

Геоэкологические исследования снега и поверхностных вод в зимний период в центральной части Кольского полуострова

© 2020. Е. Л. Воробьевская, к. г. н., с. н. с., Н. Б. Седова, к. г. н., с. н. с., М. В. Слипенчук, д. э. н., профессор, М. Н. Цымбал, с. н. с., Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, 119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские горы, д. 1, e-mail: nsedova@mail.ru

Окружающая среда центральной части Кольского полуострова на протяжении многих десятилетий испытывает влияние крупных промышленных комплексов: предприятий по добыче и переработке апатито-нефелиновой руды, медно-никелевого металлургического комбината и других производств, которые обуславливают высокую нагрузку на экосистемы, что приводит к деградации ландшафтов. Для выявления состояния геоэкологической обстановки в центральной части Мурманской области проведены исследования снежного покрова и воды. Проведённый гидрохимический анализ проб снега и воды, отобранных на ключевых участках, показал, что в настоящее время в районе исследования наблюдается значительное загрязнение природной среды тяжёлыми металлами, особенно в районе Мончегорска. Также прослеживается площадное загрязнение аэротехногенными поллютантами на расстоянии на 80 и более км на северо-запад от источника загрязнения (комбината «Североникель»). Другим районом с неблагоприятной геоэкологической обстановкой, согласно проведённым исследованиям, является Кировско-Апатитский в зоне влияния горнодобывающего и горно-обогачительного производства.

Ключевые слова: геоэкологические исследования, Кольский полуостров, загрязняющие вещества, геоэкологическая ситуация, мониторинг окружающей среды.

Environmental situation in the central part of the Kola Peninsula

© 2020. E. L. Vorobyevskaya ORCID: 0000-0003-2077-5594
 N. B. Sedova ORCID: 0000-0003-3600-4444
 M. V. Slipenchuk ORCID: 0000-0003-0308-250X
 M. N. Cymbal ORCID: 0000-0002-4698-0249
 Lomonosov Moscow State University,
 1, Leninskiye Gory St., Moscow, Russia, 119991,
 e-mail: nsedova@mail.ru

The environment of the central part of the Kola Peninsula has been influenced by large industrial complexes for many decades. The analysis of the nature of anthropogenic impacts and responses of nature to them is an important component of environmental protection, which is necessary for optimization of economic activities in the region. In this regard, the aim of our research was to monitor the geoecological situation in the central part of the Kola Peninsula and identify the key zones of pollution, as well as the main pollutants.

The carried out research revealed zones of considerable pollution especially in the area of Monchegorsk where the copper-nickel metallurgic plant is situated. However, compared to the 30, 20, and 10-year-old testing results, it can be noted that there is a significantly lower impact of pollution as a result of the plant's activities, which is due to its modernization. In the area affected by the mining and chemical industry in the vicinity of the towns of Kirovsk and Apatity, contamination with aerotechnogenic pollutants can be traced.

There is also an area contaminated with aerotechnogenic pollutants spread for further distances from the source of the pollution. At the same time the investigated plots are influenced not only by local industry, but also by anthropogenic sources located in other areas. As a result, there is a total impact of a whole group of different pollutants on ecosystems, which can be synergetic.

Some areas currently do not experience a strong anthropogenic load and can act as background for subsequent environmental monitoring studies.

Keywords: geoecological research, Kola Peninsula, pollutants, environmental situation, monitoring.

Мурманская область – промышленно развитый регион нашей страны. Центральная часть Кольского полуострова является одним из наиболее освоенных районов Российского Заполярья, интенсивное промышленное развитие которого началось в конце 1920-х годов и которое связано с открытием и разработкой крупных месторождений полезных ископаемых: железных, медно-никелевых, лопаритовых, апатито-нефелиновых руд, слюды, керамического сырья, облицовочного камня и т. д. [1, 2]. На базе месторождений и на привозном сырье действуют крупные промышленные комплексы, относящиеся к таким объединениям, как: АО «Апатит», Кольская ГМК, ООО «Ловозёрский ГОК» и другие.

Большое количество промышленных объектов обуславливает высокую нагрузку на экосистемы, что приводит к деградации ландшафтов. Населённые пункты и их окрестности находятся под влиянием деятельности промышленных предприятий. Загрязняющие вещества (ЗВ), поступающие в природную среду со шлаками, с выбросами аэрозольных частиц, с пылением хвостохранилищ, со сточными водами, не проходящими достаточной очистки, – представляют опасность для здоровья людей. За период индустриального освоения природа центральной части Кольского полуострова претерпела антропогенные изменения, многие из которых имеют негативные, иногда, и необратимые последствия. Происходят ответные реакции на антропогенную деятельность разной степени интенсивности, причём последствия могут быть весьма отдалённые [3].

