

## ОБЗОРЫ

УДК 550.424:551.578.46

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА СОСТАВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА  
В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ**<sup>1,2</sup>Котова Е.И.<sup>1</sup>ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
им. академика Н.П. Лаверова» РАН, Архангельск, e-mail: [ecopp@yandex.ru](mailto:ecopp@yandex.ru);<sup>2</sup>Северо-Западное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Архангельск

Снежный покров играет фундаментальную роль в наземных экосистемах, поскольку влияет на количество и качество воды, глобальные биогеохимические циклы и свойства почвы. Состав снежного покрова является одним из факторов, воздействующих на гидрохимический режим территории. Формирование химического состава снежного покрова в российской Арктике происходит под влиянием естественных и антропогенных факторов, их соотношение зависит от расстояния от крупных промышленных центров и особенностей формирования гидрометеорологического режима территорий и акваторий. Целью исследования являлась количественная оценка степени влияния естественных и антропогенных факторов на состав снежного покрова Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ). В работе выделено 14 факторов формирования состава снежного покрова в Арктике: состав атмосферных осадков, сухое осаждение, загрязнение атмосферного воздуха, количество оттепелей, продолжительность залегания снежного покрова, метеорологический потенциал загрязнения, циркуляция атмосферы, морской аэрозоль, дальний перенос, ветровой режим, количество и режим осадков, влагозапас, рельеф (открытость местности, экспозиция склонов), местные антропогенные источники поступления поллютантов. Выделение факторов проводилось автором в процессе изучения процесса формирования состава снежного покрова, в том числе обзора литературных источников. Оценка степени влияния различных факторов на состав снежного покрова АЗРФ проведена с помощью метода экспертных опросов и метода анализа иерархий. По результатам обработки данных проведенного экспертного опроса наибольшее влияние на формирование химического состава снежного покрова в российской Арктике оказывают местные антропогенные источники поступления поллютантов и состав атмосферных осадков. Наименьший вклад оказывают дальний перенос и ветровой режим.

**Ключевые слова:** снежный покров, Арктика, экспертные методы**ASSESSMENT OF FACTORS INFLUENCE ON THE COMPOSITION  
OF SNOW COVER IN THE RUSSIAN ARCTIC**<sup>1,2</sup>Kotova E.I.<sup>1</sup>*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research RAS, Arkhangelsk, e-mail: [ecopp@yandex.ru](mailto:ecopp@yandex.ru);*<sup>2</sup>*The Northwest Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Arkhangelsk*

The composition and condition of snow cover has a significant impact on terrestrial and aquatic ecosystems. Formation of snow cover composition in the Russian Arctic occurs under influence of natural and anthropogenic factors. The importance of factors depends on the distance from large industrial centers and the peculiarities of hydrometeorological regime of territories and water areas. The purpose of the study was to assess the degree of natural and anthropogenic factors influence on the composition of snow cover in the Arctic zone of the Russian Federation (AZRF). The work identified 14 factors of snow cover composition formation in the Arctic: composition of atmospheric precipitation, dry deposition, atmospheric air pollution, amount of thaw, duration of snow cover occurrence, meteorological potential of pollution, atmospheric circulation, sea aerosol, long-range transport, wind regime, amount and regime of precipitation, moisture, relief (openness of terrain, exposure of slopes), local anthropogenic sources of arrival of pollutants. The identification of factors was carried out by the author studying the process of snow cover composition formation, including the review of literary sources. Using the method of expert surveys and the method of hierarchy analysis, the degree of influence of various factors on the composition of the snow cover of the AZRF was assessed. According to the expert survey, the most influence on the formation of the chemical composition of snow cover in the Russian Arctic is the local anthropogenic sources of pollutants and the composition of atmospheric precipitation. Long-range transport and wind mode contribute the least.

