

УДК 504.06; 504.3.054
DOI: 10.18799/24131830/2024/9/4833
Шифр специальности ВАК: 03.02.08

Термины для описания атмосферных осадений веществ на поверхность

Н.И. Янченко✉

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия, г. Иркутск

✉ fduecn@bk.ru

Аннотация. *Актуальность* исследования связана с необходимостью оценки состояния окружающей среды на основе применения терминологии количественной химической характеристики подстилающей поверхности в результате осадений загрязняющих веществ в составе влажных и сухих выпадений из атмосферы. **Цель.** Данное исследование может быть источником информации о терминологии, применяемой для описания состояния подстилающей поверхности при осадении веществ из атмосферы, со ссылками на научно-техническую литературу. **Методы:** обзор научно-технической литературы и попытка выборки терминов, применяемых для количественной оценки экологического состояния подстилающей поверхности после поступления веществ в составе сухих и влажных выпадений из атмосферы, в зависимости от метода отбора проб. **Результаты и выводы.** Проведен анализ научно-технической литературы, и определены термины, применяемые к величине, которая имеет размерность масса/площадь*время для оценки экологического состояния снежного покрова, такие как «удельный запас (поверхностная плотность)», «плотность выпадения», «плотность атмосферного выпадения», «интенсивность выпадения загрязняющего вещества», «суточное выпадение химических элементов», «техногенная нагрузка», «пылевая нагрузка», «нагрузки загрязнения (элемента)», «массовая нагрузка», «газово-аэрозольная нагрузка», «модуль техногенного давления», «модуль поступления», «модуль атмосферных выпадений», «масса определяемого компонента, поступившего на единицу площади», «поток», полученные на основании отбора проб снежного покрова по высоте при снегохимической съемке. Также проведен анализ научно-технической литературы, и определены термины, применяемые к величине, которая имеет ту же размерность масса/площадь*время для оценки экологического состояния подстилающей поверхности при осадении веществ из атмосферы, таких как «плотность выпадения», «плотность атмосферного выпадения», «интенсивность выпадения загрязняющего вещества», «выпадения», «критическая нагрузка», «поток», полученных на основе сбора проб с помощью планшетов, кюветов, сборников.

Ключевые слова: снежный покров, атмосферные выпадения, нагрузка, интенсивность, плотность выпадения, поток

Для цитирования: Янченко Н.И. Термины для описания атмосферных осадений веществ на поверхность // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 9. – С. 220–230. DOI: 10.18799/24131830/2024/9/4833

UDC 504.06; 504.3.054
DOI: 10.18799/24131830/2024/9/4833

Terms for describing atmospheric deposition of substances on surfaces

Natalia I. Ianchenko✉

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

✉ fduecn@bk.ru

Abstract. Relevance. The need to assess the state of the environment based on the use of terminology for quantitative chemical characteristics of the underlying surface as a result of deposition of pollutants in the composition of wet and dry fallout from the atmosphere. **Aim.** This study can be a source of information about the terminology used to describe the state of the

underlying surface during the deposition of substances from the atmosphere, with links to scientific and technical literature. **Methods.** Review of some scientific and technical literature and an attempt to select terms used to quantify the ecological state of the underlying surface after the arrival of substances as part of dry and wet deposition from the atmosphere, depending on the sampling method. **Results and conclusions.** The author has carried out an analysis of the scientific and technical literature and defined the terms applied to a quantity that has the dimension mass/area*time for assessing the ecological state of the snow cover, such as specific reserve (surface density), deposition density, atmospheric deposition density, precipitation intensity pollutant, daily deposition of chemical elements, technogenic load, dust load, pollution load (element), mass load, gas-aerosol load, technogenic pressure module, input module, atmospheric fallout module, mass of the determined component received at unit area, flux obtained on the basis of sampling during snow chemical survey. An analysis of the scientific and technical literature was also carried out and the terms applied to a value with the same dimension mass/area*time were defined to assess the ecological state of the underlying surface during the deposition of substances from the atmosphere, such as "fallout density", "atmospheric fallout density", "pollutant fallout intensity", "aggravating substance", "precipitation", "critical load", "flow" obtained based on sample collection using plates, cuvettes, collections.

Keywords: snow cover, atmospheric precipitation, load, intensity, precipitation density, flux

For citation: Ianchenko N.I. Terms for describing atmospheric deposition of substances on surfaces. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2024, vol. 335, no. 9, pp. 220–230. DOI: 10.18799/24131830/2024/9/4833

Введение

Известно, что «проблемы природно-техногенной и экологической безопасности – результат дестабилизации системы "социум–техносфера–природная среда"... , вызванной игнорированием требований, выдвинутых в концепции устойчивого развития» [1. С. 316], которая предполагает в том числе оценку экологического риска или прогнозирования на основе мониторинга состояния компонентов окружающей среды.

Мониторинг может включать количественное и качественное описание химического состояния подстилающей поверхности в результате поступления веществ из атмосферы в виде сухих и влажных атмосферных выпадений. Выпадения компонентов с атмосферными осадками позволяют оценить нагрузку на окружающую среду в целом, в том числе на подстилающую поверхность. Как указано в Конвекции 2004 года, «общее отложения – это сумма сухих (турбулентных движений газов и частиц к поверхности), влажных (попадающих через дождь, снег или град), а также содержащихся в тумане и воде облаков отложений» [2. С. 25]. Вещества, входящие в состав выпадений, при определённых условиях могут относиться к категории «загрязняющих» для человека, биоты или экосистемы.

П.Ф. Свистов пишет, «в этих процессах формирования окружающей воздушной среды заметная роль принадлежит атмосферным осадкам. Помимо увлажнения подстилающей поверхности, при выпадении осадков она подвергается в разной степени воздействию их химического и биологического состава» [3. С. 8].

Информативной подстилающей поверхностью может быть и снежный покров. П.Ф. Свистов пишет «формирование химического состава снежного покрова происходит в процессе образования и пе-

реноса снежинок с облаками, при выпадении из атмосферы, а также в результате поступления из подстилающей почвы» [3. С. 92].

Вещества в атмосфере могут быть водорастворимыми и неводорастворимыми газами, водорастворимыми или нерастворимыми аэрозолями, соответственно, первые будут в составе фильтрата снеговой воды, а нерастворимые твердые вещества входят в состав твердого осадка (пыль), который остается на фильтре после фильтрования снеговой воды пробы снежного покрова или после фильтрования влажных атмосферных выпадений (осадки дождя или снегопадов). В РД 52.04.186-89 в п. 5.1. Наблюдения за загрязнением снежного покрова на основании снегомерной съемки [4. С. 508] пишут про «осадок твердых частиц на фильтре» [4. С. 511] после фильтрования талой воды. В англоязычной литературе применяется термин «Total suspended solids (TSS)» [5, 6] (перевод Google – «Общее количество взвешенных частиц»), который описывает тот же твердый водонерастворимый осадок снежного покрова, оставшийся на фильтре после фильтрования или центрифугирования снеговой воды.