Тем не менее, значительная часть природных ландшафтов до сих пор сохранила свой потенциал для развития таких видов природопользования, как природоохранное, рекреационное, традиционное, которые в настоящее время получают активное развитие. Богатейший природный потенциал Русского Севера, относительно развитая инфраструктура, возможность занятия различными видами рекреационной деятельности на компактной территории с каждым годом привлекают сюда всё большее число туристов. В подтверждение этому в феврале 2018 г. в Хибинских горах был создан национальный парк «Хибины» для охраны уникального природного и историко-культурного наследия, а также организации здесь туристической деятельности [4, 5].

Таким образом, целью исследования стало выявление состояния геоэкологической обстановки в центральной части Мурманской

области, основных зон загрязнения и основных поллютантов с использованием в качестве индикаторов снежного покрова и воды.

Объекты и методы исследований

Исследуемая территория охватывает Хибинский горный массив и части его предгорий, города Кировск, Апатиты, Мончегорск с подведомственными территориями. Исследования проводили на двух участках: «Хибинском» (г. Кировск, г. Апатиты) и «Мончегорском» (г. Мончегорск).

Участок «Хибинский». Группа хибинских месторождений апатито-нефелиновых руд входит в число самых крупных и богатых месторождений мира и является основной базой фосфорсодержащего сырья в России [6]. В районе исследований расположены крупные горнодобывающие и перерабатывающие предприятия, относящиеся к АО «Апатит»: карьеры, обогатительные фабрики, хвостохранилища и т. д.

Город Кировск располагается в горной котловине с застойными, менее благоприятными условиями естественного очищения атмосферы от загрязнения. По данным Кольского научного центра [7], основными загрязнителями атмосферы в результате деятельности АО «Апатит» являются: пылевые частицы, содержащие стронций, цинк, свинец, фосфор, соли алюминия, магний, натрий, кальций, калий, оксиды углерода и азота; для водоёмов – молибден, свинец, фосфор, азот, никель, медь, свинец, сульфаты. Несмотря на то, что на предприятии обеспечена самая высокая в области степень очистки газообразных выбросов, атмосферный воздух и в окрестностях промышленных объектов и в населённых пунктах, загрязнён пылью, содержащей токсические соединения почти на протяжении всего года [8]. На настоящий момент загрязнение воздушной среды г. Кировска в результате деятельности АО «Апатит» в основном связано с подземными и наземными взрывами для добычи руды. Город почти не подвержен влиянию пыления хвостохранилищ и выбросов апатито-нефелиновых обогатительных фабрик (АНОФ), так как расположен на удалении десятков километров от них и защищён склонами Хибин. В зону загрязнения попадают г. Апатиты, посёлок Титан и дачные товарищества, расположенные в южных предгорьях Хибин.

Последствия загрязнения природной среды непосредственно проявляются в угнетении

растительного покрова в окрестностях обогащенных фабрик, изменении механического состава почв вследствие обогащения песчаной фракцией, эвтрофикации озёр, формировании разрушительных селевых потоков, сходящих со склонов отвалов карьеров, нарушение эстетики ландшафтов и т. п. Опосредованно они проявляются в неблагоприятном влиянии на здоровье населения: формирование «проф-патологий» – развитие болезней костной системы вследствие загрязнения стронцием, бронхо-лёгочных и аллергических заболеваний вследствие загрязнения атмосферы и т. п. [7, 9].

Участок «Мончегорский». Горно-металлургическое предприятие полного цикла «Североникель», расположенное в 2 км на юг от г. Мончегорска, входит в состав ОАО «Кольская ГМК» и представляет собой производство по переработке сульфидных медно-никелевых руд и цветных металлов.

Промплощадка комбината расположена в озёрной котловине, с запада, востока и юга окружена невысокими хребтами (тунтури). В процессе работы комбината в природную среду поступают оксиды серы, тяжёлые металлы (ТМ), пылевые частицы, оксиды азота, углерода и др. [10]. Основными характерными ЗВ являются: оксид и диоксид азота, медь, никель, кобальт, оксиды серы и углерода, формальдегид [9]. Деятельность предприятия привела к существенной трансформации природной среды. Лесные массивы северной тайги, прилегающие к производственным территориям, полностью деградировали, на их месте располагается антропогенная пустошь. В настоящее время, когда утилизация сернистого газа по плану достигает 80%, наблюдается начало естественного восстановления экосистем. Деятельность предприятия отрицательно сказывается на «экологии человека», приводя к проявлению профзаболеваний, таких, как хронический бронхит, пневмосклероз, бронхиальная астма, дерматиты, болезни органов кровообращения и опорно-двигательного аппарата [8].