**Keywords:** snow cover, Arctic, expert methods

Снежный покров играет фундаментальную роль в наземных экосистемах, поскольку влияет на климат Земли, количество и качество поверхностных вод, глобальные биогеохимические циклы и свойства почвы. Состав снежного покрова является одним из факторов, воздействующих на гидрохимический режим территории [1]. Состав и состояние снежного покрова может оказать су-

щественное влияние на состояние не только наземных, но и водных экосистем. Формирование химического состава снежного покрова в российской Арктике происходит под влиянием множества естественных и антропогенных факторов, их соотношение зависит от расстояния от крупных промышленных центров и особенностей формирования гидрометеорологического режима территорий

и акваторий [2, 3]. Существенный разброс статистических характеристик ионного состава снега и значений концентраций ионов в снежном покрове указывает на пространственную и временную неоднородность химического состава снежного покрова, многофакторность процесса его формирования на данной территории [4].

Цель исследования: количественная оценка степени влияния естественных и антропогенных факторов на состав снежного покрова Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ). Для достижения цели были выделены и описаны факторы формирования химического состава снежного покрова в российской Арктике, а также проведена оценка количественного вклада факторов посредством весовых коэффициентов.

#### **Материалы и методы исследования**

Выделение факторов проводилось автором в процессе изучения процесса формирования состава снежного покрова [5], в том числе обзора литературных источников [6–8]. Обобщение сделано в рамках данной статьи.

Количественный вклад факторов можно оценить посредством весовых коэффициентов. Для такого рода задач, когда факторы выражаются в различных единицах, наиболее эффективными являются экспертные технологии. В данной работе весовые коэффициенты рассчитывались методом анализа иерархий (МАИ), основанном на парном сравнении факторов [9].

Всего в опросе участвовало 12 экспертов, из них 2 доктора географических наук, 8 кандидатов наук, 2 сотрудника Росгидромета. Темы научных работ и характер работы экспертов непосредственно связаны с рассматриваемым вопросом.

Все результаты опросов принимались к рассмотрению, поскольку встроенный в МАИ критерий качества работы экспертов, как показано в работах [10–12], таковым не является.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

В работе выделено 14 факторов формирования состава снежного покрова в Арктике: состав атмосферных осадков, сухое осаждение, загрязнение атмосферного воздуха, количество оттепелей, продолжительность залегания снежного покрова, метеорологический потенциал загрязнения, циркуляция атмосферы, морской аэрозоль, дальний перенос, ветровой режим, количе-

ство и режим осадков, влагозапас, рельеф (открытость местности, экспозиция склонов), местные антропогенные источники поступления поллютантов.

*Состав атмосферных осадков.* Первым этапом загрязнения снежного покрова является загрязнение снежинок во время их образования и выпадения на местность – так называемое влажное выпадение. Но, несмотря на то, что снег – это выпавшие осадки, количественные значения ионного состава снежного покрова не имеют тесной корреляции с количественным ионным составом атмосферных осадков, за исключением отдельных компонентов [5].

*Сухое осаждение.* Загрязняющие вещества также попадают на подстилающую поверхность и при условии отсутствия мокрых осадков; этот процесс выведения из атмосферы загрязняющих соединений называется сухим выпадением [13]. Кроме того, снежный покров сам по себе не является инертной средой, он участвует в газообмене с прилегающим воздухом. По данным [14] рыхлый снег слоем 30 см на площади 1 га за сутки в состоянии поглотить 3–5 кг сернистого газа и столько же аммиака. С ноября по январь на рассматриваемой территории формируются основные запасы снега, в связи с чем основной вклад в формирование химического состава снежного покрова вносит вымывание веществ из атмосферы. В остальные месяцы предполагается преобладание сухого осаждения [5].

*Загрязнение атмосферы.* Загрязняющие вещества из атмосферы попадают в снежный покров, как в период выпадения осадков, так и в результате сухого осаждения. При этом следует иметь в виду, что чем более загрязнен атмосферный воздух, тем более интенсивными и продолжительными должны быть осадки, для того, чтобы полностью очистить атмосферный воздух [15, 16].

*Подтаивание.* Изменение химического состава снежного покрова происходит при таянии снега. При весеннем снеготаянии концентрации иона водорода, сульфатов и свинца в первых порциях талой воды до 6,5 раз превышают концентрацию во всем объеме. Наибольший запас загрязняющих веществ в снеге теряется при таянии только 35% всего снега [13].