Для количественного описания результата поступления веществ из атмосферы на подстилающую поверхность в научно-технической литературе применяются такие термины, как: «плотность выпадения загрязняющих веществ», «нагрузка выпадения», «интенсивность выпадения», «критические нагрузки», «атмосферные потоки», «модуль атмосферных выпадений», «величина влажного выпадения веществ» и другие, при этом может указываться название вещества, элемента или иона, а также отнесение его к категории «загрязняющие вещества». Все перечисленные термины, которые являются и показателями наблюдений/мониторинга, имеют одну и ту же единицу измерения (размерность) – масса/единица площади*время или мас-

са/единица площади. Единица времени может отсутствовать, но авторы в тексте обычно делают уточнение о продолжительности периода наблюдений, об особенностях отбора проб, о времени отбора проб и т. д.

Рассматриваемые термины или показатели (масса вещества/единица площади*время) являются расчетным и могут быть получены на основании натуральных измерений, например, при отборе проб снежного покрова по высоте при снегохимической (снегомерной) съемке, наблюдениях за атмосферными выпадениями с помощью различных планшетов/сборников/кювет с определенной экспозицией в течение заданного периода времени или разового случая дождя, снегопада.

Как указано в [4. С. 517], «конечной целью первичной обработки результатов измерений (при исследовании снежного покрова) является получение значений концентрации загрязняющих веществ в снеге, удельного запаса (поверхностной плотности) загрязняющих веществ на маршруте Q и средней интенсивности выпадений по исходным начальным данным для каждой пробы U», где Q имеет размерность $\text{мг}/\text{м}^2$, U – $\text{мг}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$. При этом, как обращает внимание Н.А. Першина, «поступление веществ на подстилающую поверхность зависит как от концентрации, так и в еще большей степени от количества осадков» [7. С. 6].

Рассматриваемые термины, имеющие единицу измерения масса/площадь*время важны для мониторинга и тем, что могут применяться, например, для косвенной оценки качества воздуха. Так, в «Руководстве по контролю загрязнения атмосферы» в пункте 3.4.6 «Косвенные методы исследования уровня загрязнения атмосферы» указано, что «кроме наблюдений непосредственно за уровнем загрязнения атмосферы, используются также *косвенные методы*, к числу которых относится отбор проб атмосферных осадков, определение содержания вредных веществ в снеге, почве и растительности» [4. С. 31].

При многолетней оценке динамики качества воздуха по величине загрязнения снежного покрова целесообразно учитывать и погодные показатели зимних периодов, например, такие, как оттепели. Так, в [8] рассматриваются физико-химические изменения снежного покрова, происходящие в период таяния снега, и отмечено, что результаты химического анализа показали, что в период оттепели первые порции талых вод были ответственны за дренаж в грунт значительной части примесей [8]. Так как общеизвестно, что температуры зимних периодов, количество осадков разных лет или продолжительность залегания снежного покрова могут год от года между собой значительно различаться, и многочисленные сведения об этом приведены в

докладах Росгидромета. Например, в докладе за 2018 г. [9. С. 16–17] отмечено, что «в период с 1976 по 2018 г. на значительной части страны выявлена тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова: на большей части Европейской части Российской Федерации... В среднем для Российской Федерации число дней со снегом сокращается на 0,75 дня за 10 лет» [9. С. 16–17]. В связи с этим не исключено, что погодные изменения влияют на химический состав снежного покрова, на расчет оценки состояния подстилающей поверхности и, как следствие, на косвенную оценку качества воздуха. Так, исследователи [10] указывают, что для большинства регионов Китая снижение относительной влажности и охлаждающий эффект сильных экстремальных осадков и их синоптической системы способствуют пиковому или отрицательному характеру зависимости между экстремальными осадками и соответствующей среднесуточной температурой, что отражается на характеристиках влажных выпадений.

Влияние погодных условий показано при сравнении химического состава снежного покрова с химическим составом атмосферных осадков в работе [3]. Так, на метеостанции Воейкова (Северо-Западное УГМС) в 2010–2011 гг. рассчитанные выпадения на снежный покров составили $2,12 \text{ т}/\text{км}^2$ и были выше, чем рассчитанные по атмосферным осадкам $1,49 \text{ т}/\text{км}^2$ (за тот же период времени). Но «в холодный период 2018–2019 гг. сумма выпадений с осадками составила $1,05 \text{ т}/\text{км}^2$ и уже превышала примерно на 35 % суммарные выпадения, рассчитанные по результатам химического состава снежного покрова $0,82 \text{ т}/\text{км}^2$ » [3. С. 103]. Как пишут авторы «связано это, скорее всего, с неустойчивыми погодными условиями в зимний период 2018–2019 гг.: периодическими оттепелями, мокрым снегом и дождем, что в свою очередь вызвало снижение содержания большинства компонентов в снежном покрове вследствие миграции по жидкоподобным пленкам в почву» [3. С. 103].

Можно предположить, что погодные условия, а не только технологические факторы влияют на пока не объясненные «...значительные колебания *плотности атмосферных выпадений* (при исследовании снежного покрова, прим. автора) соединений фтора как в фоновом районе, так и на пробных площадках в зоне влияния выбросов» в 2014–2018 гг. [9. С. 185]. В связи с этим становится очевидной непростая задача определения приоритетного фактора, повлиявшего на значительные колебания плотности выпадений загрязняющего вещества в снежном покрове, и в связи с этим дальнейшая оценка качества воздуха.

Авторы [11] отмечают, что по мере накопления многолетних данных становится актуальной пробле-

ма интерпретации данных об уровне накопления загрязняющих веществ депонирующей средой и загрязнении атмосферного воздуха. Q. Dai, T. Dai при анализе данных учитывают многие факторы и пишут, что на межгодовые колебания загрязнителей воздуха оказывают влияние не только источники выбросов, но и метеорологические факторы [12]. Вероятно, для более достоверной оценки качества воздуха по величине плотности выпадения ЗВ за отдельные годы в многолетнем ряду наблюдений в конкретном районе исследования целесообразно в перспективе указывать основные погодные характеристики сравниваемых периодов наблюдений, например, такие, как температура, количество атмосферных осадков, продолжительность оттепелей или иные.

В данном исследовании сделана попытка рассмотрения терминов для количественного описания химического состояния подстилающей поверхности, в том числе и снежного покрова, в результате выпадения водорастворимых, нерастворимых веществ из атмосферы в составе сухих и влажных выпадений. Эта статья может быть источником справочной информации общего характера со ссылками на научно-техническую литературу. Предложен алгоритм статьи, включающий разделение терминологий в зависимости от способа отбора проб. В данной статье два метода отбора проб: отбор проб по высоте снежного покрова при снегохимической съемке и отбор проб сухих и влажных выпадений при ежемесячном сборе атмосферных осадков или в заданный период времени.

Задачи исследования: поиск и попытка первичной систематизации общепринятых терминов с единицей измерения масса/площадь*время для описания химического состояния подстилающей поверхности, в том числе снежного покрова.

