значений концентрации тяжелых металлов в снеге при значимой регрессионной зависимости как от динамики снегонакопления, так и от метеорологического режима позволяет оценить территорию Приокско-Террасного заповедника как эталон в системе фонового мониторинга состояния окружающей среды. Степень влияния ведущих метеорологических факторов на процесс загрязнения снежного покрова может усиливаться за счет ветрового режима, трансформации снега вследствие метелевого переноса и оттепелей, что в дальнейшем предполагает детализацию полученных результатов.

Ключевые слова: характеристики снежного покрова, метеорологический режим, концентрация тяжелых металлов в снеге, регрессионный анализ.

Источник финансирования: Работа выполнена при поддержке темы 0148-2024-0009 «Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России» Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук.

Для цитирования: Китаев Л. М., Аблеева В. А. Проявления загрязненности снега тяжелыми металлами на территории Приокско-Террасного заповедника в условиях современного климата // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2025, № 4, с. 123-131. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/4/123-131>

ВВЕДЕНИЕ

Накопление в снежном покрове органических и неорганических соединений, поступающих из атмосферного воздуха, дает уникальную возможность оценки интенсивности химического загрязнения территории. Существенное негативное влияние на состояние почв, растительность, поверхностные воды и, в итоге, на здоровье населения оказывает интенсивное накопление тяжелых металлов – как результат выбросов в атмосферу предприятиями и транспортом и последующим осаждением в виде твердых частиц и колло-

идных соединений. Общие методические подходы к оценке выбросов в атмосферу загрязняющих веществ обозначены в периодических изданиях Руководящих указаний по подготовке национальных инвентаризационных выбросов ЕМЕР/ЕАОС, где упоминаются, в том числе, существенные неопределенности фиксации выбросов, связанные с недостатком данных, предотвращением двойного учета, качеством проверки достоверности, согласованностью рядов [13].

На сегодня значительное число публикаций, содержит результаты региональных исследований хи-

мического загрязнения снега, прежде всего, в районах крупных городов и предприятий, а также вблизи транспортных магистралей с железнодорожным и автомобильным движением. В качестве примера можно привести работу Е. С. Роговенко и др. по оценке антропогенного загрязнения снежного покрова в г. Красноярске – здесь выявлен механизм существенного убывания загрязнения с увеличением расстояния от городской ТЭЦ [16]. Районирование г. Читы по уровню загрязнения снежного покрова проведено Е. А. Бондаревич и др. – с привязкой к рельефу и преобладающим направлениям ветра [11]. Важным аспектом оценки особенностей переноса загрязняющие вещества является обобщенный анализ их многолетних изменений для крупных регионов [4, 6, 7, 17]. Как отдельное методическое направление выделяется оценка площади распространения загрязнений с использованием спутниковой информации [1].

Актуальность мониторинга состояния окружающей среды в пределах заповедников заключается в возможности учета особенностей осаждения и накопления химических соединений на особо охраняемых территориях с малой антропогенной нагрузкой, что позволяет количественно оценить степень преобразований поверхности в соседствующих промышленных центрах. Вместе с тем, исследования снежного покрова на особо охраняемых территориях проводится в недостаточных объемах – не будучи обязательными, поскольку планы научных работ заповедников формируются соответственно местным задачам, условиям и возможностям. Здесь можно отметить результаты многолетних экспериментальных работ с участием сотрудников Института географии РАН в Центрально-Черноземном, Приокско-Террасном и Центрально-Лесном государственных заповедниках: выявлены различия формирования снегозапасов на городских, сельскохозяйственных и заповедных территориях; получены зависимости снегонакопления от характера растительного покрова [3, 4, 15]. Исследования накопления в снеге конкретных химических соединений и металлов – сульфатов, фторидов, свинца, цинка и ртути – проводятся в Хакасском заповеднике [7].

В ходе текущего мониторинга также недостаточно исследована значимость метеорологических факторов в процессе атмосферного переноса и накопления загрязняющих веществ на поверхности. В связи с чем, основная цель проводимых нами исследований состоит в выявлении особенностей загрязнения снежного покрова свинцом, кадмием и ртутью на фоне текущих изменений метеорологического режима – на примере Приокско-Террасного заповедника.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

По данным на 2023 г., режимные наблюдения за химическим загрязнением снега покрова проводятся в 523 пунктах. Система фонового мониторинга Российской Федерации позволяет оценить текущие и будущие изменения окружающей среды в условиях антропогенной нагрузки: пять станций комплексного фонового мо-

ниторинга (далее СКФМ) проводят наблюдения в заповедниках, расположенных в Европейской части России – Воронежском, Приокско-Террасном, Астраханском, Кавказском и Алтайском и с 2022 г. на станции Марийск Уральская. На территории Республики Беларусь действует станция фонового мониторинга в Березинском биосфера заповеднике. На станциях по единой программе проводятся исследования содержания химических соединений в атмосферном воздухе, почве, поверхностных водах, снежном покрове, растительности [10].