*Продолжительность залегания снежного покрова.* В первую очередь продолжительность залегания снежного покрова определяет общее время, за которое происходит накопление веществ в снежном покрове [17]. Кроме того, от длительности хо-

лодного периода зависит отношение между сухим и влажным выпадениями.

*Метеорологический потенциал загрязнения.* Расположение территории в зоне низкого и умеренного метеорологического потенциала загрязнения, с одной стороны, способствует очищению атмосферы, а с другой – значительному загрязнению осадков и, как следствие, снежного покрова в результате интенсивного вымывания примесей из атмосферы [5].

*Циркуляция атмосферы.* Важную роль в переносе химических веществ, в том числе дальнем, играет циркуляция атмосферы. Рассматриваемый регион одинаково доступен как теплым влажным воздушным массам, поступающим с Атлантического океана, так и холодным массам, вторгающимся с Арктического бассейна. Значительно реже сюда проникают воздушные массы с Черного и Средиземного морей. Наиболее интенсивна циклоническая деятельность осенью и зимой [5]. В результате особенностей циркуляции атмосферы на территории Арктики происходит разгрузка воздушных потоков от тех загрязнений, которые они накопили в среднеширотных районах [18].

*Морской аэрозоль.* Арктическая суша находится под влиянием океана. При этом влияние океана не ограничивается переносом тепла и влаги. С воздушными массами переносятся морские аэрозоли, основную часть которых составляют водорастворимые соли. В то же время многочисленные данные свидетельствуют, что с удалением от берега моря концентрация растворимых солей в атмосферных осадках быстро уменьшается [19]. На континентах влияние массопереноса морских солей ограничено узкой полосой и не распространяется на внутриконтинентальные области. Иная ситуация существует на небольших островах, вся территория которых находится под воздействием массопереноса с моря [19]. В западном секторе Арктики, находящемся под влиянием Нордкапского течения, большие акватории Баренцева моря весь год остаются свободными ото льда и служат источником морских аэрозолей и в зимний период [4]. Вследствие влияния морских аэрозолей в рассматриваемом районе происходит обогащение снежного покрова ионами натрия, хлорид-ионами и сульфат-ионами [20].

*Дальний перенос.* Исследования последних 40 лет, выполненные учеными разных стран, показали, что в северных широтах, особенно в Арктике, в загрязнении природной среды большую роль играет перенос

веществ воздушными массами [4, 21]. При этом различные загрязнители обнаружены в сотнях и тысячах километров от источников [22]. В снежном покрове удаленных фоновых районах Арктики были обнаружены пыльца, споры и др. растительный материал, минеральные частицы, поступающие сюда за счет дальнего золового переноса. Среднее значение вертикального потока аэрозолей в Арктике составляет около 600 мг/м<sup>2</sup> в год [23]. Например, случай выпадения пыли, окрашивающей снег в желтый цвет на территории Архангельской области, Республики Коми и Ненецкого автономного округа, был зафиксирован 25–26 марта 2008 г. В результате детальных исследований было установлено, что основным источником пыли являются полупустынные и степные районы Северо-Западного Казахстана, Волгоградской и Астраханской областей, Калмыкии, удаленных от района выпадения на 1500–2500 км. К чисто морскому аэрозолю над Белым морем, генерируемым непосредственно самим морем, добавляется аэрозоль континентальный, имеющий в зимнее время в основном антропогенное происхождение, и пылевой, принесенный из южных районов. Повешенные концентрации серы и аммонийного азота, фиксирующиеся в регионах Колымы и Чукотки, предположительно обусловлены вулканической деятельностью и переносом веществ с Камчатского п-ва.

*Ветровой режим.* Ветровой режим влияет как на характер распределения снега, так и на перенос веществ от источников. Уровень концентрации ТМ, находящихся в атмосфере в аэрозольном состоянии, во многом определяется именно ветровым режимом. Из-за сноса снега с полей его масса существенно возрастает в лесах, оврагах, балках. Дальность переноса снежных частиц в умеренных широтах может достигать 3 км, на севере и в Арктике, где средняя скорость выше, эти расстояния могут быть и большими.