Результаты исследования и их обсуждение

1. Термины, применяемые к величине, которая имеет размерность масса/площадь*время, для описания химического состояния снежного покрова, выполненного методом снегохимической съемки (снегового опробования)

1.1. Термин «удельный запас (поверхностная плотность)», «интенсивность выпадения», «плотность выпадения», «суточное выпадение химических элементов»

Авторы [13. С. 59] пишут: «картину пространственного распределения загрязняющих вещества в снежном покрове удобно характеризовать тремя картами: распределения концентрации загрязняющих веществ, мг/л; количества загрязняющих веществ, выпавшего за время от образования снежного покрова до момента максимума влагозапаса в снеге – запаса (поверхностной плотности), т/км²; интенсивности выпадения загрязняющих веществ, кг/(км²*сут.)».

«Запас (поверхностная плотность)» ЗВ на маршруте Q (т/км²) рассчитывается по формуле [13. С. 59]:

$$Q = 10^{-2} * C * P,$$

где C – концентрация, мг/л; P – средний влагозапас на маршруте в г/см² [13. С. 59].

Исследователи В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман также являются авторами раздела 5 части II Руководящего документа [4], и здесь они рекомендуют для описания количественных характеристик загрязнения снежного покрова такие термины, как «удельный запас (поверхностная плотность) загрязняющих веществ на снегомерном маршруте», «интенсивность выпадения загрязняющего вещества». Об этом указано во II части РД «Региональное загрязнение атмосферы» в пункте 5 «Наблюдения за загрязнением снежного покрова на основе снегомерной съемки» [4. С. 508], в пункте 5.3 «Обработка и представление результатов измерений» [4. С.5 17], в подпункте 5.3.1 «Исходные данные» (термин «поверхностная плотность») [4. С. 517] и в подпункте 5.3.2 «Расчетные формулы» [4. С. 519].

Так, в [15. С. 107] указано что, «средняя плотность выпадений водорастворимых фторидов в снежном покрове обследованной территории г. Зима составляет 0,06 кг/км²*мес., ... Фоновое значение плотности выпадений водорастворимых фторидов в снежном покрове составило 0,05 кг/км²*мес.».

Исследователи О.Н. Зубарева, Д.А. Прысов, И.В. Данилова, М.А. Пляшечник используют термин «плотность выпадения» и конкретизируют предмет исследования словами «ионов», «загрязняющих веществ», «атмосферных выпадений», «пыли» при описании мониторинга снежного покрова г. Красноярск [16]. В Государственном докладе в п. 6.3. Загрязнение снежного покрова токсикантами промышленного происхождения [14. С. 62] также указано, что «средняя плотность сульфатов в снежном покрове обследованной территории составляет 2,65 кг/км²*мес. (0,9 Ф)» [14. С. 62], «плотности водонерастворимых форм соединений тяжелых металлов» [14. С. 62], «плотность содержания сульфат-ионов в снежном покрове... среднее значение плотностей сульфатов составило 40,90 кг/км²*мес» [14. С. 62].

Авторы [17. С. 11] указывают на важность понятийного аппарата и терминологии при геохимическом изучении окружающей среды. Они пишут [17. С. 127], что «изучение форм нахождения в атмосферных выпадениях (рис. 30 [17. С. 125]) показывает, что аномалии в «фоновых» городах во многом обусловлены поступлением химических элементов в виде пыли. С нерастворимой частью выпадений здесь связывается 70–90 % аномальных

конденсаций. В фоновых условиях большая часть химических элементов находится в растворенной форме», в подписи к рис. 30 указан термин «плотность выпадения, $г/км^2$ » [17. С. 125], как в снеговой воде, так и в пыли.

1.2. Термин «техногенная нагрузка», «пылевая нагрузка», «массовая нагрузка», «модуль техногенного давления», «модуль поступления», «газово-аэрозольная нагрузка», «модуль атмосферных выпадений»

Термин «нагрузка» указан в [17]. В работе написано, что «в некоторых случаях изучается распределение так называемых показателей техногенной нагрузки или модулей техногенного давления – массовой доли или объемной концентрации загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду на единицу площади (длины) за единицу времени (например, $г/м^2 \cdot сут.$)» [17. С. 18].

Р.Ю. Пожитков, Д.В. Московченко, А.В. Соромотин, Е.В. Томилова также применяют термин «пылевая нагрузка». Они пишут, что «по сравнению с промышленно развитыми регионами, где приток элементов со снегом на участках техногенного воздействия увеличивается в десятки раз, на Заполярном месторождении и на территории пос. Тазовский суммарный поток атмосферных загрязнителей невелик, что связано с относительно небольшой пылевой нагрузкой» [18. С. 19].

А.В. Таловская из научной школы профессора Е.Г. Язикова во всех публикациях указывает термин «пылевая нагрузка» [19]. Научная школа профессора Н.С. Касимова также применяет термин «пылевая нагрузка» с единицей измерения ($кг/км^2 \cdot сут.$) [20].

Термин «loadings» (перевод Google – «нагрузка») применяется в [6. Р. 693]. Автор пишет, что «Ancillary data obtained from Environment and Climate Change Canada (ECCC) for this study include the snow water equivalent data needed to convert PAC and metals concentrations in snow (e.g., $\mu g L^{-1}$) to their environmental loadings in mass per unit area over a given time period (e.g., $\mu g/m^2$)» (перевод Google – «Вспомогательные данные, полученные Канадой по окружающей среде и изменению климата (ECCC) для этого исследования, включают данные об эквиваленте воды в снеге, необходимые для преобразования концентраций PAC и металлов в снеге (например, $мкг л^{-1}$) в их нагрузку на окружающую среду в массе на единицу площади за определенный период времени (например, $мкг/м^2$)»). Также «Total suspended solids (TSS) and particulate organic carbon (POC) areal loadings are summarized in Fig. 1 (top row) in milligrams per square metre (mg/m^2)» (перевод Google – «Общие площадные нагрузки взвешенных твердых частиц (TSS) и органического углерода в виде частиц (POC) суммированы на рис. 1

(верхний ряд) в миллиграммах на квадратный метр ($мг/м^2$)»). Термин «loading» ($\mu g/m^2$) – «нагрузка» указан также в работе [21].

В работе [22] указано, что «where ML is the mass load of the given pollutant per square meter of a snow deposit (mg/m^2)» (перевод Google – «массовая нагрузка данного загрязняющего вещества на квадратный метр снежной залежи ($мг/м^2$)»).

Авторы работы [23] применяют термин «Mass Loading» (перевод Google – «массовая нагрузка») при рассмотрении поступления пыли на снежный покров и указывают $г/м^2$ при описании случаев выпадения пыли в отдельные даты, например, «Mass loading of the ALM layers ranged greatly from 5.6 to 50.1 $г/м^2$ for WY15 and WY13, respectively ...» (перевод Google – «Массовая нагрузка слоев ALM значительно варьировалась от 5,6 до 50,1 $г/м^2$ для WY15 и WY13 соответственно...»)