Тяжелые металлы – в том числе свинец, кадмий и ртуть, относящиеся к опасным загрязнителям первого класса – переносятся атмосферным воздухом из очагов выброса в сорбированном аэрозолями состоянии. Отбор и обработка материала в Приокско-Террасном заповеднике (далее Заповедник) проводится в соответствии с общими для СКФМ методиками: отбор проб – РД 52.04.186-89 (Руководство по контролю загрязнения атмосферы), для ртути РД 5.44.592-2019 (Массовая концентрация ртути в атмосферных осадках и поверхностных водах. Методика измерений атомно-абсорбционной спектрометрии «холодного пара»), для свинца и кадмия РД 52.44.594-2016 (Массовая концентрация тяжелых металлов в атмосферных осадках и поверхностных водах. Методика измерений атомно-абсорбционной спектрометрии с беспламенной атомизацией) [8, 11, 12, 13]. Пробы отбираются в фиксированной точке Заповедника (рис. 1) один раз в период с середины февраля до конца марта во время фиксации максимальных снегозапасов. Ряды многолетних данных наблюдений имеют пропуски, для анализа использован период с наиболее полной информацией – 1996-2022 гг.

К анализу привлекались характеристики снежного покрова: запас воды в снеге (далее снегозапасы), продолжительность залегания снега и количество оттепелей со дня появления устойчивого снежного покрова – на момент отбора проб. Для того же сезонного интервала рассматриваются суммарные осадки, температура воздуха и направление ветра по румбам в процентах от общего количества дней. Исходные данные получены в ходе режимных наблюдений на экспериментальных объектах Заповедника (см. рис. 1) в соответствии с методиками Росгидромета.

Заметный вклад в загрязнение исследуемой территории, в том числе с учетом западного ветрового переноса, может быть связан с работой промышленных предприятий г. Серпухова (расстояние около 15 км), таких как Серпуховской трубный завод (полиэтиленовые трубы), Серпуховской электромеханический завод (вентиляционное оборудование), Серпуховский кожевенный завод (кожевенное сырье), Серпуховский инструментальный завод (металлорежущий твердосплавный инструмент). В 7 км к западу проходит Симферопольское шоссе с интенсивным автомобильным движением.

Объективный анализ проводился с применением стандартных методов математической статистики: оценивались многолетние тенденции изменчивости ха-

теристик и связь их многолетних изменений – путем расчета коэффициентов линейного тренда и множественной регрессии, с указанием величины коэффициентов детерминации для оценки охвата выборки. Для уравнений регрессии, наряду с частными, приводятся стандартизованные коэффициенты – для определения вклада каждой независимой переменной в вариацию результативного признака.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

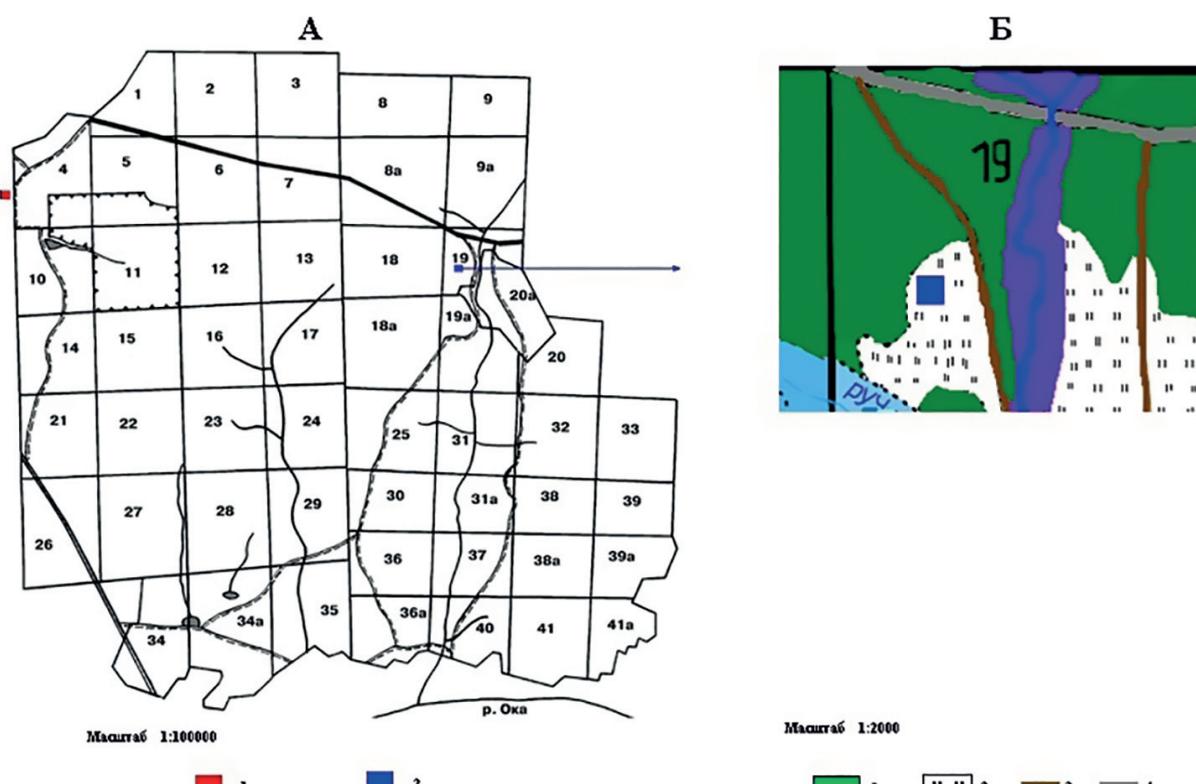
Изменчивость характеристик метеорологического режима, снегозапасов и содержания тяжелых металлов в снежном покрове

