

Результаты исследований гранулометрического и элементного состава атмосферных выпадений на территории заповедников Дальнего Востока РФ

ХОЛОДОВ А.С.¹, ГОЛОХВАСТ К.С.²

¹Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток

²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

Адрес для переписки golokhvast.ks@dvfu.ru

Аннотация. В Дальневосточном федеральном округе с учетом вошедших в его состав Республики Бурятия и Забайкальского края сегодня насчитывается 62 особо охраняемые природные территории федерального значения, среди них 30 государственных природных заповедников, 14 национальных парков, 16 заказников, 2 памятника природы. Вместе с ООПТ регионального значения охраняемые природные территории Дальнего Востока занимают более 100 млн га. В статье обобщены результаты исследования размерности и состава атмосферных взвесей, проводившегося в 6 государственных природных заповедниках Дальнего Востока: Бастак, Ботчинский, Зейский, Норский, Сихотэ-Алинский и Хинганский. В пяти из перечисленных заповедников отбирали пробы свежего снега, а в Хинганском – пробы хвои. Для получения смыва с хвои, пригодного к дальнейшему анализу, образцы хвои погружались в емкость с дистиллированной водой и обрабатывались ультразвуком. В растаявших пробах снега и усиленном ультразвуком смыве с хвои определяли размеры частиц и фракционный состав. Для взвесей из заповедников Бастак и Ботчинский проводили определение вещественного и элементного состава. Показано, что атмосфера исследованных заповедников, находящихся на расстоянии менее 100 км от крупных и средних городов (Бастак, Ботчинский), подвергается воздействию переноса техногенных частиц. В атмосфере этих заповедников обнаружены опасные для биоты нано- и микрочастицы металлов и их соединений (W, Ti, Fe, Ba, Sn, Zn, Zr, Ce, La и Ag), а также повышенное содержание водорастворимых соединений некоторых металлов (в частности, цинка). Заповедники, расположенные на удалении от крупных городов или рядом с малыми населенными пунктами (Норский, Зейский, Хинганский), содержат в атмосфере меньше техногенных частиц. Статья является установочной с точки зрения начала полномасштабного изучения гранулометрического, вещественного и микроэлементного состава атмосферной взвеси ООПТ Дальнего Востока РФ.

Ключевые слова: особо охраняемые природные территории, заповедники, загрязнение атмосферы, города, техногенное загрязнение.

Results of investigations of the granulometric and elemental composition of the atmospheric precipitation on the territory of the RF Far East reserves

KHOLODOV A.S.¹, GOLOKHAVAST K.S.²

¹Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok

²Far Eastern Federal University, Vladivostok

Correspondence golokhvast.ks@dvfu.ru

Abstract. The Russian Far Eastern Federal District, which since 2018 includes the Republic of Buryatia and the Trans-Baikal Territory, has today 62 specially protected natural areas of federal significance, including 30 state nature reserves, 14 national parks, 16 wildlife preserves, and 2 natural monuments. Together with the protected areas of regional significance, the protected natural areas of the Far East occupy more than 100 million hectares. The article summarizes the results of the study of the particle size distribution and composition of airborne particulate matter, carried out in 6 state nature reserves of the Russian Far East: Bastak, Botcha (Botchinsky), Zeya (Zeysky), Nora (Norsky), Sikhote-Alin and Khingan (Khingansky). In five of the studied nature reserves, we collected fresh snow samples, and in the Khingan reserve – conifer needle samples. To obtain the wash out from the needles suitable for further analysis, the needles samples were put in a container with distilled water and treated with ultrasound according to the described procedure. Particle sizes and fractional composition were determined in melted snow samples and ultrasound-treated washout from needles. PM samples from the Bastak and Botcha reserves were further analyzed for material and elemental composition. It is shown that the atmosphere of reserves located at a distance of less than 100 km from large and medium-sized cities (Bastak, Botcha) is affected by the transfer of technogenic particles. In the atmosphere of these reserves we found nano- and microparticles of metals and their compounds (W, Ti, Fe, Ba, Sn, Zn, Zr, Ce, La, and Ag), as well as increased content of water-soluble compounds of some metals (in particular, zinc). Reserves located at a distance from large cities or close to small settlements (Nora, Zeya, Khingan) contain less technogenic particles in the atmosphere. This is a position article showing that full-scale study of the particle size, material and microelement composition of airborne particulate matter in natural protected areas of the Russian Far East should continue.

Keywords: special protected natural areas, nature reserves, air pollution, cities, technogenic pollution.