Профессор В.Н. Макаров применяет уточняющий термин «газово-аэрозольная нагрузка» P_n , $мг/(м^2 \cdot сут.)$. Он пишет: «Газово-аэрозольная нагрузка в холодное время года (поступление загрязнителей в растворимой фазе снежного покрова из атмосферы) неравномерно распределяется на территории города» [24. С. 424].

Термин «модуль поступления» применительно к атмосферному выпадению веществ указан в работах М.И. Василевича с соавторами. Авторы пишут: «модулей поступлений на подстилающую поверхность...», «модули поступления суммы ПАУ», «модулей поступления нитрат-ионов» [25. С. 35]. Термин «модули/ей» атмосферных выпадений также указан в работе [26. С. 309].

1.3. Термин «масса определяемого компонента, поступившего на единицу площади»

Ю.Е. Сайет с соавторами [17. С. 83] указывает, что «по данным снегового опробования рассчитывается аналогичный показатель и для нагрузки загрязнения (элемента) на окружающую среду – массы загрязнителя, выпадающей на единицу площади за единицу времени. Для этого учитывается общая масса потока загрязнителей – среднесуточная пылевая нагрузка P_n (в $кг/км^2$) и концентрация элемента (в $мг/кг$) в снеговой пыли. На этом основании рассчитывается общая нагрузка, создаваемая поступлением химического элемента в окружающую среду $P_{общ} = C P_n$...» [17. С. 83].

В исследовании [25. С. 35] указано, что «для более корректной интерпретации результатов эксперимента полученные данные пересчитывали в соответствующие значения массовой концентрации каждого компонента в снеге на единицу площади, используя следующую формулу ... где P – масса определяемого компонента, поступившего на единицу площади поверхности земли за весь период сохранения снежного покрова, $г/м^2$, или $мг/м^2$ ».

На сайте Института географии и водной безопасности республики Казахстан [27] приведен краткий отчет о научно-исследовательской работе «Геоэкологический мониторинг депонирующих сред территории дельты реки Иле и государственного природного резервата «Иле-Балкаш» и указана формула расчета P с уточнением о том, что это « P – масса определяемого компонента, поступившего на единицу площади поверхности земли за весь период сохранения СП, г/м² или мг/м²». Исследователи Т.В. Носкова, О.В. Ловцкая, Т.С. Папина с коллегами пишут, что «поток поступления изучаемых компонентов в течение зимнего периода из атмосферы на подстилающую поверхность рассчитывали с помощью формулы....где P – масса определяемого компонента, поступившего на единицу площади земной поверхности за период залегания снежного покрова, мг/дм²» [28. С. 452].

В коллективной монографии И.С. Каманиной указано, что «содержание тяжелых металлов в снеговой воде определялось в единицах массовых концентраций (мкг/дм³). Для более корректной интерпретации полученные результаты пересчитывались в соответствующие значения *уровней поступления* веществ на поверхность в мг/м² по формуле ... «где P – масса определяемого компонента, поступившего на единицу площади поверхности земли за весь период сохранения снежного покрова мг/м²» [29. С. 59]. Авторы пишут о нерастворимых веществах в снежном покрове (в «твердой фазе снежного покрова» [29. С. 77]) и применяют слово/термин «нагрузка», «общая нагрузка загрязнения», «тыловая нагрузка, кг/(км²*сут.)» [29. С. 59].

1.4. Термин «поток»

Xiaoring Wang с соавторами [30] пишет, что было собрано 15 проб поверхностного снега и 3 пробы из снежных ям для исследования концентраций и потоков ПФАС (перфторалкильные вещества) ... благодаря как высокой концентрации ПФАВ в снегу, так и значительному накоплению водного эквивалента были получены высокие *потоки осадения* (перевод Google – «*deposition flux*»): 1,8, 2,9 и 4,0 мкг/м²*год [30. Р. 294, 300].

Shi G., Ma H. и другие [31. Р. 1093] применяют слово «поток» и указывают, что «Ion fluxes in the three snow pits can be determined by multiplying the concentrations by the snow accumulation rate» (перевод Google – «*потоки ионов в трех снежных ямах можно определить, умножив концентрации на скорость накопления снега*»). Warren R.L. Cairns с соавторами также применяют слово «поток» в сообщении о депонировании ртути в снежном покрове и пишут «The daily collection of snow accumulation at Dome C station and from this an estimation of the depositional fluxes of mercury» (перевод Google – «Ежедневный сбор накоплений снега на станции

Купол С и на основе этого оценка *потоков* депонирования ртути») [32].

Слово «поток» применяют при описании результатов исследования химического состава снежного покрова в работах [17. С. 83; 18. С. 19; 28. С. 452].

2. Термины, применяемые к величине, которая имеет размерность масса/площадь*время для описания химического состояния подстилающей поверхности, выполненного с помощью планшетов/кювет/сборников

2.1. Термин «плотность атмосферного выпадения», «интенсивность выпадения», «выпадения» для описания загрязнения подстилающей поверхности при выпадении атмосферных выпадений

Определение «плотность выпадения» указано в РД 52.18.717-2009 «Методика расчета рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере при аварийных выбросах» [33. С. 5]. Это «количество ЗВ, накопившееся на единице площади подстилающей поверхности в течение определенного периода времени»; указано, что *плотность выпадения* обусловлена сухим или влажным выведением ЗВ из атмосферы [33. С. 19, 20], в том числе и со снегом [33. С. 28, 101]. В документе РД 52.18.826-2015 «Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 12. Наблюдения за радиоактивным загрязнением природной среды» указаны устройства – планшеты для сбора загрязняющих веществ, которые имеют площадь 0,3 м², время их экспозиции устанавливается в зависимости от требований исследования [34, С. 9, 11, 21, 90], собранными средами могут быть любые атмосферные выпадения, в том числе и осадки снега.

Термин «плотность атмосферных выпадений» указывается в Государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году» [9. С. 185], где написано, что «в 2018 г. были продолжены наблюдения за атмосферными выпадениями фтористых соединений в городах Братск, Иркутск, Шелехов и п. Листвянка. Среднегодовое значение *плотности выпадений* фторидов ... зарегистрированное в районе п. Листвянка, принято за фоновое» [9. С. 185]. Среднегодовое значение определяется на основании специальных наблюдений, которые проводятся в течение каждого месяца. На этой же странице указано, что «в г. Братске и его окрестностях в 2018 г. продолжались наблюдения за загрязнением снежного покрова соединениями фтора. За период 2014–2018 гг. отмечались значительные колебания *плотности атмосферных выпадений* соединений фтора как в фоновом районе, так и на пробных площадках в зоне влияния выбросов» [9. С. 185]. Вероятно, в первом случае метод наблюдения основан на анализе отдельных месячных проб, в том числе и отобранных в снежный период, во

втором метод отбора – снегосъемка перед активным снеготаянием.