*Количество и режим осадков.* Количество осадков на состав снежного покрова влияет неоднозначно. С одной стороны, осадки, вымывая вещества из атмосферы, приводят к их накоплению в снеге. В то же время при увеличении интенсивности осадков уменьшается коэффициент концентрирования веществ в осадках. Более продолжительные снегопады приводят лишь к увеличению влагозапаса и, как следствие, «разбавлению» состава снежного покрова [15].

Результаты ранжирования факторов

| Ранг | Фактор  | Среднее значение<br>веса<br>коэффициента | Коэффициент<br>вариации, % |
|------|---|--|----------------------------|
| 1    | Местные антропогенные источники поступления поллютантов     | 0,0999                                   | 67                         |
| 2    | Состав атмосферных осадков                                  | 0,0967                                   | 50                         |
| 3    | Метеорологический потенциал загрязнения                     | 0,0963                                   | 78                         |
| 4    | Загрязнение атмосферного воздуха                            | 0,0943                                   | 41                         |
| 5    | Количество и режим осадков                                  | 0,0795                                   | 60                         |
| 6    | Сухое осаждение   | 0,0720                                   | 44                         |
| 7    | Морской аэрозоль  | 0,0707                                   | 63                         |
| 8    | Влагозапас  | 0,0697                                   | 86                         |
| 9    | Циркуляция атмосферы  | 0,0611                                   | 31                         |
| 10   | Продолжительность залегания снежного покрова                | 0,0599                                   | 44                         |
| 11   | Рельеф: открытость местности (лес/поле), экспозиция склонов | 0,0561                                   | 68                         |
| 12   | Количество оттепелей  | 0,0522                                   | 85                         |
| 13   | Дальний перенос   | 0,0515                                   | 59                         |
| 14   | Ветровой режим  | 0,0400                                   | 53                         |

*Влагозапас.* Механизм испарения снега, при котором запас загрязняющих веществ в снеге остается, а влагозапас уменьшается, может служить одной из причин обогащения снежного покрова относительно атмосферных осадков. Испарение достигает максимума в начальный период таяния. Наибольшее испарение со снежной поверхности отмечается как раз на северо-западе ЕТР [13].

*Рельеф: открытость местности (лес/поле), экспозиция склонов.* Рельеф территории влияет на процессы осаждения химических веществ, переноса воздушных масс и др. Количество твердых осадков возрастает с наветренной стороны возвышенностей. Кроме того, рельеф местности влияет на неоднородность влагозапаса в снеге, его перенос ветром.

*Местные антропогенные источники поступления поллютантов.* Содержание элементов в снеге и их выпадения колеблются в широком диапазоне главным образом в зависимости от степени антропогенного влияния. Снежный покров вокруг городов и промышленных центров оказывается загрязненным аэрозольными продуктами на больших площадях [24]. Площадь аномальных полей концентраций таких ореолов и заключенная в них масса загрязняющих веществ закономерно связаны с величиной выбросов и длительностью периода накопления. До недавнего времени Арктика рассматривалась в качестве «эталона чистоты» для сравнения с антропогенно деформированными экосистемами. На самом деле нетронутость арктических экосистем оказалась лишь предположением. Вклад регио-

нов в загрязнение различен. Предприятия г. Норильска – мощный источник диоксида серы, способный оказывать влияние на отдаленные территории. Значимый объем диоксида серы поступает от предприятий Мурманской и Архангельской областей. Основной объем выбросов оксидов азота приходится на источники Ямало-Ненецкого АО и Красноярского края [4].

Результаты обработки экспертных суждений мнений методом анализа иерархий предоставлены в таблице

Весьма заметный разброс экспертных суждений не должен удивлять: в большинстве экспертных опросов отмечается существенное расхождение оценок экспертов, причём это не зависит от их квалификации [25]. На это обстоятельство обратил внимание ещё в конце XIX в. французский психолог Гюстав Лебон, изучавший результаты суждений профессиональных сообществ по вопросам, являющимся областью их компетенции [26]. Но их усреднённые оценки являются статистически устойчивыми и в малой степени зависят от разброса суждений [11].