Введение

Проблема сохранения природы, организации охраны природных ресурсов, биоразнообразия поднимается в России с конца XIX в. [1]. Система особо охраняемых природных территорий (ООПТ) претерпела множество изменений, тем не менее площадь, занимаемая ООПТ в РФ, продолжает увеличиваться. Так, с 2014 по 2018 г. она выросла с 202.3 млн до 237.7 млн га (занимая 13.9 % от площади страны) [2]. В 2018 г. в России насчитывалось почти 12 тыс. особо охраняемых природных территорий, из них 290 – федерального значения [2].

В Дальневосточном федеральном округе (ДФО) с учетом вошедших в его состав Республики Бурятия и Забайкальского края сегодня находится 62 ООПТ федерального значения, среди них 30 государственных природных заповедников, 14 национальных парков, 16 заказников, 2 памятника природы [3–5] (табл. 1). Вместе с ООПТ регионального значения охраняемые природные территории Дальнего Востока (ДВ) занимают более 100 млн га [3, 6, 7]. При этом территориальный «вклад» различных субъектов ДВ в состав ООПТ различается от 5.3 до 17.9 % [8].

В последнее время все более актуальным становится вопрос о загрязнении атмосферного воздуха на заповедных территориях, в том числе под влиянием техногенных выбросов [9, 10]. Изучение химического состава атмосферных осадков, основных факторов его формирования, переноса вещества, в том числе, трансграничного, велось на ряде заповедных территорий Дальнего Востока с 70-х гг. прошлого века [11–17]. Полученные результа-

Таблица 1

Некоторые ООПТ федерального значения на территории ДФО (по состоянию на 2020 г.) [3–5]

Table 1. Some special protected natural areas of the Russian Far Eastern Federal District (2020)

Государственные природные заповедники	Национальные парки	Государственные природные заказники	Памятники природы
Амурская область			
Зейский, Норский, Хинганский	Токинско-Становой	Орловский, Хингано-Архаринский	–
Республика Бурятия			
Байкальский, Баргузинский им. К.А. Забелина, Джергинский	Забайкальский, Тункинский	Алтайский, Кабанский, Фролихинский,	–
Еврейская автономная область			
Бастак	–	–	–
Забайкальский край			
Даурский, Сохондинский	Алханай, Кодар, Чикой	Долина Дзерена, Цасучейский Бор	Ледники Кодара
Камчатский край			
Командорский им. С.В. Маракова, Корякский, Кроноцкий	–	Южно-Камчатский им. Т.И. Шпиленка	–
Магаданская область			
Магаданский	–	–	Остров Талан
Приморский край			
Дальневосточный морской, Кедровая падь, Лазовский им. Л.Г. Капланова, Сихотэ-Алинский им. К.Г. Абрамова, Усурийский им. В.Л. Комарова, Ханкайский	Бикин, Земля леопарда, Зов тигра, Удэгейская легенда	–	–
Республика Саха (Якутия)			
Усть-Ленский, Олекминский	Ленские Столбы	Новосиби́рские острова	–
Сахалинская область			
Курильский, Поронайский	–	Малые Курилы	–
Хабаровский край			
Болоньский, Большехещирский, Ботчинский, Буреинский, Джугджурский, Комсомольский	Анойский, Шантарские острова	Баджалский, Ольджиканский, Тумнинский, Удыль, Хещирский	–
Чукотский автономный округ			
Остров Врангеля	Берингия	–	–

ты позволили выявить закономерности пространственной и временной изменчивости химического и элементного состава снежного покрова на отдельных заповедных территориях и их зависимость от климатических, орографических и антропогенных факторов [15].

Тем не менее, состояние атмосферного воздуха большинства заповедных территорий остается слабо изученным. В данной статье мы приводим основные результаты исследований загрязнения атмосферного воздуха заповедников Дальневосточного региона, полученные авторами в период 2013–2017 гг. [18–24]. Статья является установочной с точки зрения начала полномасштабного изучения гранулометрического, электронно-микроскопического и микроэлементного состава атмосферной взвеси заповедников Дальнего Востока РФ.

Материалы и методы

Исследование проводилось в период с 2013 по 2017 г. в 6 дальневосточных государственных природных заповедниках: Бастак, Ботчинский, Зейский, Норский, Сихотэ-Алинский и Хинганский. В пяти из перечисленных заповедников отбирали пробы свежего снега, а в Хинганском – пробы хвои.

При отборе проб снега было необходимо исключить вторичное загрязнение антропогенными аэрозолями, поэтому собирали верхний слой (5–10 см) только что выпавшего снега с площади 1 м². Снег помещали в стерильные пластиковые контейнеры объемом 2.5–3 л, промытые дистиллированной водой, и транспортировали в лабораторию научно-образовательного центра «Нанотехнологии» Инженерной школы ДВФУ. Методика отбора проб свежеснеговывающего снега считается высоко информативной [25, 26] и имеет ряд преимуществ: нет необходимости в пробоподготовке, можно сделать количественный и качественный анализ частиц взвеси, оценить водорастворимые органические соединения на поверхности частиц, саму их поверхность. В то же время существенным недостатком этого метода является сезонность отбора проб.