В [15. С. 37] указано, что «в 2022 г. в Иркутской области ... продолжены наблюдения за атмосферными выпадениями соединений фтора в городах Братск, Иркутск, Шелехов и п. Листвянка. Среднегодовое значение *плотностей выпадений* фторидов ($0,87 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{месяц}$)». Ранее этот термин указан в п. 1.1. данной публикации. Термин один и тот же, единицы изменения одни и те же, отнесенные к одному временному периоду, к одному месяцу. Но численные значения плотности атмосферных выпадений, полученные на основании наблюдений за АО в течение 1 месяца, отличаются от значений плотности выпадения, полученных на основании снегомерной съемки и пересчитанные на 1 месяц. Плотности АО за зимний период и по результатам месячных наблюдений различаются и приведены в [3. С. 103]. Снегосъемка делается перед активным снеготаянием, если снежный покров сохранялся 4 месяца перед отбором пробы, например, с 1 ноября по 1 марта (период от образования устойчивого СП до даты отбора) и полученная величина «плотность выпадения» делится на 4. Единица измерения и название величины «плотность АО $\text{кг/км}^2 \cdot \text{месяц}$ » та же, что и полученная в снежный период, но в одном случае метод отбора проб осадков снега с помощью кюветы/планшета/сборника в течение месяца, а в другом – отбор проб СП по высоте перед активным снеготаянием и, как следствие, численные значения могут различаться.

В сборнике «Ежегодные данные по химическому составу и кислотности атмосферных осадков за 2016–2020 гг.» указывают термины «*P* – величина влажного выпадения, $\text{г/м}^2 \cdot \text{год}$ ($\text{т/км}^2 \cdot \text{год}$)» [7. С. 6], «интенсивность суммарных выпадений» [7. С. 17], «интенсивность потоков» [7. С. 16] основной термин «выпадения/ий» встречается в тексте 74 раза. «Отбор проб атмосферных осадков на всех станциях проводится с использованием одинаковых устройств (пробоотборник-емкость) и по единой методике в соответствии с РД 52.04.878-2019 [7. С. 5].

В Докладе по обзору фоновому состоянию [35. С. 3] указано название параграфа 1.5. «Выпадения серы и азота в результате трансграничного переноса загрязняющих воздух веществ», название таблицы 1.4.1. «Сравнение суммарных выпадений серы и азота с осадками на станциях ЕАНЕТ в 2008–2017 г. и критических нагрузок, ... $\text{г/м}^2 \cdot \text{год}$ ». В тексте отмечено, что сезонные изменения выпадений веществ определяются в основном годовым ходом осадков. «По результатам обработки годовых массивов, полученных данных оценены реальные величины атмосферных выпадений (нагрузок) серы и азота» [35. С. 45]. Слово «выпадения/ий» используется в обзоре примерно 65 раз [35].

В докладе «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году» [9] применяют термин «выпадения», с указанием конкретного тяжелого металла, хлорорганических пестицидов, ионов серы и азота. Так указано, что «в 2017–2018 гг. влажные выпадения кадмия на территории Кавказского БЗ составили менее $0,1 \text{ мг/м}^2$ » [9. С. 38], «влажные выпадения» с единицей измерения мкг/м^2 или мг/м^2 . На рис. 3.12 указана «Динамика выпадений суммарного азота... из атмосферы с осадками на станциях ЕМЕП ($\text{г N/м}^2 \cdot \text{год}$)». [9. С. 41]. В табл. 3.4 [9. С. 41] проводится сравнение «Суммарные выпадения и критические нагрузки для серы, $\text{г S/м}^2 \cdot \text{год}$ » [9. С. 41].

В обзоре «Ежегодные данные по химическому составу и кислотности атмосферных осадков за 2016–2020 гг.» [7] указано, что «выпадения загрязняющих веществ с атмосферными осадками рассчитывались на основе средневзвешенных месячных концентраций и количества выпавших осадков. ... величина влажных выпадений находится в прямой зависимости от суммы осадков и концентрации компонентов» [7. С. 15], единицы измерения $\text{т/км}^2 \cdot \text{год}$. Слово «выпадения/ий» применяется 84 раза.

2.2. Термин «критическая нагрузка»

Термин «Критические нагрузки» принят в Руководстве «Critical loads for eutrophication and acidification for European terrestrial ecosystems» [2]. Определение критической нагрузки таково: «Количественная оценка экспозиции одному или нескольким загрязнителям, ниже которой, согласно нынешнему состоянию знаний, не возникает значительных вредных последствий для определенных чувствительных элементов окружающей среды. ... Критические нагрузки были определены для нескольких загрязнителей и последствий их отложения», единицы измерения: масса/гектар*год ($\text{г} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$) [2. С. 125].

Термин «критические нагрузки» указан для описания результатов наблюдений за химическим составом атмосферных осадков. Так, в «Обзоре фоновому состоянию окружающей природной среды на территории стран СНГ за 2017 г.» [35] словосочетание «критические/их нагрузки/ок» указано 17 раз. Также применялся и термин «поток», например, «... уровни потоков серы и азота с осадками (без сухих выпадений) в Прибайкалье все еще ниже значений критических нагрузок» [35. С. 43].

2.3. Термин «поток»

А.А. Виноградова, Е.И. Котова в статье [36] «применяют термин «плотность потоков» и «годовые потоки» с единицей измерения $\text{кг/км}^2 \cdot \text{год}$. Авторы [37] применяют слово «поток», например, «Cd Flux in Dry Deposition» (перевод Google – «поток кадмия в сухом осаждении»). Указано, что «потоки атмосферных осадений Cd вокруг пла-

вильного завода Гуйси летом 2020 г. колебались в пределах 0,31–2,27 мг*м⁻². Авторы [38] пишут об исследованиях, также применяя слово/термин «поток», указано об использовании системы моделирования отложений для расчета *потоков* (fluxes) сухих, влажных и общих (сухих + влажных) *осаждений* 27 элементов в виде твердых частиц.

Применяется термин «поток» в работе [9. С. 40], а именно «рассчитанные по средневзвешенным концентрациям и месячным суммам выпавших осадков величины влажных выпадений ... составили г/м² в год. ...*потоки* влажных выпадений серы и азота в зимний период существенно ниже, чем в летний».

Заключение

Проведен анализ научно-технической литературы и определены термины, применяемые к величине, которая имеет размерность масса/площадь*время, для описания химического состояния снежного покрова «удельный запас (поверхностная плотность)», «плотность выпадения», «плотность атмосферного выпадения», «интенсив-

ность выпадения ЗВ», «суточное выпадение химических элементов», «техногенная нагрузка», «пылевая нагрузка», «нагрузки загрязнения (элемента)», «массовая нагрузка», «газово-аэрозольная нагрузка», «модуль техногенного давления», «модуль поступления», «модуль атмосферных выпадений», «масса определяемого компонента, поступившего на единицу площади», «поток»; применяемые к величине, которая имеет ту же размерность масса/площадь*время, для описания химического состояния подстилающей поверхности при осаждении веществ из атмосферы с влажными и сухими выпадениями: «плотность выпадения», «плотность атмосферного выпадения», «интенсивность выпадения», «выпадения», «критическая нагрузка», «поток», полученной на основе сбора проб с помощью планшетов, кюветов, сборников.