По данным экспертного опроса наибольшее влияние на формирование химического состава снежного покрова в российской Арктике оказывают местные антропогенные источники поступления поллютантов и состав атмосферных осадков. Наименьший вклад оказывают дальний перенос и ветровой режим. В то же время исследования по данному вопросу [4, 6, 7] показали, что дальний перенос играет существенную роль в процессе формирования

состава снежного покрова, особенно в западном секторе российской Арктики, и его вклад может быть весьма значительным, как это имело место в марте 2008 г. [22], когда мощными потоками воздуха пыль была перенесена из южных регионов Европы на север и покрыла многие тысячи квадратных километров. Но влияние этого фактора носит непостоянный характер, и сила влияния меняется во времени и пространстве значительно, что, видимо, было принято во внимание экспертами.

### Заключение

Полученные оценки степени влияния различных факторов на состав снежного покрова АЗРФ позволяют не только лучше понять роль влияния различных факторов на формирование химического состава осадков, но и непосредственно использовать их при разработке математических моделей процессов переноса загрязняющих веществ в атмосфере и балансовых моделей загрязнения территорий и акваторий. Так, мало значащие факторы можно исключать, по крайней мере, на начальных стадиях разработки моделей, из соответствующих уравнений, что существенным образом упрощает решение задачи. Также весовые коэффициенты факторов помогают интерпретировать результаты мониторинга и экспедиционных материалов при анализе полученных данных.

*Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 0149-2019-0007 и при частичной поддержке РФФИ (грант № 19-45-393007).*