На территории Заповедника в период с устойчивым снежным покровом (в промежутке декабрь – апрель включительно) среднемноголетние значения и коэффициенты линейного тренда составляют: для температуры воздуха $-3,1^{\circ}\text{C}$ и $0,60^{\circ}\text{C}/10$ лет, для осадков 146 мм и $-12,98\text{ mm}/10$ лет, для средних за сезон снегозапасов 60 мм и $9,55\text{ mm}/10$ лет, для продолжительности залегания устойчивого снежного покрова 121 день и $-1,4\text{ дня}/10$ лет. Полученные значения характеристик метеорологического режима, в том числе незначимые коэффициенты линейных трендов температуры воздуха, осадков и снегозапасов (коэффициент детерминации менее 0,06), соответствуют значениям характе-

ристик, полученных на соседних метеорологических станциях: Нижний Новгород $-6,1^{\circ}\text{C}$, $0,41^{\circ}\text{C}/10$ лет; 131 мм, $4,74\text{ mm}/10$ лет; Старица $-5,1^{\circ}\text{C}$, $0,56^{\circ}\text{C}/10$ лет; 105 мм, $4,45\text{ mm}/10$ лет; Смоленск $-3,9^{\circ}\text{C}$, $0,63^{\circ}\text{C}/10$ лет и 142 мм, $12,87\text{ mm}/10$ лет; Коломна $-5,1^{\circ}\text{C}$, $0,54^{\circ}\text{C}/10$ лет, 111 мм, $11,16\text{ mm}/10$ лет.

Диапазон сезонных характеристик в многолетнем ряду составляет: снегозапасы – 11-163 мм, количество оттепелей – 3-39 дней, сумма осадков – 62-245 мм. Ветровой режим имеет преобладающие направления юго-западных румбов: запад – 16 %, юго-запад – 21 %, юг 17 %, в сумме 54 %; достоверность коэффициентов линейного тренда в данном случае для анализа недостаточна.

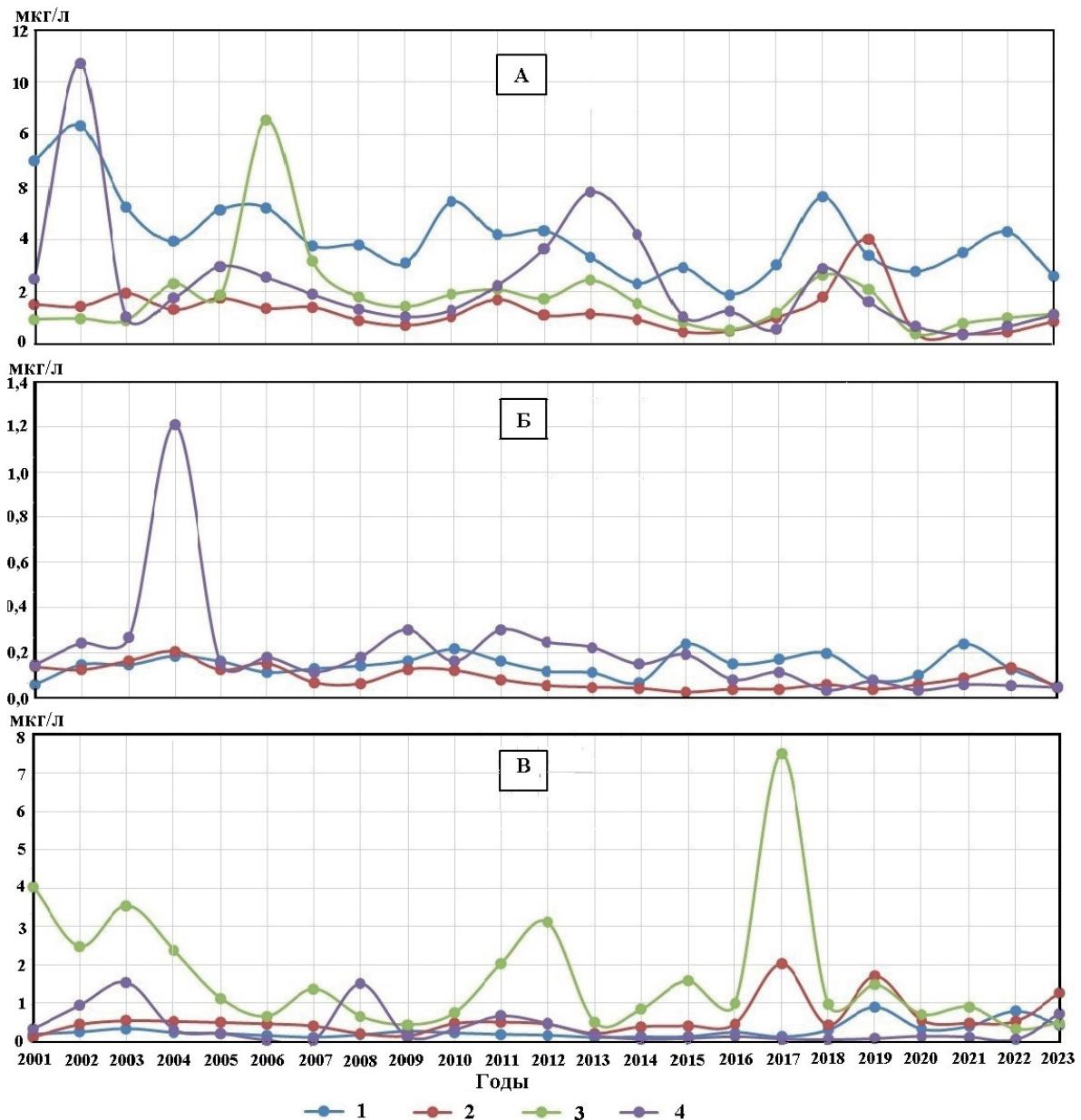
Многолетние изменения средних за год концентраций свинца, кадмия и ртути в атмосферном воздухе, показанные для СКФМ Заповедника в Обзоре состояния и загрязнения окружающей среды [10], не имеют существенных аномалий и тенденций (рис. 2); диапазоны изменений составляют 2-6 мкг/л для свинца, менее 0,2 мкг/л для кадмия и менее 1 мкг/л для ртути. Многолетние средняя, минимальная и максимальная концентрации в снеге составляют 0,96, 0,13 и 2,20 мкг/л для свинца, 0,12, 0,01, 0,48 мкг/л для кадмия, 0,34, 0,03, 0,138 мкг/л для ртути (рис. 3).