Установлено, что для описания химического состояния снежного покрова и иной подстилающей поверхности применяется как одинаковые, так и разные термины, имеющие одну и ту же размерность (масса/площадь*время).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков И.В., Фереферов Е.С. Цифровые технологии мониторинга и прогнозирования экологической обстановки в Сибири // Вестник Российской академии наук. – 2022. – Т. 92. – С. 315–323.
2. Critical loads for eutrophication and acidification for European terrestrial ecosystems. Final report. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-07-12_doku_03-2021-critical_load.pdf (дата обращения: 01.10.2023).
3. Свистов П.Ф., Першина Н.А., Павлова М.Т. Атлас диаграмм химического состава атмосферных осадков (применение). – М.: Изд-во «Перо», 2023. – 140 с.
4. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – М.: Госкомгидромет; Министерство здравоохранения СССР, 1991. – 693 с.
5. Estimating pollution loads in snow removed from a port facility: snow pile sampling strategies / A. Vijayan, H. Österlund, J. Marsalek, M. Viklander // Water, Air, & Soil Pollution. – 2021. – Vol. 232. – № 75. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05002-9>.
6. McNaughton C.S., Vandenberg J., Thiede P. Reanalysis of aerial deposition of metals and polycyclic aromatic compounds to snow in the Athabasca Oil Sands Region of Alberta Canada // Science of The Total Environment. – 2019. – Vol. 682. – P. 692–708. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.097>
7. Ежегодные данные по химическому составу и кислотности атмосферных осадков за 2016–2020 гг. (обзор данных) / Н.А. Першина, М.Т. Павлова, А.И. Полищук, Е.С. Семенец. – СПб: Изд-во ФГБУ «ГГО» Росгидромета, 2021. – 114 с.
8. Progressing pollutant elution from snowpack and evolution of its physicochemical properties during melting period – a case study from the Sudetes, Poland / D. Kępski, M. Błaś, M. Sobik, Ż. Polkowska, K. Grudzińska // Water, Air, & Soil Pollution. – 2016. – Vol. 227. – P. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2797-z>.
9. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». – М.: Изд-во Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. – 844 с.
10. Temperature dependence of extreme precipitation over mainland China / G. Xichao, Z. Yang, Q. Zhu, M. Guo, X. Zhi, G. Kai // Journal of Hydrology. – 2020. – Vol. 583. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124595>.
11. Integrated evaluation of aerogenic pollution by air-transported heavy metals (Pb, Cd, Ni, Zn, Mn and Cu) in the analysis of the main deposit media / E. Baltrėnaitė, P. Baltrėnas, A. Lietuvninkas, V. Šerevičienė, E. Zuokaitė // Environmental Science and Pollution Research. – 2014. – № 21. – P. 299–313. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2046-6>.
12. Quantifying the impacts of emissions and meteorology on the interannual variations of air pollutants in major Chinese cities from 2015 to 2021 / Q. Dai, T. Dai, L. Hou, L. Li, X. Bi, Y. Zhang, Y. Feng // Science China Earth Sciences. – 2023. – № 66. – P. 1725–1737. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11430-022-1128-1>.
13. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л.: Изд-во «Гидрометеоиздат», 1985. – 183 с.
14. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2022 году». – Иркутск: ООО «Максима», 2023. – 285 с.
15. Ежегодник «Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2022 году». – Обнинск: ФГБУ НПО «Тайфун», 2023. – 139 с.

16. Мониторинг загрязнения снежного покрова селитебной территории города Красноярска / О.Н. Зубарева, Д.А. Прысов, И.В. Данилова, М.А. Пляшечник // Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли: Материалы Пятой Байкальской Международной научной конференции. – Иркутск: ООО «Репроцентр А1», 2023. – С. 88–93.
17. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саев, Б.А. Ревич, Е.П. Янин, Р.С. Смирнова, И.Л. Башаркевич, Т.Л. Онищенко, Л.Н. Павлова, Н.Я. Трефилова, А.И., Ачкасов С.Ш. Саркисян. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
18. Оценка загрязнения снежного покрова заполярного месторождения / Р.Ю. Пожитков, Д.В. Московченко, А.В. Соромотин, Е.В. Томилова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2019. – № 5. – С. 15–21.
19. Адильбаева Т.Е., Таловская А.В., Язиков Е.Г. Применение статистических методов анализа эколого-геохимических измерений содержания элементов в снеговом покрове в районе расположения теплоэлектростанции (г. Караганда, республика Казахстан) // Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли: Материалы Пятой Байкальской Международной научной конференции. – Иркутск: ООО «Репроцентр А1», 2023. – С. 140–144.
20. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы / Н.С. Касимов, Н.Е. Кошелева, Д.В. Власов, Е.В. Терская // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2012. – № 4. – С. 14–24.
21. Long-term spatial and temporal trends, and source apportionment of polycyclic aromatic compounds in the Athabasca Oil Sands Region / L. Chibwe, D.C.G. Muir, Y. Gopalapillai, D. Shang, J.L. Kirk, C.A. Manzano, B. Atkinson, X. Wang, C. Teixeira // Environmental Pollution. – 2021. – Vol. 268. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115351>.
22. Occurrence of tire and road wear particles in urban and peri-urban snowbanks, and their potential environmental implications / E.S. Rødland, O.C. Lind, M.J. Reid, L.S. Heier, E.D. Okoffo, C. Rauert, K.V. Thomas, S. Meland // Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 824. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153785>.
23. Dust deposited on snow cover in the San Juan Mountains, Colorado, 2011–2016: compositional variability bearing on snow-melt effects / R.L. Reynolds, H.L. Goldstein, B.M. Moskowitz, R.F. Kokaly, S.M. Munson, P. Solheid, G.N. Breit, C.R. Lawrence, J. Derry // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2020. – Vol. 125. – № 7. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019JD032210>.
24. Макаров В.Н., Торговкин Н.В. Эколого-геохимическая оценка снежного покрова Якутска // Лёд и Снег. – 2021. – Т. 61. – № 3. – С. 420–430. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2076673421030098>.
25. Мониторинг аэротехногенного воздействия Сыктывкарского лесопромышленного комплекса / М.И. Василевич, Б.М. Кондратёнок, Д.П. Очеретенко, Р.С. Василевич, Д.Н. Габов, Е.Д. Лодыгин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 10. – С. 33–44. DOI: <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/10/3395>.
26. Минакова Е.А., Шлычков А.П. Выпадения биогенных веществ с атмосферными осадками в бассейне Средней и Нижней Волги // Проблемы региональной экологии. – 2018. – № 6. – С. 92–97.
27. Геоэкологический мониторинг депонирующих сред территории дельты реки Иле и государственного природного резервата / А.С. Мадиеков, Н.А. Амиргалиев, А. Мұсақұлқызы, Л.Т. Исмуханова, Р.А. Кулбекова, А.Ө. Жәди, Б.М. Султанбекова, К.М. Болатов, А.Б. Кайранбаева, С.Т. Манапов. URL: https://ingeo.kz/?page_id=9391 (дата обращения: 01.10.2023).
28. Распределение органических веществ в снежном покрове города Барнаул / Т.В. Носкова, О.В. Ловцкая, Т.С. Папина, М.С. Папина // Социально-экологические технологии. – 2020. – Т. 10. – № 4. – С. 447–458. DOI: <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2020-10-4-447-458>.
29. Комплексная оценка экологического состояния наукограда Дубна / И.З. Каманина, С.П. Каплина, О.А. Макаров, Н.А. Кликодуева. – Дубна: ОИЯИ, 2019. – 168 с.
30. Perfluorinated alkyl substances in snow as an atmospheric tracer for tracking the interactions between westerly winds and the Indian Monsoon over western China / X. Wang, M. Chen, P. Gong, C. Wang // Environment International. – 2019. – Vol. 124. – P. 294–301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.057>.
31. Brief communication: Spatial and temporal variations in surface snow chemistry along a traverse from coastal East Antarctica to the ice sheet summit (Dome A) / G. Shi, H. Ma, Z. Hu, Z. Chen, C. An, S. Jiang, Y. Li, T. Ma, J. Yu, D. Wang, S. Lu, B. Sun, M.G. Hastings // The Cryosphere. – 2021. – Vol. 15. – № 2. – P. 1087–1095. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-15-1087-2021>
32. Show more mercury in precipitated and surface snow at Dome C and a first estimate of mercury depositional fluxes during the Austral summer on the high Antarctic plateau / R.L.W. Cairns, C. Turetta, N. Maffezzoli, O. Magand, B.F. Araujo, H. Angot, D. Segato, P. Cristofanelli, F. Sprovieri, C. Scarchilli, P. Grigioni, V. Ciardini, C. Barbante, A. Dommergue, A. Spolaor // Atmospheric Environment. – 2021. – Vol. 262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118634>
33. РД 52.18.717-2009. Методика расчета рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере при аварийных выбросах. – М.: Изд-во Госкомгидромет; Изд-во Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2012. – 276 с.
34. РД 52.18.826-2015. Наставления гидрометеорологическим станциям и постом. Вып. 12. Наблюдения за радиоактивным загрязнением природной среды. Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу природной среды (Росгидромет). Утвержден заместителем руководителя Росгидромета 23.06.2015
35. Обзор фонового состояния окружающей природной среды на территории стран СНГ за 2017 г. / под ред. Г.М. Черногаевой. – М.: Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, 2018. – 99 с.
36. Виноградова А.А., Котова Е.И. Оценка потоков тяжелых металлов из атмосферы на поверхность Баренцева моря // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2019. – № 16. – С. 63–67. DOI: <https://doi.org/10.31241/FNS.2019.16.013>.
37. Atmospheric deposition of cadmium around a large copper smelter: characteristics and correlations with meteorological factors / Y. Li, Y. Long, H. Yang, Z. Huang, G. Huang // Water, Air, & Soil Pollution. – 2023. – Vol. 234. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06206-x>
38. Atmospheric deposition mapping of particulate elements in the Canadian Athabasca oil sands region / A.A. Mamun, L. Zhang, F. Yang, I. Cheng, X. Qiu // Environmental Pollution. – 2023. – Vol. 331. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121868>