Для проведения исследования загрязнения атмосферы вне зависимости от сезона в Хинганском заповеднике отобрали пробы хвои. Хвою собирали с деревьев на высоте 1–1.5 м, помещали в промытые дистиллированной водой ПЭТ-контейнеры и транспортировали в лабораторию. Для получения смыва с хвои, пригодного к дальнейшему анализу, образцы хвои погружались в емкость с дистиллированной водой и обрабатывались ультразвуком с помощью ультразвукового гомогенизатора Sonopulse 3100 HD (фирма Bandelin electronic GmbH & Co. KG, Германия) частотой 22 кГц, мощностью 100 Вт с экспозицией в 5 мин.

В растаявших пробах снега и усиленном ультразвуком смыве с хвои определяли размеры частиц и фракционный состав. Жидкость взбалтывали, из каждого образца набирали аликвоту 40 мл жидкости и анализировали на лазерном анализаторе частиц Analysette 22 NanoTechplus (фирма Fritsch, Германия), позволяющем в ходе одного измерения устанавливать распределение частиц по размерам, а также определять их форму и ряд морфометрических параметров (средний диаметр, моду, медиану, отклонение, коэффициент отклонения). Измерения проводились с установкой измеряемой системы кварц-вода «quartz/water 20 °C», диапазон измерений составлял 0.008–2000 мкм. Результаты измерений, расчет для которых производился по уравнению Ми, указывают средний размер частиц и процентное соотношение частиц различной фракции.

Ранее было показано, что результаты гранулометрического анализа снеговой воды и усиленного ультразвуком смыва с хвои сопоставимы [27, 28]. Исследование гранулометрического состав взвесей даже без качественного анализа полезно для оценки техногенной нагрузки на исследуемую территорию, однако одним из ограничений применения метода является тот факт, что при работе на приборе задается некоторое количество измерений, в ходе которых частицы постепенно разрушаются.

Вещественный анализ взвесей из заповедников Бастак и Ботчинский проводили на световом микроскопе Nikon SMZ1000 и сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N с энергодисперсионным спектрометром ThermoScientific. Напыление образцов для электронного микроскопа производили платиной.

Результаты и их обсуждение

Подробные данные по исследованию заповедников приведены в статьях [18–24], здесь же мы обобщим основные полученные результаты.

В заповеднике Бастак наибольшие доли частиц размерного класса до 10 мкм были зафиксированы в точках отбора проб снега, находившихся вблизи федеральной трассы

Чита–Хабаровск (25 % PM_{10}), а также недалеко от автодороги Биробиджан–Кукан (100 % PM_{10}) [19]. Кроме того, в одной из точек обнаружили высокие концентрации взвесей диаметром 200–500 нм (52 % частиц). Происхождение этих частиц неясно, так как более выраженную связь с трассой должны иметь частицы диаметром 5–8 мкм. Нельзя исключать, что источником таких тонких частиц могли стать пыльные бури из пустынь Монголии и Китая [15].

По данным энергодисперсионного анализа [20] в атмосферных взвесах заповедника Бастак преобладали природные минералы и горные породы, а также частицы детрита. Среди минералов отмечены кварц, алюмосиликаты, слюды, пирит, гранат, каолинит. Мы также обнаружили частицы металлов (Fe, Pb, Ba, Cu) и их соединений, которые могли иметь как природное, так и техногенное происхождение. Часто встречались шлаковые частицы силикатного и алюмосиликатного составов. Наличие частиц металлов в пробах свежего снега можно объяснить как присутствием самородных металлов и их соединений в природных системах, так и близостью г. Биробиджан как источника техногенных частиц. Стоит отметить, что в точках отбора проб в центре заповедника частицы детрита преобладали над минеральной составляющей, а частицы металлов не встречались.

В Ботчинском заповеднике в двух точках отбора снега были зафиксированы концентрации частиц PM_{10} , доходящие до 100 % [18]. Эти же частицы обладали и самой высокой удельной поверхностью – до $36341 \text{ см}^2/\text{см}^3$. Также были обнаружены частицы размером 200–300 нм, хотя их доля была невелика.

Как показали результаты электронно-микроскопического исследования, в атмосферных взвесах заповедника преобладали органические компоненты – фрагменты листьев, семян, шерсти животных и т.д. В размерном классе до 10 мкм часто встречались соединения металлов (W, Ti, Fe, Ba, Sn, Zn и др.). Кроме того, обнаружены частицы фосфатов и редкоземельных элементов.