Условные обозначения: А – территории заповедника;
 1 – метеорологическая станция, 2 – площадка для отбора проб снежного покрова;
 Б – схема расположения квартала 19:
 1 – лес, 2 – поляна, 3 – дорога грунтовая, 4 – дорога шоссейная

Рис. 1. Расположение объектов Приокско-Террасного заповедника

[Fig. 1. Objects location in Prioksko-Terrasny Nature Reserve]



Условные обозначения: А – свинец, Б – кадмий и В – ртуть (мкг/л) в атмосферных осадках на станциях комплексного фонового мониторинга в 2001-2023 гг. (по данным Росгидромета)

Заповедники: 1 – Приокско-Террасный, 2 – Кавказский, 3 – Астраханский, 4 – Воронежский (по данным Обзора состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2023 г.)

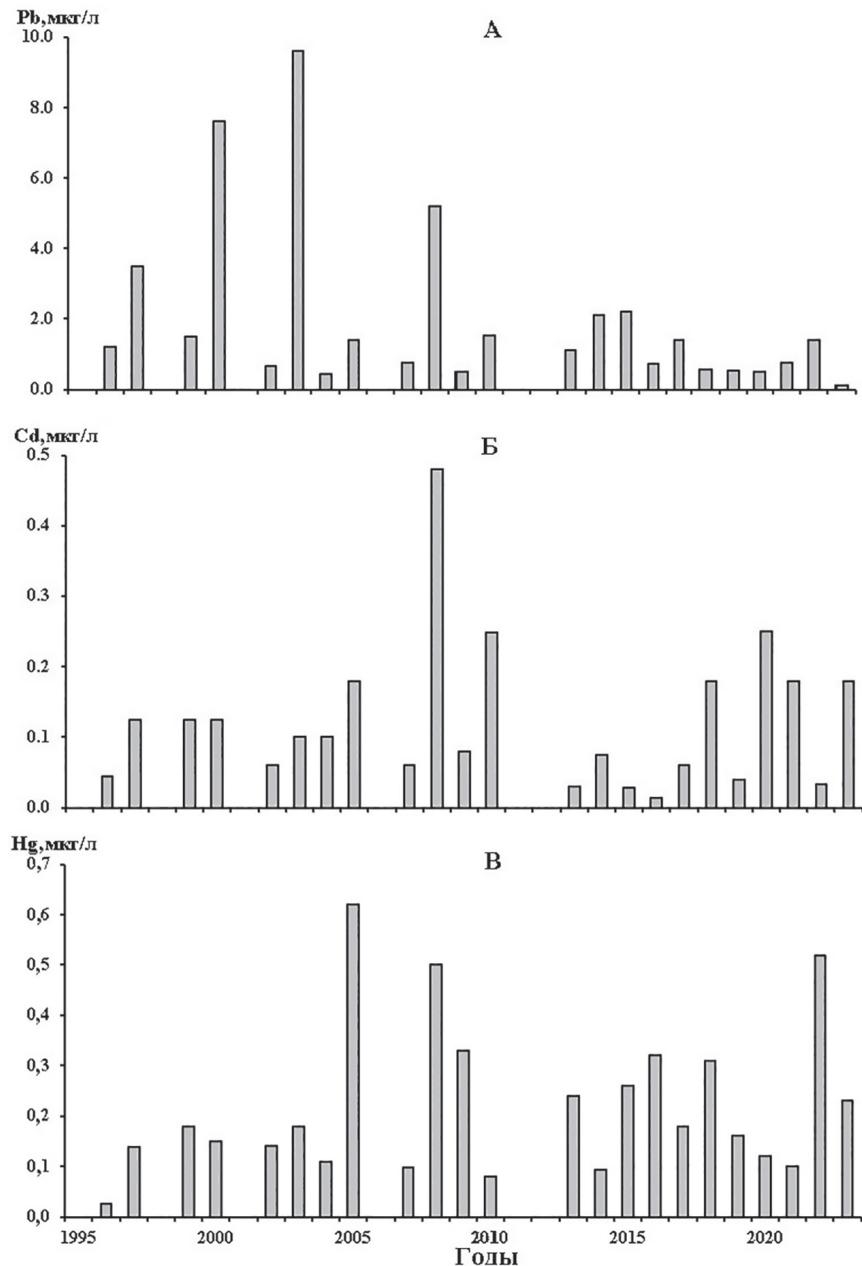
Рис 2. Многолетняя изменчивость содержания веществ в атмосферных осадках [10]

[Fig. 2. Long-term variability of the substance content in atmospheric precipitation [10]]

Содержание тяжелых металлов в снеге не представляют опасности для окружающей среды и населения: согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 (2001 г.), предельно допустимые концентрации для питьевой воды составляют для свинца, кадмия и ртути 30, 1,0 и 0,5 мкг/л (для снега подобные показатели не разработаны), превышая имеющиеся показатели загрязнения (см. рис. 1). Наличие пропусков в рядах данных не позволяет оценить характер многолетних тенденций, диапазоны содержания металлов в атмосферном воздухе и в снеге близки по своим значениям (см. рис. 2 и 3).