Информация об авторе

Наталья Ивановна Янченко, доктор технических наук, ведущий специалист Института высоких технологий Иркутского национального исследовательского технического университета, Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83; fduesn@bk.ru

Поступила в редакцию: 08.11.2023

Поступила после рецензирования: 26.01.2024

Принята к публикации: 09.09.2024

REFERENCES

1. Bychkov I.V., Fereferov E.S. Digital technologies for monitoring and forecasting the environmental situation in Siberia. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 2022, vol. 92, pp. 315–323. (In Russ.)
2. *Critical loads for eutrophication and acidification for European terrestrial ecosystems*. Final report. Available at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-07-12_doku_03-2021-critical_load.pdf (accessed 1 October 2023).
3. Svistov P.F., Pershina N.A., Pavlova M.T. *Atlas of diagrams of the chemical composition of atmospheric precipitation (application)*. Moscow, Pero Publ., 2023. 140 p. (In Russ.)
4. RD 52.04.186-89. *Air Pollution Control Guide*. Moscow, Roshydromet Publ., 1991. 693 p. (In Russ.)
5. Vijayan A., Österlund H., Marsalek J., Viklander M. Estimating pollution loads in snow removed from a port facility: snow pile sampling strategies. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2021, vol. 232, no 75. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05002-9>.
6. McNaughton C.S., Vandenberg J., Thiede P. Reanalysis of aerial deposition of metals and polycyclic aromatic compounds to snow in the Athabasca Oil Sands Region of Alberta Canada. *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 682, pp. 692–708. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.097>
7. Pershina N.A., Pavlova M.T., Polishchuk A.I., Semenets E.S. *Annual data on the chemical composition and acidity of atmospheric precipitation for 2016–2020 (data review)*. Saint Petersburg, Roshydromet «GGO» Publ., 2021. 114 p. (In Russ.)
8. Kępski D., Błaś M., Sobik M., Polkowska Ż., Grudzińska K. Progressing pollutant elution from snowpack and evolution of its physicochemical properties during melting period – a case study from the Sudetes, Poland. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2016, vol. 227, pp. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2797-z>.
9. *State report «On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2018»*. Moscow, Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation Publ.; NPP «Kadastr» Publ., 2019. 844 p. (In Russ.)
10. Xichao G., Yang Z., Zhu Q., Guo M., Zhi X., Kai G. Temperature dependence of extreme precipitation over mainland China. *Journal of Hydrology*, 2020, vol. 583. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124595>.
11. Baltrėnaitė E., Baltrėnas P., Lietuvninkas A., Šerevičienė V., Zuokaitė E. Integrated evaluation of aerogenic pollution by air-transported heavy metals (Pb, Cd, Ni, Zn, Mn and Cu) in the analysis of the main deposit media. *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, no. 21, pp. 299–313. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2046-6>.
12. Dai Q., Dai T., Hou L., Li L., Bi X., Zhang Y., Feng Y. Quantifying the impacts of emissions and meteorology on the interannual variations of air pollutants in major Chinese cities from 2015 to 2021. *Science China Earth Sciences*, 2023, no. 66, pp. 1725–1737. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11430-022-1128-1>.
13. Vasilenko V.N., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. *Monitoring of snow cover pollution*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1985. 183 p. (In Russ.)
14. *State report «On the state and protection of the environment of the Irkutsk region in 2022»*. Irkutsk, LLC «Maxima» Publ., 2023. 285 p. (In Russ.)
15. *Yearbook «Soil contamination of the Russian Federation with toxicants of industrial origin in 2022»*. Obninsk, FSBI NPO «Typhoon» Publ., 2023. 139 p. (In Russ.)
16. Zubareva O.N., Prysov D.A., Danilova I.V., Plyashechnik M.A. Monitoring of pollution of the snow cover in the residential area of krasnoyarsk town. *Snow cover, precipitation, aerosols. Proceedings of the Fifth Baikal International Scientific Conference*. Irkutsk, LLC «Reprocentre A1», 2023. pp. 88–93. (In Russ.)
17. Achkasov A.I., Basharkevich I.L., Onishchenko T.L., Pavlova L.N., Revich B.A., Saet Yu.E., Sarkisyan S.Sh., Smirnova R.S., Trefilova N.Ya., Yanin E.P. *Environmental Geochemistry*. Moscow, Nedra Publ., 1990. 335 p. (In Russ.)
18. Pozhitkov R.Y., Moskovchenko D.V., Soromotin A.V., Tomilova E.V. Assessment of pollution of the snow cover of a polar field. *Environmental protection in the oil and gas complex*, 2019, no. 5, pp. 15–21. (In Russ.)
19. Adilbaeva T.E., Talovskaya A.V., Yazikov E.G. Application of statistical methods for analyzing ecological and geochemical measurements of the content of elements in the snow cover in the area where the thermal power plant is located (Karaganda, Republic of Kazakhstan). *Snow cover, precipitation, aerosols. Proceedings of the Fifth Baikal International Scientific Conference*. Irkutsk, LLC «Reprocentre A1», 2023. pp. 140–144. (In Russ.)
20. Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Vlasov D.V., Terskaya E.V. Geochemistry of snow cover in the Eastern District of Moscow. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*, 2012, no. 4, pp. 14–24. (In Russ.)
21. Chibwe L., Muir D.C.G., Gopalapillai Y., Shang D., Kirk J.L., Manzano C.A., Atkinson B., Wang X., Teixeira C. Long-term spatial and temporal trends, and source apportionment of polycyclic aromatic compounds in the Athabasca Oil Sands Region. *Environmental Pollution*, 2021, vol. 268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115351>.
22. Røddland E.S., Lind O.C., Reid M.J., Heier L.S., Okoffo E.D., Rauer C., Thomas K.V., Meland S. Occurrence of tire and road wear particles in urban and peri-urban snowbanks, and their potential environmental implications. *Science of The Total Environment*, 2022, vol. 824. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153785>