### Список литературы / References

1. Filippa G., Freppaz M., Williams M., Zanini E. Major element chemistry in inner alpine snowpacks (Aosta valley region, NW Italy). *Cold Regions Science and Technology*, 2010. no 64. P. 158–166. DOI: 10.1016/j.coldregions.2010.07.005.
2. Котова Е.И., Коробов В.Б., Шевченко В.П. Особенности формирования ионного состава снежного покрова в прибрежной зоне западного сектора Арктических морей России // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=7843> (дата обращения: 09.10.2019)
3. Котова Е.И., Коробов В.Б., Шевченко В.П. Peculiarities of the formation of the ion composition of the snow cover in the coastal zone of the western sector of Russian Arctic // *Modern problems of science and education*. 2012. № 6. [Electronic resource]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=7843> (date of access: 09.10.2019) (in Russian).
3. Полькин В.В., Голобокова Л.П., Погодаева Т.В., Козлов В.С., Коробов В.Б., Лисицын А.П., Панченко М.В., Пескова М.А., Ходжер Т.В., Шевченко В.П. Состав аэрозолей приподнятого слоя атмосферы над Белым морем во второй половине августа 2003 и 2004 гг. // *Фундаментальные исследования океанов и морей*. Книга 2. М.: Наука, 2006. С. 413–439.
- Polkin V.V., Golobokova L.P., Pogodaeva T.V., Kozlov V.S., Korobov V.B., Lisitsyn A.P., Panchenko M.V., Peskova M.A., Hodger T.V., Shevchenko V.P. Aerosol composition of the atmospheric drive layer over the White Sea in the second apparatus of August 2003 and 2004 // *Fundamentalnyye issledovaniya okeanov i morey*. Kniga 2. M.: Nauka, 2006. P. 413–439 (in Russian).
4. Котова Е.И., Шевченко В.П. Влияние дальнего атмосферного переноса на формирование ионного состава атмосферных осадков и снежного покрова прибрежной зоны западного сектора российской Арктики // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12–11. С. 2378–2382.
- Kotova E.I., Shevchenko V.P. The effect of long-range atmospheric transport on the formation of the ionic composition of precipitation and snow cover of the coastal zone of the western sector of the Russian Arctic // *Fundamental research*. 2014. № 12–11. P. 2378–2382 (in Russian).
5. Котова Е.И. Оценка влияния местных источников загрязнения и дальнего переноса на формирование ионного состава атмосферных осадков и снежного покрова прибрежной зоны западного сектора Арктики. Автореф. дис. ... канд. географ. наук. Ростов-на-Дону, 2013. 23 с.
- Kotova E.I. Assessment of the influence of local sources of pollution and long-range transport on the formation of the ionic composition of precipitation and snow cover of the coastal zone of the western sector of the Arctic. Avtoref. Dis. ... cand. geograph. nauk. Rostov-na-Donu, 2013. 23 p. (in Russian).
6. Vasilevich M.I., Beznosikod V.A., Kondratenok B.M. Chemical composition of snow cover in the taiga zone of the Komi Republic. *Water Resources*. 2011. vol. 38. no. 4. P. 530–542. DOI: 10.1134/S0097807811040130.
7. Макаров В.Н. Геохимия снежного покрова таёжных и горных мерзлотных ландшафтов Якутии // *Лёд и Снег*. 2014. Т. 54. № 1. С. 73–80.
- Makarov V.N. Geochemistry of snow cover in taiga and alpine permafrost landscapes of Yakutia. *Lyod i Sneg*. 2014. V. 54. № 1. P. 73–80 (in Russian).
8. Московченко Д.В., Бабушкин А.Г. Особенности формирования химического состава снеговых вод на территории Ханты-Мансийского автономного округа // *Криосфера Земли*. 2012. Т. XVI. № 1. С. 71–81.
- Moskovchenko D.V., Babushkin A.G. Peculiarities of formation of chemical composition of snow waters (on example of Khanty-Manci autonomous district). *Kriosfera Zemli*. 2012. V. XVI. № 1. P. 71–81 (in Russian).
9. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети. М: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 360 с.
- Saati T.L. Decision making with dependencies and feedbacks: analytic networks. M: Knizhnyy dom «LIBROKOM», 2009. 360 p. (in Russian).
10. Коробов В.Б. Некоторые проблемы применения экспертных методов на практике // *Научный диалог*. 2013. № 3 (15). С. 94–108.
- Korobov V.B. Some Problems of Practical Application of Expert Methods // *Nauchnyi dialog*. 2013. № 3 (15). P. 94–108 (in Russian).
11. Коробов В.Б. Теория и практика экспертных методов. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019. 281 с.
- Korobov V.B. Theory and practice of expert methods. M.: NITS INFRA-M, 2019. 281 p. (in Russian).
12. Коробов В.Б., Тутыгин А.Г. Проблемы использования метода анализа иерархий и пути их решения // *Экономика и управление*. 2016. № 8. С. 60–65.
- Korobov V.B., Tutygin A.G. Problems of the Analytic Hierarchy Process and Some Solutions // *Ekonomika i upravleniye*. 2016. № 8. P. 60–65 (in Russian).
13. Василенко Н.В., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометиздат, 1985. 182 с.
- Vasilenko N.V., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. Monitoring snow cover pollution. L.: Gidrometizdat, 1985. 182 p. (in Russian).
14. Прокачева В.Г., Усачев В.Ф. Снежный покров в сфере влияния города. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 176 с.
- Prokacheva V.G., Usachev V.F. Snow cover in the sphere of influence of the city. L.: Gidrometeoizdat, 1989. 176 p. (in Russian).