Местоположение района исследований за полярным кругом определяет высокую уязвимость ландшафтов к антропогенному влиянию, низкую способность к самовосстановлению. Кольский полуостров расположен в Атлантико-Арктической зоне умеренного климата [9]. Некоторые особенности атмосферной циркуляции позволяют выделить здесь зоны, различающиеся по потенциалу загрязнения атмосферы (ПЗА): район на-

шего исследования относится к зоне с высоко опасным ПЗА [10]. Для него характерен слабый воздушный перенос по большинству направлений и умеренный в направлении юго-запад – северо-восток. Существенное влияние на перераспределение ЗВ в атмосфере оказывает рельеф. Основные предприятия, являющиеся источниками поступления ЗВ в природную среду, расположены в окрестностях горных массивов, в предгорьях. В зависимости от местных особенностей рельефа и циркуляции атмосферы ЗВ по-разному распределяются в ландшафтах. Горные массивы могут быть преградой на пути распространения ЗВ, и, наоборот, служить местами их накопления. Так, максимум загрязнений с атмосферными осадками получают автономные ландшафты привершинных холмов, склонов гор и их наветренные части.

Наблюдения за состоянием природной среды в центральной части Кольского полуострова ведутся сотрудниками и студентами кафедры рационального природопользования географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ) во время экспедиций и студенческих практик уже на протяжении нескольких десятков лет. Выбор участков мониторинга связан с их географическим положением, характером переноса и особенностями аккумуляции антропогенных загрязнителей [11]. Перед проведением геоэкологических исследований ежегодно проводится анализ изменений состояния природопользования на различных участках, с учётом которых осуществляется корректировка мест отбора проб. В летнее время отбираются пробы воды, почвенного и растительного покровов, зимой проводится отбор проб снежного покрова и воды. Помимо отбора проб визуально оценивается степень антропогенного воздействия и ответная реакция со стороны ландшафтов. Проводится комплексное описание участков мониторинга, в том числе: координаты, положение участка в рельефе, даётся характеристика почвы, фитоценоза, хозяйственной деятельности, оценивается степень деградации ландшафта и его отдельных элементов, фиксируются особенности отображения участка на космическом снимке и пр. [5, 12]. Для выявления площадного загрязнения проводилась профильная съёмка вдоль автомагистрали Мурманск–Санкт-Петербург от промплощадки комбината на 40 км в направлениях на юг и на север. Субмеридиональная вытянутость съёмки обусловлена характером пере-