23. Reynolds R.L., Goldstein H.L., Moskowit B.M., Kokaly R.F., Munson S.M., Solheid P., Breit G.N., Lawrence C.R., Derry J. Dust deposited on snow cover in the San Juan Mountains, Colorado, 2011–2016: compositional variability bearing on snow-melt effects. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2020, vol. 125, no. 7. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019JD032210>.
24. Makarov V.N., Torgovkin N.V. Ecological and geochemical characteristics of the snow cover in the Yakutsk city (Central Siberia). *Ice and Snow*, 2021, vol. 61, no. 3, pp. 420–430. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.31857/S2076673421030098>.
25. Vasilevich M.I., Kondratenok B.M., Ocheretenko D.P., Vasilevich R.S., Gabov D.N., Lodygin E.D. Monitoring of aerotechnogenic impact of the Syktyvkar timber industry complex. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2021, vol. 332, no. 10, pp. 33–44. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/10/3395>.
26. Minakova E.A., Shlychkov A.P. Deposition of nutrients with precipitation in the Middle and Lower Volga basin. *Problems of regional ecology*, 2018, no. 6, pp. 92–97. (In Russ.)
27. Madibekov A.S., Amirgaliev N.A., Мысақылықызы A., Ismukhanova L.T., Kulbekova R.A., Zhədi A.Ə., Sultanbekova B.M., Bolatov K.M., Kairanbaeva A.B., Manapov S.T. *Geoecological monitoring of depositing environments of the Ile River delta and the state natural reserve*. (In Russ.) Available at: https://ingeo.kz/?page_id=9391 (accessed 1 October 2023).
28. Noskova T.V., Lovtskaya O.V., Papina T.S., Panina M.S. Distribution of organic substances in the snow cover of Barnaul. *Environment and Human: Ecological Studies*, 2020, vol. 10, no. 4, pp. 447–458. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2020-10-4-447-458>.
29. Kamanina I.Z., Kaplina S.P., Makarov O.A., Klikodueva N.A. *Comprehensive assessment of the ecological state of the science city of Dubna*. Dubna, JINR Publ., 2019. 168 p. (In Russ.)
30. Wang X., Chen M., Gong P., Wang C. Perfluorinated alkyl substances in snow as an atmospheric tracer for tracking the interactions between westerly winds and the Indian Monsoon over western China. *Environment International*, 2019. vol. 124, pp. 294–301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.057>.
31. Shi G., Ma H., Hu Z., Chen Z., An C., Jiang S., Li Y., Ma T., Yu J., Wang D., Lu S., Sun B., Hastings M.G. Brief communication: spatial and temporal variations in surface snow chemistry along a traverse from coastal East Antarctica to the ice sheet summit (Dome A). *The Cryosphere*, 2021, vol. 15, no. 2, pp. 1087–1095. DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-15-1087-2021>.
32. Cairns R.L.W., Turetta C., Maffezzoli N., Magand O., Araujo B.F., Angot H., Segato D., Cristofanelli P., Sprovieri F., Scarchilli C., Grigioni P., Ciardini V., Barbante C., Dommergue A., Spolaor A. Show more mercury in precipitated and surface snow at Dome C and a first estimate of mercury depositional fluxes during the Austral summer on the high Antarctic plateau. *Atmospheric Environment*, 2021, vol. 262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118634>.
33. RD 52.18.717-2009. *Methodology for calculating the dispersion of pollutants in the atmosphere during emergency emissions*. - Moscow, Roshydromet Publ.; Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation Publ., 2012. 276 p. (In Russ.)
34. RD 52.18.826-2015. *Instructions for hydrometeorological stations and posts. Issue 12. Observations on radioactive contamination of the natural environment*. Ministry of Natural Resources and Ecology of the RF, 2015. (In Russ.)
35. Review of the background state of the natural environment in the CIS countries for 2017. Ed. by G.M. Chernogaeva. Moscow, Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology Publ., 2018. 99 p. (In Russ.)
36. Vinogradova A.A., Kotova E.I. Assessment of heavy metal fluxes from the atmosphere to the Barents Sea. *Proceedings of the Fersman scientific session of the State Institute of Science and Technology of the KSC RAS*, 2019, no. 16, pp. 63–67. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.31241/FNS.2019.16.013>.
37. Li Y., Long Y., Yang H., Huang Z., Huang G. Atmospheric deposition of cadmium around a large copper smelter: characteristics and correlations with meteorological factors. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2023, vol. 234. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06206-x>.
38. Mamun A.A., Zhang L., Yang F., Cheng I., Qiu X. Atmospheric deposition mapping of particulate elements in the Canadian Athabasca oil sands region. *Environmental Pollution*, 2023, vol. 331. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121868>.

Information about the authors

Natalia I. Ianchenko, Dr. Sc., Leading Researcher, Irkutsk National Research Technical University, 83, Lermon-tov street, Irkutsk, 664074, Russian Federation; fduecn@bk.ru

Received: 08.11.2023

Revised: 26.01.2024

Accepted: 09.09.2024