Связь изменчивости содержания тяжелых металлов в снеге с изменениями метеорологического режима

Для уточнения взаимосвязи межгодовой динамики содержания тяжелых металлов в снеге с изменениями метеорологического режима была оценена теснота связей динамики снегозапасов с характеристиками снежного покрова и метеорологического режима. Достоверность коэффициентов регрессии оценивается по коэффициенту детерминации (в дальнейшем R^2); дополнительно к частным рассчитаны и в основном



Условные обозначения: А – свинец, Б – кадмий, В – ртуть

Рис. 3. Изменчивость концентрации тяжелых металлов в снежном покрове:
[Fig. 3. Variability of metals concentrations in snow cover]

анализируются стандартизованные коэффициенты регрессии:

$$\beta = b_j \frac{\delta x_j}{\delta y},$$

где β_j и b_j – стандартизованный и частный коэффициенты при факторе x_j . Стандартизованные коэффициенты β_j (в дальнейшем β -коэффициенты) определяют силу влияния вариации x_j на вариацию результативного признака y при исключении сопутствующего влияния вариаций других факторов, входящих в уравнение регрессии.

Для снежного покрова выявлена высокая множественная регрессионная зависимость от метеорологических характеристик (табл. 1) – с коэффициентом $r = 0,86$

при $R^2 = 0,73$. Соответственно значениям β -коэффициентов наибольший вклад в изменчивость снегозапасов имеют осадки и ветры западного направления – в последнем случае отрицательные значения коэффициентов могут быть, по-видимому, связаны с убылью снега за счет метеорологического переноса, но в данный момент, в связи с отсутствием данных, нет возможности учета скорости ветра.

Аналогичный статистический анализ проведен для изменчивости концентраций в снеге свинца, кадмия и ртути в связи с изменениями метеорологических характеристик (табл. 2) – коэффициенты регрессии составляют соответственно 0,64, 0,54, 0,59 с коэффициентами детерминации 0,45, 0,40, 0,35. Согласно значениям

Связь величины снегозапасов (мм) с характеристиками
метеорологического режима для периода с устойчивым снежным покровом

[Table 1. Relationship between amounts of snow reserves (mm)
and characteristics of meteorological regime in period with stable snow over]

Характеристика / Specifications	Коэффициенты уравнения регрессии b / β при $r = 0,86$ и $R^2 = 0,73$ / Coefficients of the regression equation b / β at $r = 0,86$ and $R^2 = 0,73$
Осадки, мм	0,56 / 0,871
Оттепели, дни	1,90 / 0,018
Ветер западного направления (СЗ-З-ЮЗ), %	-0,16 / -0,066
Ветер восточного направления β (СВ-В-ЮВ), %	-0,13 / -0,018

Примечание: r – коэффициент регрессии; R^2 – коэффициент детерминации; b и β – частные и стандартизированные коэффициенты уравнения

[Note: r – regression coefficient; R^2 – coefficient of determination; b and β – partial and standardized coefficients]

β -коэффициентов, наибольший вклад в вариацию загрязнения имеют осадки, снегозапасы и ветра западного направления, обеспечивающие привнос и накопление снега и тяжелых металлов.

Концентрация тяжелых металлов зависит в данном случае от количества выбросов загрязнителей и количества влаги в атмосфере и снежном покрове. Отрицательные значения β -коэффициентов для осадков и снегозапасов могут, по-видимому, быть результатом относительного регионального постоянства объема выбросов и заметной динамики объема влаги: увеличение осадков и снегозапасов приводит к снижению, а уменьшение – к

увеличению концентрации загрязнения. Отрицательные значения β -коэффициентов для загрязнения и ветрового режима также может быть связаны с ветровым перемещением материала, при некоторой неопределенности результата ввиду отсутствия данных по скорости ветра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определены основные характеристики метеорологического режима и снежного покрова периода 1995-2023 гг. Средние и суммарные значения температуры воздуха и осадков, равно как запасы воды в снежном покрове во время формирования максимальных снегозапасов соответствуют региональным условиям. Преобла-

Связь величины загрязнения (мкг/л) с характеристиками метеорологического режима
для периода с устойчивым снежным покровом

[Table 2. Relationship between pollution level (mkg/l) and the meteorological conditions
in period with stable snow cover]