Исследование атмосферных взвесей Зейского заповедника показало почти полное отсутствие частиц с диаметром менее 10 мкм в атмосфере на момент отбора проб снега [21]. Максимальная доля таких частиц составила 4 %. Частицы на всех точках отбора проб обладали относительно невысокой удельной площадью поверхности – от 401.87 до $4720.22 \text{ см}^2/\text{см}^3$.

Приблизительно такая же ситуация наблюдалась в Норском заповеднике [22]. Максимальная доля частиц PM_{10} на одной из точек отбора проб снега составила 13 %. Частицы на всех точках отбора обладали относительно невысокой удельной площадью поверхности – от 552.95 до $3272.12 \text{ см}^2/\text{см}^3$.

В Сихотэ-Алинском заповеднике микроразмерные частицы экологически значимых размеров (менее 10 мкм) были обнаружены в значимых долях (от 19.7 до 40 %) во всех пробах снега [24]. Гранулометрический состав атмосферных взвесей заповедника схож с ближайшим населенным пунктом – п. Терней, характер атмосферной взвеси в котором формируется под влиянием одних и тех же географических факторов. Как свидетельствуют данные И.И. Кондратьева [29], в зимнее время наибольшее влияние на состав атмосферы данного региона оказывают воздушные массы с севера Дальнего Востока и Сибири.

В Хинганском заповеднике гранулометрический состав атмосферных взвесей изучали в усиленном ультразвуком смыве с хвои [23]. В точках отбора зафиксировано значительное содержание частиц PM_{10} – до 26.8 %, что может свидетельствовать о более высокой чувствительности метода по сравнению с анализом снеговой воды.

На вопрос, с чем же может быть связан столь значительный разброс содержания мелких фракций атмосферных взвесей в воздухе заповедных территорий, однозначного ответа найти не удастся. Очевидно, что помимо особенностей химического и минералогического состава коры выветривания в каждом конкретном регионе взвеси также привносятся на территорию заповедников извне. Как известно, частицы диаметром около 10 мкм могут «путешествовать» в атмосфере на расстояния до нескольких тысяч километров, а более мелкие частицы – до десятков тысяч [30, 31]. Взвеси диаметром до 2.5 мкм ($PM_{2.5}$) спо-

способны находиться в воздухе несколько дней и даже недель, при этом концентрация частиц взвеси может сильно варьироваться во времени в одном и том же месте [32, 33].

В ряде случаев вероятной представляется версия о влиянии ближайших городов на загрязнение атмосферы заповедников [34], при этом антропогенную нагрузку можно предварительно оценить по количеству жителей населенного пункта (табл. 2). Так, промышленность Биробиджана вносит вклад в загрязнение атмосферы заповедника Бастак. Микрочастицы техногенного происхождения в атмосферных взвешах Ботчинского заповедника могут быть привнесены из Советской Гавани. В других случаях влияние ближайшего населенного пункта не столь очевидно. Несомненно также, что на состав и размерность взвесей в атмосфере заповедников, расположенных на приграничных территориях, оказывают влияние особенности землепользования на близлежащих территориях КНР [35].

Таблица 2

Гранулометрический состав атмосферных взвесей (фракции PM_{10} и PM_{10}) некоторых заповедников Дальнего Востока, расстояние до ближайших населенных пунктов и число жителей в этих населенных пунктах

Table 2. Particle size distribution of airborne particulate matter (PM_{10} and PM_{10} fractions) of some nature reserves in the Russian Far East, distance to the nearest settlements and the population of these settlements

Заповедник	Средняя доля частиц PM_{10} в атмосфере, %	Средняя доля частиц PM_{10} в атмосфере, %	Ближайший к заповеднику населенный пункт / расстояние до него, км	Кол-во жителей в населенном пункте (2018 г.)
Бастак	2.6	33.6	Г. Биробиджан / 15	73.6 тыс.
Ботчинский	2	56	Г. Советская Гавань / 120	23.8 тыс.
Зейский	0	1.2	Г. Зея / 10	23.2 тыс.
Норский	0	5.4	Пос. Февральск / 10	4.7 тыс.
Сихотэ-Алиньский	3.2	30.7	Пос. Терней / 5	3.3 тыс.
Хинганский	2.2	23.5	Г. Биробиджан / 180	73.6 тыс.

Очевидно, что в настоящее время можно делать лишь предварительные выводы о состоянии атмосферного воздуха исследованных ООПТ. Дальнейшее исследование позволит идентифицировать источники загрязнения атмосферы, определить факторы, влияющие на перенос вещества на территорию заповедников, разработать комплекс мер по улучшению экологической ситуации.