15. Котова Е.И. Содержание соединений азота в воздухе и атмосферных осадках Архангельской агломерации // Природные ресурсы и комплексное освоение прибрежных районов Арктической зоны: сборник научных трудов. Архангельск: Изд-во ФИЦКИА РАН, 2016. С. 235–238.
- Kotova E.I. The content of nitrogen compounds in the air and atmospheric precipitation of the Arkhangelsk agglomeration // Prirodnyye resursy i kompleksnoye osvoeniye pribrezhnykh rayonov Arkticheskoy zony: sbornik nauchnykh trudov. Arkhangel'sk: Izd-vo FITSKIA RAN, 2016. P. 235–238 (in Russian).
16. Таловская А.В., Язиков Е.Г., Филимонок Е.А. Оценка загрязнения атмосферного воздуха урбанизированных районов Томской области по данным изучения снегового покрова // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2014. № 5. С. 408–417.
- Talovskaya A.V., Yazikov E.G., Filimonenko E.A. Assessment of atmosphere pollution in urbanized areas of Tomsk region by the results of snow cover study // Geokologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya. 2014. № 5. P. 408–417 (in Russian).
17. Brooks P.D., Grogan P., Templer P.H., Groffman P., Öquist M.G., Schimel J. Carbon and nitrogen cycling in snow-covered environments. *Geography Compass*, 2011. no 5 (9). P. 682–699.
18. Vinogradova A.A., Ponomareva T.Y. Atmospheric transport of anthropogenic impurities to the Russian Arctic (1986–2010). *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2012. T. 25. № 6. P. 414–422. DOI: 10.1134/S1024856012060127.
19. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. Учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 400 с.
- Dobrovolsky V.V. Fundamentals of biogeochemistry. A textbook for students of higher educational institutions. M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2003. 400 p. (in Russian).
20. Котова Е.И. Сульфаты в осадках и снеге побережья Таймырского полуострова // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2018. Т. XXIX. № 1. С. 65–72. DOI: 10.21513/0207-2564-2018-1-65-72.
- Kotova E.I. Sulphates in precipitation and snow of Taimyr peninsula coast // Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem. 2018. Vol. XXIX. № 1. P. 65–72 (in Russian).
21. Shevchenko V.P., Lisitzin A.P., Vinogradova A.A., Smirnov V.V., Serova V.V., Stein R. Arctic aerosols. Results of ten-year investigations. *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2000. T. 13. № 6–7. P. 510–533.
22. Shevchenko V.P., Korobov V.B., Lisitzin A.P., Aleshinskaya A.S., Bogdanova O.Yu., Goryunova N.V., Grishchenko I.V., Dara O.M., Zavermina N.N., Kurteeva E.I., Novichkova E.A., Pokrovsky O.S., Sapozhnikov F.V. First data on the composition of atmospheric dust responsible for yellow snow in Northern European Russia in march. *Doklady Earth Sciences*. 2010. T. 431. № 2. P. 497–501. DOI: 10.1134/S1028334X10040185.
23. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Штайн Р., Горюнова Н.В., Кловиткин А.А., Кравчишина М.Д., Кривс М., Новигатский А.Н., Соколов В.Т., Филиппов А.С., Хаас Х. Распределение и состав нерастворимых частиц в снеге Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 75. С. 106–118.
- Shevchenko V.P., Lisitsyn A.P., Stein R., Goryunova N.V., Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Krievs M., Novigatsky A.N., Sokolov V.T., Filippov A.S., Haas C. Distribution and composition of insoluble particles in the snow of the Arctic // Problemy Arktiki i Antarktiki. 2007. № 75. P. 106–118 (in Russian).
24. Пристова Т.А., Шамрикова Е.В. Характеристика снежного покрова в условиях аэротехногенного загрязнения предприятиями Республики Коми // Проблемы региональной экологии. 2010. № 5. С. 78–83.
- Pristova T.A., Shamrikova E.V. The Characteristic of the snow integument in the conditions of aerotechnogenic contamination by the Republic Komi enterprises // Problemy regional'noy ekologii. 2010. № 5. P. 78–83 (in Russian).
25. Коробов В.Б., Тутыгин А.Г. Классификационные методы решения эколого-экономических задач. Архангельск: Поморский университет, 2010. 310 с.
- Korobov V.B., Tutygin A.G. Classification methods for solving environmental and economic problems. Arkhangel'sk: Pomorskiy universitet, 2010. 310 p. (in Russian).
26. Лебон Г. Психология народов и масс. М.: Издательство АСТ, 2018. 384 с.
- Lebon G. Psychology of peoples and masses. M.: Izdatel'stvo AST, 2018. 384 p. (in Russian).