Характеристика / Specifications	Коэффициенты уравнения регрессии b / β / Coefficients of the regression equation b / β		
	Свинец при $r = 0,64$ и $R^2 = 0,41$ / Lead at $r = 0,64$ and $R^2 = 0,41$	Кадмий при $r = 0,54$ и $R^2 = 0,20$ / Cadmium at $r = 0,54$ and $R^2 = 0,20$	Ртуть при $r = 0,59$ и $R^2 = 0,25$ / Mercury at $r = 0,59$ and $R^2 = 0,25$
Снегозапасы, мм	-0,025 / -0,612	-0,003 / -0,963	-0,003 / -0,287
Продолжительность снежного периода, дни	0,057 / 0,351	0,001 / 0,246	-0,001 / -0,073
Осадки, мм	-0,042 / -0,917	-0,001 / -0,499	-0,003 / -0,446
Оттепели, дни	0,058 / 0,248	0,002 / 0,195	0,011 / 0,032
Ветер западных направлений (СЗ-З-ЮЗ), %	-0,066 / -0,926	-0,005 / -0,963	-0,027 / -2,581
Ветер восточных направлений (СВ-В-ЮВ), %	-0,009 / -0,246	-0,007 / -1,375	-0,022 / -1,096

Примечание: см. табл. 1

[Note: see Table 1]

дающие направления ветра относятся к юго-западным румбам. Рассмотренные метеорологические характеристики не имеют значимых тенденций многолетних изменений, аналогично тенденциям, выявленным по данным соседних по региону метеорологических станций.

Выявленные среднемноголетние значения и диапазон изменчивости концентрации в снежном покрове свинца, кадмия и ртути на момент установления максимальных снегозапасов соответствуют среднемноголетним значениям концентрации в атмосферном воздухе, приводимым в отчетах Росгидромета, при отсутствии значимых коэффициентов линейного тренда и резких выбросов. Опасных для экосистем и человека концентраций тяжелых металлов не наблюдается.

Определена регрессионная зависимость многолетнего хода снегозапасов от метеорологического режима – с коэффициентом регрессии 0,86 и 73 % объясненной вариации. Среди металлов наибольшую зависимость от метеорологических факторов имеет изменчивость концентрации свинца – с коэффициентом регрессии 0,64 и 45 % объясненной вариации. Для всех тяжелых металлов изменчивость определяется в порядке убывания осадками, величиной снегозапасов и ветрами западного направления.

Устойчивые в многолетнем аспекте низкие значения концентрации тяжелых металлов в снегу при отсутствии значимых тенденций многолетних изменений метеорологического режима подтверждает значимость территории Приокско-Террасного заповедника в системе фонового мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В. Р. Снежный покров как индикатор кумулятивного загрязнения земель // *Лед и снег*, 2013, т. 53, № 1, с. 124-140.
2. Загрязнение снежного покрова в зоне воздействия предприятий Норильского промышленного района / А. А. Онучин, Т. А. Буренина, О. Н. Зубарева и др. // *Сибирский экологический журнал*, 2014, № 6, с. 1025-1037.
3. Индикационные свойства снежной толщи (результаты экспериментальных исследований зимой 2011/12 гг. в центральной части Восточно-Европейской равнины) / Китаев Л. М., Чернов Р. А., Аблеева В. А., Коробов Е. Д. // *Лед и снег*, 2013, № 4, с. 67-73.
4. Китаев Л. М. Изучение распределения снежного покрова в Центральной лесостепи // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*, 1992, № 1, с. 64-68.
5. Лукьянов А. И., Дахова Е. В., Майорова Л. П. Оценка загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами как один из методов мониторинга атмосферного воздуха на примере на- селенных пунктов Дальнего Востока // *Вестник Российской Университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*, 2022, т. 30, № 3, с. 407-416
6. Мадибеков А. С. Оценка загрязненности тяжелыми металлами снежного покрова на территории Южного Казахстана // *Вестник Казахского Национального Университета*, 2011, № 2, с. 39-46.
7. Макеева Е. Г. Содержание поллютантов в снежном покрове участка «Озеро Иткуль» заповедника «Хакасский» в 2022 году // *Научные исследования в заповедниках и национальных парках Южной Сибири*, 2022, т. 11, с. 31-34.
8. *Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства*. Москва: ЦИНАО, 1992. 61 с.
9. Мониторинг загрязнения снежного покрова г. Читы тяжелыми металлами / Е. А. Бондаревич, Н. Н. Коцюржинская, О. А. Жиляева и др. // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 2018, т. 8, № 2, с. 132-144.
10. *Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2023 год*. Москва: Росгидромет, 2024. 215 с.
11. РД52.04.186-89. *Руководство по контролю загрязнения атмосферы*. Москва: Росгидромет, 1989. 615 с.
12. РД 5.44.592-2019. *Массовая концентрация ртути в атмосферных осадках и поверхностных водах. Методика измерений методом атомно-абсорбционной спектрометрии «холодного пара»*. Москва: Росгидромет, 2015. 21 с.
13. РД 52.44.594-2016. *Массовая концентрация тяжелых металлов в атмосферных осадках и поверхностных водах. Методика измерений атомно-абсорбционной спектрометрии с беспламенной атомизацией*. Москва: Росгидромет, 2016. 32 с.
14. *Руководство ЕМЕР/ЕАОС по инвентаризации выбросов 2016. Общие руководящие указания по подготовке национальных инвентаризационных выбросов. Технический отчет № 21*. Копенгаген: ЕАОС, 2016. 37 с.
15. Снежный покров: особенности локального распределения в лесных массивах как возможный источник погрешностей спутниковых данных / Л. М. Китаев, А. С. Желтухин, Е. Д. Коробов, В. А. Аблеева // *Известия РАН. Серия географическая*, 2020, т. 84, № 6, с. 855-863.
16. Экологический контроль антропогенного загрязнения снегового покрова одного из промышленных районов г. Красноярска / Е. С. Роговенко, Н. В. Блинникова, А. А. Шубин, Л. Г. Бондарева // *Журнал Сибирского федерального университета. Химия, серия 4*, 2010, № 3, с. 387-394.
17. Янчук М. С., Воробьёва И. Б., Власова Н. В. Геоэкологическая оценка состояния снега и льда на Южном побережье озера Байкал // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2021, № 3, с. 59-68.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 22.11.2024
Принята к публикации: 25.11.2025