Заключение и выводы

Результаты данной работы свидетельствуют о том, что атмосфера исследованных заповедников, находящихся недалеко (около 100 км) от крупных и средних городов (Бастак, Ботчинский), подвергается воздействию переноса техногенных частиц. В атмосфере этих заповедников обнаружены опасные для биоты нано- и микрочастицы металлов и их соединений (W, Ti, Fe, Ba, Sn, Zn, Zr, Ce, La и Ag), а также повышенное содержание водорастворимых соединений некоторых металлов (в частности, цинка). Заповедники, расположенные на удалении от крупных городов или рядом с малыми населенными пунктами (Норский, Зейский, Хинганский), содержат в атмосфере меньше техногенных частиц.

Несмотря на проведенные наблюдения, атмосферный воздух заповедников Дальнего Востока остается слабо изученным. Необходимо продолжить изучение гранулометрического, вещественного и микроэлементного состава атмосферной взвеси заповедников Дальнего Востока РФ, моделировать распространение загрязнения на территории ООПТ.

Литература

1. Манько Ю.И. История организации охраняемых природных территорий на российском Дальнем Востоке // Вестн. ДВО РАН. 2010. № 4. С. 107–110.
2. Россия в цифрах. 2019: Краткий статистический сборник. М.: Росстат, 2019. 549 с.
3. Калихман Т.П. Система особо охраняемых природных территорий Дальневосточного федерального округа в атласном картографировании // География и природные ресурсы. 2017. № 3. С. 22–35.
4. Информационно-аналитическая система «Особо охраняемые природные территории России». [Электронный ресурс]. – <http://oort.aari.ru> (дата обращения: 28.07.2020).
5. Письмо от 20 февраля 2018 г. № 05-12-32/5143 «О предоставлении информации для инженерно-экологических изысканий» / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_292633/ (дата обращения: 28.07.2020).
6. Бутыко Е.В. Особо охраняемые природные территории регионального значения в Забайкальском крае: современное состояние и перспективы развития // Окружающая среда Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. – <http://ecopeterburg.ru> (дата обращения: 28.07.2020).
7. Жалсаева Е.А., Дугаржапова М.А. Экономическое обоснование экологического аудита особо охраняемых природных территорий // Экономика и управление. 2016. № 1 (123). С. 44–50.
8. Дарман Ю.А., Егидарев Е.Г., Каракин В.П., Качур А.Н. ООПТ как специфический тип природопользования // Геосистемы Дальнего Востока России на рубеже XX–XXI веков. Т. 2 / отв. ред. П.Я. Бакланов, В.П. Каракин. Владивосток, 2010. С. 341–361.
9. Сухарева Т.А. Элементный состав листьев древесных растений в условиях техногенного загрязнения // Химия в интересах устойчивого развития. 2012. Т. 20, № 3. С. 369–376.
10. Zajchowski C.A.B., Brownlee M.T.J., Rose J. Air quality and the visitor experience in parks and protected areas // Tourism Geographies. 2019. Vol. 21, No. 4. P. 613–634.
11. Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. Аэротехногенное воздействие на элементный состав и состояние древесной растительности // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 1996. № 16. С. 23–26.
12. Елпатьевский П.В., Нестеров В.Н. Химический состав атмосферных осадков Сихотэ-Алинского биосферного заповедника как показатель фоновых характеристик атмосферы // Прикладные аспекты программы «Человек и биосфера». М., 1983. С. 196–212.
13. Качур А.Н., Кондратьев И.И., Свинухов В.Г. Содержания микроэлементов в снежном покрове Сихотэ-Алинского биосферного района и долине реки Рудной // Экологические проблемы Дальнего Востока: тез. науч.-практ. семинара. Дальнегорск, 1989. С. 12.
14. Кондратьев И.И., Качур А.Н. Роль орографических и климатических факторов в формировании химического состава снежного покрова Сихотэ-Алинского биосферного региона // География и природные ресурсы. 2004. № 1. С. 112–117.
15. Кондратьев И.И. Трансграничный атмосферный перенос аэрозоля и кислотных осадков на Дальний Восток России. Владивосток: Дальнаука, 2014. 300 с.
16. Новороцкая А.Г. Микроэлементный состав снежного покрова на территории Комсомольского заповедника // Гляциохимические и криогенные гидрохимические процессы. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 109–112.
17. Новороцкая А.Г. Атмосферное выпадение соединений серы и азота на территорию Большехецирского заповедника (Хабаровский край) // Современные проблемы регионального развития: тез. VI Международ. науч. конф. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, 2016. С. 264–267.
18. Голохваст К.С., Костомаров С.В., Костомарова И.В., Никифоров П.А., Чайка В.В., Середкин И.В., Черкызов И.Ю., Романова Т.Ю., Карабцов А.А. Состав атмосферных взвесей Ботчинского государственного заповедника (Хабаровский край) по данным загрязнения снежного покрова // Химия в интересах устойчивого развития. 2014. Т. 22, № 5. С. 437–443.
19. Голохваст К.С., Ревуцкая И.Л., Лонкина Е.С., Никитина А.В., Соломенник С.Ф., Романова Т.Ю. Нано- и микроразмерное загрязнение атмосферы заповедника «Бастак», вызванное техногенным влиянием города Биробиджана // Бюл. физиологии и патологии дыхания. 2016. № 61. С. 36–41.
20. Голохваст К.С., Ревуцкая И.Л., Лонкина Е.С., Памирский И.Э., Гульков А.Н., Христофорова Н.К. Характеристика состава атмосферных взвесей государственного заповедника «Бастак» // Экология человека. 2013. № 5. С. 24–28.
21. Голохваст К.С., Червова Л.Н., Кодинцев В.В., Чайка В.В., Памирский И.Э. Первые сведения о гранулометрическом составе атмосферных взвесей Зейского государственного заповедника (Амурская область) по данным загрязнения снежного покрова // Проблемы региональной экологии. 2015. № 3. С. 71–74.
22. Голохваст К.С., Червова Л.Н., Кодинцев В.В., Чайка В.В., Памирский И.Э. Первые сведения о гранулометрическом составе атмосферных взвесей Норского государственного заповедника (Амурская область) по данным загрязнения снежного покрова // Проблемы региональной экологии. 2015. № 3. С. 110–113.
23. Кодинцев В.В., Чайка В.В., Кутай В.Е., Захаренко А.М., Дрозд В.А., Памирский И.Э., Голохваст К.С. Изучение микроразмерного загрязнения атмосферы Хинганского заповедника (Амурская область) с помощью метода ультразвуковой очистки хвои // Экология урбанизированных территорий. 2017. № 1. С. 6–11.