Manifestations of Snow Cover Pollution with Heavy Metals in the Prioksko-Terrasny Reserve Under Modern Climatic Conditions

L. M. Kitaev¹✉, V. A. Ableeva²

¹*Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation
(29, Staromonetny Pereulok, Moscow, 109017)*

²*Prioksko-Terasny State Nature Reserve, Russian Federation
(Danki settlement, Moscow Region, 142200)*

Abstract. The aim of the research – to assess the variability of snow pollution with heavy metals against the background of current changes in the meteorological regime.

Materials and methods. The accounting and analysis of the characteristics of lead, cadmium and mercury accumulation in snow are based on data from field experimental observations in the period from 1996 to 2022. The collection and analysis of samples was carried out in accordance with the methods of integrated background monitoring stations. The variability of the concentration of heavy metals is considered in connection with changes in snow water equivalent, precipitation, duration of the snow period, number of thaws, wind conditions – according to observation data taking into account the requirements of Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.

Results and discussion. The range of changes in the meteorological characteristics of the winter period corresponded to regional features have been determined, significant trends in changes in the characteristics of snow cover and meteorological conditions is absent. The dynamics of heavy metal concentration in snow is similar to the variability of concentration in the atmosphere; there are no values that are critical for ecosystems and the population. The dependence of the pollution value on changes in snow water equivalent and meteorological conditions is significant with multiple regression coefficients of 0,54-0,64 with the leading contribution of precipitation and snow reserves.

Conclusion. The revealed absence of critical values of heavy metal concentration in snow with a significant regression dependence of long-term dynamics on changes in snow cover characteristics and meteorological conditions confirms the legitimacy of using the territory of the Prioksko-Terasny Reserve as a standard in the background monitoring system of the state of the environment. The degree of influence of leading meteorological factors on the process of snow cover pollution can be determined, among other things, by additional features of the wind regime, transformation of snow due to snowstorm transfer and thaws, which requires detailed analysis of the features of accumulation of heavy metals.

Key words: snow cover characteristics, meteorological conditions, concentration of heavy metals in snow, regression analysis.

Funding: This work was supported by theme 0148-2019-0009 «Climate Change and Its Consequences for the Environment and Livelihoods of the Population in the Territory of Russia» of the Program of Fundamental Scientific Research of the State Academies of Sciences.

For citation: Kitaev L. M., Ableeva V. A. Manifestations of Snow Cover Pollution with Heavy Metals in the Prioksko-Terasny Reserve Under Modern Climatic Conditions. *Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologiya*, 2025, no. 4, p. 123-131. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/4/123-131>

REFERENCES

1. Alekseev V. R. Snezhnyj pokrov kak indikator kumuljativnogo zagrjaznenija zemel' [Snow cover as an indicator of cumulative land pollution]. *Led i sneg*, 2013, vol. 53, no. 1, pp. 124-140. (In Russ.)
2. Zagraznenie snezhnogo pokrova v zone vozdejstvija predpriyatiy Noril'skogo promyshlennogo rajona [Pollution of snow cover in the zone of influence of enterprises of the Norilsk industrial region] / A. A. Onuchin, T. A. Burenina, O. N. Zubareva i dr. *Sibirskij jekologicheskij zhurnal*, 2014, no. 6, pp. 1025-1037. (In Russ.)
3. Indikacionnye svojstva snezhnoj tolshchi (rezul'taty eksperimental'nyh issledovanij zimoj 2011/12 gg. v central'noj chasti Vostochno-Evropejskoj raviny) [Indicative properties of snow cover (results of experimental studies in the winter of 2011/12 in the central part of the East European Plain)] / L. M. Kitaev, R. A. Chernov, V. A. Ableeva, E. D. Korobov. *Led i sneg*, 2013, no. 4, pp. 67-73. (In Russ.)
4. Kitaev L. M. Izuchenie raspredeleniya snezhnogo pokrova v Central'noj lesostepi [Study of snow cover distribution in the Central forest-steppe]. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 1992, no. 1, pp. 64-68. (In Russ.)
5. Luk'janov A. I., Dahova E. V., Majorova L. P. Ocenna zagrjaznenija snezhnogo pokrova tjazhelyimi metallami kak odin iz metodov monitoringa atmosfernogo vozduha na primere na-selennyh punktov Dal'nego Vostoka [Assessment of snow cover pollution by heavy metals as one of the methods of atmospheric



- air monitoring using the example of settlements in the Far East]. *Vestnik Rossijskogo Universiteta druzhby narodov. Serija: Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*, 2022, vol. 30, no. 3, pp. 407-416. (In Russ.)
6. Madibekov A. S. Ocenka zagrjaznenosti tjazhelyimi metallami snezhnogo pokrova na territorii Juzhnogo Kazahstana [Assessment of heavy metal pollution of snow cover in the territory of Southern Kazakhstan]. *Vestnik Kazahskogo Nacional'nogo Universiteta*, 2011, no. 2, pp. 39-46. (In Russ.)
7. Makeeva E. G. Soderzhanie pollyutantov v snezhnom pokrove uchastka «Ozero Itkul» zapovednika «Hakassij» v 2022 godu [Pollutant content in the snow cover of the Lake Itkul section of the Khakassky Nature Reserve in 2022]. *Nauchnye issledovaniya v zapovednikah i nacional'nyh parkah Yuzhnoj Sibiri*, 2022, vol. 11, pp. 31-34. (In Russ.)
8. *Metodicheskie ukazanija po opredeleniju tjazhelyh metallov v pochvah sel'hozugodij i produkcii rastenievodstva* [Methodological guidelines for the determination of heavy metals in agricultural soils and plant products]. Moscow: CINAQ, 1992. 61 p. (In Russ.)
9. Monitoring zagrjaznenija snezhnogo pokrova g. Chity tjazhelyimi metallami [Monitoring of snow cover pollution in Chita with heavy metals] / E. A. Bondarevich, N. N. Kocjurzhinskaja, O. A. Zhiljaeva i dr. *Izvestija vuzov. Prikladnaja himija i biotekhnologija*, 2018, vol. 8, no. 2, pp. 132-144. (In Russ.)
10. *Obzor sostojaniya i zagrjaznenija okruzhajushhej sredy v Rossijskoj Federacii za 2023 god* [Review of the state and pollution of the environment in the Russian Federation for 2023]. Moscow: Rosgidromet, 2024. 215 p.
11. *RD52.04.186-89. Rukovodstvo po kontrolju zagrjaznenija atmosfery* [RD52.04.186-89. Air Pollution Control Guide]. Moscow: Rosgidromet, 1989. 615 p. (In Russ.)
12. *RD 5.44.592-2019. Massovaja koncentracija rtuti v atmosfernyh osadkakh i poverhnostnyh vodah. Metodika izmerenij metodom atomno-absorbcionnoj spektrometrii «holodnogo para»* [RD 5.44.592-2019. Mass concentration of mercury in atmospheric precipitation and surface waters. Measurement technique using «cold vapor» atomic absorption spectrometry]. Moscow: Rosgidromet, 2015. 21 p. (In Russ.)
13. *RD 52.44.594-2016. Massovaja koncentracija tjazhelyh metallov v atmosfernyh osadkakh i poverhnostnyh vodah. Metodika izmerenij atomno-absorbcionnoj spektrometrii s besplamennoj atomizacijej* [RD 52.44.594-2016. Mass concentration of heavy metals in atmospheric precipitation and surface waters. Measurement technique of atomic absorption spectrometry with flameless atomization]. Moscow: Rosgidromet, 2016, 32 p. (In Russ.)
14. *Rukovodstvo EMER/EAOS po inventarizacii vybrosov 2016. Obshchie rukovodjashchie ukazanija po podgotovke naciona'nyh inventarizacionnyh vybrosov. Tehnicheskiy otchet № 21* [EMEP/EEA emission inventory guidebook 2016. General guidance for the preparation of national emission inventories. Technical report No. 21]. Kopenhagen: EAOS, 2016, 37 p. (In Russ.)
15. Cnezhnyj pokrov: osobennosti lokal'nogo raspredeleniya v lesnyh massivah kak vozmozhnyj istochnik pogreshnostej sputnikovyh dannyh [Snow cover: local distribution features in forest areas as a possible source of satellite data errors] / L. M. Kitaev, A. S. Zheltuhin, E. D. Korobov, V. A. Ableeva. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2020, vol. 84, no. 6, pp. 855-863. (In Russ.)
16. Jekologicheskij kontrol' antropogenного zagrjaznenija snegovogo pokrova odnogo iz promyshlennyh rajonov g. Krasnojarska [Environmental monitoring of anthropogenic pollution of snow cover in one of the industrial areas of Krasnoyarsk]. / E. S. Rogovenko, N. V. Blinnikova, A. A. Shubin, L. G. Bondareva. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Himija, serija 4*, 2010, no. 3, pp. 387-394. (In Russ.)
17. Janchuk M. S., Vorob'jova I. B., Vlasova N. V. *Geoekologicheskaja ocenka sostojaniya snega i l'da na Juzhnom poberezh'e ozera Bajkal* [Geoecological assessment of the state of snow and ice on the southern coast of Lake Baikal]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografija. Geoekologija*, 2021, no 3, pp. 59-68. (In Russ.)

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 22.11.2024

Accepted: 25.11.2025

Китаев Лев Михайлович
Старший научный сотрудник лаборатории климатологии Института географии РАН, г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-0618-9209, e-mail: lkitaev@mail.ru

Аbleeva Vera Aleksandrovna
Старший научный сотрудник Приокско-Террасного государственного заповедника, Московская область, пос. Данки, ORCID: 0000-0002-0712-1264, e-mail: lkitaev@mail.ru

Lev M. Kitaev
Senior Researcher at the Laboratory of Climatology, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-0618-9209, e-mail: lkitaev@mail.ru

Vera A. Ableeva
Senior Researcher at the Prioksko-Terrasny State Nature Reserve, Moscow Region, Danki settlement, ORCID: 0000-0002-0712-1264, e-mail: lkitaev@mail.ru