24. Серёдкин И.В., Чайка В.В., Сутырина С.В., Голохваст К.С. Оценка гранулометрического состава взвесей в снеге Сихотэ-Алинского заповедника и близлежащего поселка Терней // Изв. Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17, №. 5. С. 310–313.
25. Liu Y., Fu B., Liu C., Shen Y., Liu H., Zhao Z., Wei T. Scavenging of atmospheric particulates by snow in Changji, China // *Global NEST J.* 2018. Vol. 20, No. 3. P. 471–476.
26. Shevchenko V.P., Lisitzin A.P., Vinogradova A.A., Starodymova D.P., Korobov V.B., Novigatsky A.N., Kokryatskaya N.M., Pokrovsky O.S. Dispersed sedimentary matter of the atmosphere // *Biogeochemistry of the Atmosphere, Ice and Water of the White Sea / A. Lisitsyn, V. Gordeev (eds)*. Cham, Switzerland: Springer, 2018. P. 9–46.
27. Козинцев В.В., Дрозд В.А., Середкин И.В., Холодов А.С., Анисимов Н.Ю., Голохваст К.С. Ультразвуковой смыв с хвои как новый достоверный способ исследования микроразмерного загрязнения атмосферы // *Бюл. физиологии и патологии дыхания.* 2017. № 65. С. 90–93.
28. Kholodov A., Tretyakova M., Golokhvast K. Using ultrasound-treated washout from conifer needles and fresh snow samples in air pollution monitoring // *The Scientific World J.* 2020. № 3529437.
29. Кондратьев И.И. Трансграничный фактор в изменчивости химического состава осадков на юге Дальнего Востока // *География и природные ресурсы.* 2009. № 3. С. 31–36.
30. Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 389 с.
31. Salvador P., Almeida S.M., Cardoso J., Almeida-Silva M., Nunes T., Cerqueira M., Alves C., Reis M.A., Chaves P.C., Artiñano B., Pio C. Composition and origin of PM10 in Cape Verde: Characterization of long-range transport episodes // *Atmospheric Environment.* 2016. Vol. 127. P. 326–339.
32. Warneck P. *Chemistry of the natural atmosphere.* San Diego: Academic Press, 1988. 757 p.
33. Куценогий К.П., Куценогий П.К. Аэрозоли Сибири. Итоги семилетних исследований // *Сибир. экол. журн.* 2000. № 1. С. 11–20.
34. Kholodov A., Golokhvast K. Air Pollution of nature reserves near cities in Russia // *Scientifica.* 2020. № 9148416.
35. Ганзей С.С., Мишина Н.В. Землепользование в трансграничных геосистемах юга РДВ и Северо-Востока Китая (в пределах бассейна Амура) // *Геосистемы Дальнего Востока России на рубеже XX–XXI веков. Т. 2 / отв. ред. П.Я. Бакланов, В.П. Каракин. Владивосток, 2010. С. 444–459.*

References

1. Manko, Yu.I. The history of organization of natural protected areas in the Russian Far East. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences.* 2010, 4, 107–110. (In Russian)
2. Russian Statistical Yearbook 2019. Rosstat: Moscow, Russia, 2019; 549 p. (In Russian)
3. Kalikhman T.P. The system of specially protected natural areas of the Far Eastern Federal District in atlas mapping. *Geography and Natural Resources.* 2017, 3, 22–35. (In Russian)
4. Information analysis system: Specially protected natural areas of Russia. Available online. – <http://oopt.aari.ru> (accessed on 28 July 2020). (In Russian)
5. Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation. Letter of February 20, 2018 No. 05-12-32/5143 On providing information for engineering and environmental surveys. Available online: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_292633/ (accessed on 28 July 2020). (In Russian)
6. Butko, E.V. Regional significance specially protected natural areas of the Trans-Baikal Territory: actual status and prospects for development. Environment of St. Petersburg. Available online: <http://ecopeterburg.ru> (accessed on 28 July 2020). (In Russian)
7. Zhalsaraeva, E.A., Dugarzhapova, M. A. Economic justification for the environmental audit of specially protected natural territories. *Economics and Management.* 2016. 1 (123), 44–50. (In Russian)
8. Darman, Yu.A., Egidarev, E.G., Karakin, V.P. Kachur, A.N. NPAs as specific type of natural management. In *Geosystems of Far East of Russia at the turn of the XX – XXI centuries.* Vol. 2; Editors-in-chief: P.Ya. Baklanov, V.P. Karakin; Vladivostok: Dalnauka, 2010, 341–361. (In Russian)
9. Sukhareva, T.A. Elemental composition of the leaves of wood plants under the conditions of technogenic pollution. *Chemistry for Sustainable Development.* 2012, 20 (3), 369–376. (In Russian)
10. Zajchowski, C.A.B., Brownlee, M.T.J., Rose, J. Air quality and the visitor experience in parks and protected areas. *Tourism Geographies.* 2019, 21 (4), 613–634.
11. Arzhanova, V.S., Elpatyevsky, P.V. Air pollution effect on chemical composition and state of the trees. *Environmental Monitoring and Ecosystem Modeling Problems.* 1996, 16, 23–26. (In Russian)
12. Elpatyevsky, P.V., Nesterov, V.N. The chemical composition of atmospheric precipitation of the Sikhote-Alin biosphere reserve as an indicator of the background characteristics of the atmosphere. In *Applied Aspects of the Program "Man and the Biosphere"*; Moscow, 1983, 196–212. (In Russian)
13. Kachur, A.N., Kondratyev, I.I., Svinukhov, V.G. The content of trace elements in the snow cover of the Sikhote-Alin biosphere region and the valley of the Rudnaya river. In *Environmental Problems of the Dalnegorsk Region: Abstracts of Scientific Seminar;* Dalnegorsk, 1989, 12. (In Russian)
14. Kondratyev, I.I., Kachur, A.N. The effect of orographic and climatic factors on the chemical composition of snow cover in the Sikhote-Alin' biosphere region. *Geography and Natural Resources.* 2004, 1, 112–117. (In Russian)

15. Kondratyev, I.I. Transboundary atmospheric transport of aerosol and acid precipitation in the Russian Far East. *Dal'nauka*: Vladivostok, 2014; 300. (In Russian)
16. Novorotskaya, A.G. Microelement composition of snow cover on the territory of the Komsomolsk reserve. In *Glaciochemical and Cryogenic Hydrochemical Processes*; FEB USSR Academy of Sciences: Vladivostok, 1989, 109–112. (In Russian)
17. Novorotskaya, A.G. Atmospheric deposition of sulphur and nitrogen compounds in the Bolshekhokhtsirsky wildlife reserve (Khabarovsk Krai). *Contemporary Problems of Regional Development: Abstracts of the VI Int. Sci. Conf.*; ICARP FEB RAS: Birobidzhan, 2016, 264–267. (In Russian)
18. Golokhvast, K.S., Kostomarov, S.V., Kostomarova, I.V., Nikiforov, P.A., Chaika, V.V., Seredkin, I.V., Chekryzhov, I.Yu., Romanova, T.Yu., Karabtsov, A.A. Composition of atmospheric suspensions from the Botchinsky State Reserve (Khabarovsk Territory) from the data on the pollution of Snow cover. *Chemistry for Sustainable Development*. 2014, 22 (5), 437–443. (In Russian)
19. Golokhvast, K.S., Revutskaya, I.L., Lonkina, E.S., Nikitina, A.V., Solomennik, S.F., Romanova, T.Yu. Nano- and microdimensional pollution of the atmosphere of the reserve “Bastak” caused by the technogenic impact of Birobidzhan city. *Bulletin of Physiology and Pathology of Respiration*. 2016, 61, 36–41. (In Russian)
20. Golokhvast, K.S., Revutskaya, I.L., Lonkina, E.S., Pamirskiy, I.E., Gulkov, A.N., Khristoforova, N.K. Characteristic of atmospheric suspensions composition in state reserve “Bastak”. *Human Ecology*. 2013, 5, 24–28. (In Russian)
21. Golokhvast, K.S., Chervova, L.N., Kodintsev, V.V., Chayka, V.V., Pamirskiy, I.E. The first data on the composition of atmospheric suspensions of the Zeysky state reserve (the Amur region) according to the pollution of snow cover. *Regional Environmental Issues*. 2015, 3, 71–74. (In Russian)
22. Golokhvast, K.S., Chervova, L.N., Kodintsev, V.V., Chayka, V.V., Pamirskiy, I.E. The first data on the composition of atmospheric suspensions of the Norsky state reserve (the Amur region) according to the pollution of snow cover. *Regional Environmental Issues*. 2015, 3, 110–113. (In Russian)
23. Kodintsev, V.V., Chayka, V.V., Kutay, V.E., Zakharenko, A.M., Drozd, V.A., Pamirskiy, I.E., Golokhvast, K.S. Study of microdimensional pollution of the atmosphere of the Khingan reserve (Amur region) by the method of ultrasonic cleaning of needles. *Ecology of Urban Areas*. 2017, 1, 6–11. (In Russian)
24. Seryodkin, I.V., Chayka, V.V., Sutyryna, S.V., Golokhvast, K.S. Assessment of particle size distribution of suspensions in snow of Sikhote-Alin Biosphere reserve and nearby settlement of Terney. *Proceedings of RAS SamSC*. 2015, 17 (5), 310–313. (In Russian)
25. Liu, Y., Fu, B., Liu, C., Shen, Y., Liu, H., Zhao, Z., Wei, T. Scavenging of atmospheric particulates by snow in Changji, China. *Global NEST J*. 2018, 20 (3), 471–476.
26. Shevchenko, V.P., Lisitsyn, A.P., Vinogradova, A.A., Starodymova, D.P., Korobov, V.B., Novigatsky, A.N., Kokryatskaya, N.M., Pokrovsky, O.S. Dispersed sedimentary matter of the atmosphere. In *Biogeochemistry of the Atmosphere, Ice and Water of the White Sea*; A. Lisitsyn, V. Gordeev (eds); Cham, Switzerland: Springer, 2018, 9–46.
27. Kodintsev, V.V., Drozd, V.A., Seryodkin, I.V., Kholodov, A.S., Anisimov, N.Yu., Golokhvast, K.S. Ultrasound flushes from the needles as a new method of investigation of air microdimensional pollution. *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*. 2017, 65, 90–93. (In Russian)
28. Kholodov, A., Tretyakova, M., Golokhvast, K. Use of the ultrasound-treated washout from conifer needles and fresh snow samples in air pollution monitoring. *The Scientific World J*. 2020, 3529437.
29. Kondratyev, I.I. The trans-boundary factor in chemical composition variability of atmospheric precipitation in the southern Far East. *Geography and Natural resources*. 2009, 3, 31–36. (In Russian)
30. Lisitsyn, A.P. Processes of ocean sedimentation. Moscow, 1978; 389. (In Russian)
31. Salvador, P., Almeida, S.M., Cardoso, J., Almeida-Silva, M., Nunes, T., Cerqueira, M., Alves, C., Reis, M.A., Chaves, P.C., Artiñano, B., Pio, C. Composition and origin of PM10 in Cape Verde: Characterization of long-range transport episodes. *Atmospheric Environment*. 2016, 127, 326–339.
32. Warneck, P. Chemistry of the natural atmosphere. Academic Press: San Diego, 1988; 757.
33. Kutsenogii, K.P., Kutsenogii, P.K. Aerosols of Siberia. Results of 7-year studies. *Contemporary Problems of Ecology*. 2000, 1, 11–20. (In Russian)
34. Kholodov, A., Golokhvast, K. Air Pollution of nature reserves near cities in Russia. *Scientifica*. 2020, 9148416.
35. Ganzei, S.S., Mishina, N.V. Land use in transboundary geosystems of the southern RFE and Northeastern China. In *Geosystems of Far East of Russia at the turn of the XX–XXI Centuries*. Vol. 2; Editors-in-chief: P.Ya. Baklanov, V.P. Karakin; Vladivostok: Dal'nauka, 2010, 444–459. (In Russian)