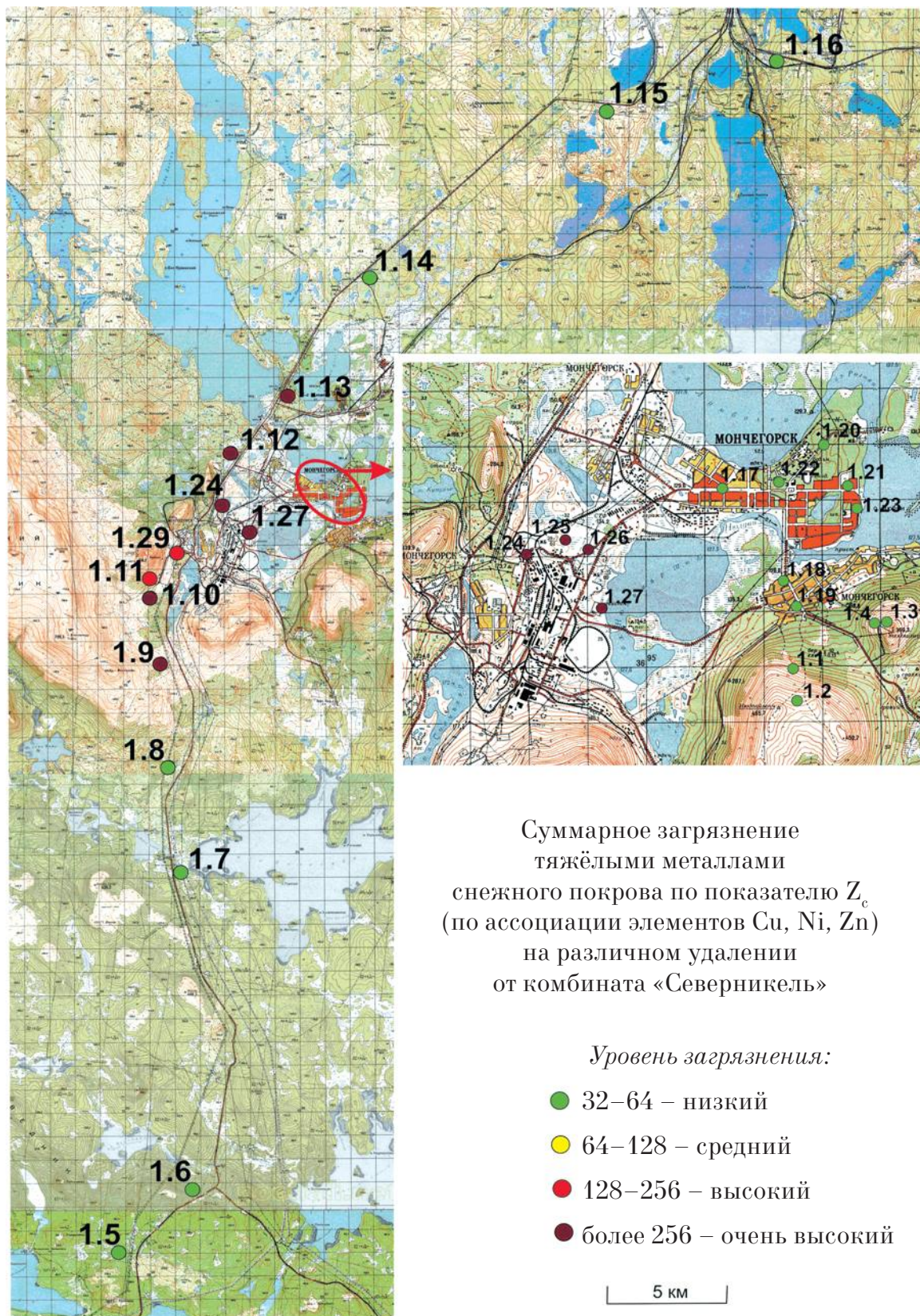


Рис. 1. Суммарное загрязнение тяжёлыми металлами снежного покрова в городе Мончегорске и в зоне влияния комбината «Североникель»
Fig. 1. Total contamination with heavy metals of the snow cover in the city of Monchegorsk and in the zone of influence of the “Severonickel”

носа антропогенных загрязнителей в соответствии с направлением преобладающих ветров.

Анализы отобранных проб проводили в лаборатории мониторинга водных систем кафедры рационального природопользования и в лаборатории атомной абсорбции кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ.

Результаты и обсуждение

Участок «Хибинский». По результатам проведённых исследований в зоне воздействия горно-промышленного комплекса прослеживается площадное загрязнение аэротехногенными поллютантами, в том числе населённых пунктов: городов Кировск, Апатиты, посёлка Титан и их окрестностей. Естественными барьерами на пути их распределения являются горные массивы Хибин. Отмечено превышение фоновых значений по стронцию (типичному загрязнителю апатито-нефелиновой промышленности) более чем в 4 раза, по меди – в 2 раза, по фосфатам – в 10 раз, по сульфатам и фторидам – в 3 раза.

На основании полученных данных рассчитан суммарный показатель загрязнения (Z_c) ТМ снежного покрова. В районе городов Кировск и Апатиты значения суммарного показателя загрязнения (Z_c) (для ассоциации элементов Cu, Ni, Sr) имеют невысокие значения (32–64) (рис., см. цв. вкладку). Однако следует отметить, что такой результат характерен для зимнего времени, когда хвостохранилище – основной источник пыления – находится под снегом. Летние исследования показали, что г. Апатиты, построенный в предгорьях Хибин и не защищённый от промплощадок горами, испытывает прямое влияние аэротехногенного переноса ЗВ от выбросов АНОФ-2 и пылящего хвостохранилища, расположенного в долине р. Белая. Загрязнение распространяется на часть озера Имандра, вплотную примыкающего к хвостохранилищу, на садово-дачные товарищества, расположенные в южных и юго-западных предгорьях Хибин. Воздействие хвостохранилища в долине р. Жемчужная и АНОФ-3 в настоящее время прослеживается на окрестности посёлка Титан и на южных склонах Хибин. К внешним источникам загрязнения данного участка относится воздействие комбината «Североникель», аэротехногенные поллютанты которого разносятся на значительные расстояния вокруг [7, 9]. В настоящее время загрязнение соединениями меди и цинка («Мончегорский след»)

в данном районе незначительно по сравнению с данными 1980-х гг. – превышение в среднем не более чем в 2 раза, что связано с установкой очистных сооружений на комбинате Североникель и использованием более «чистых» руд Печенгских месторождений вместо Талнахских [13, 14].

Исследования показывают, что вредное воздействие промышленного комплекса испытывают и водные экосистемы: в Хибинах и их предгорьях – это озёра Имандра, Умбозеро, Большой Вудъявр, р. Белая. Загрязнение водоёмов связано не только с пылением хвостохранилищ и сбросом условно очищенных вод, но и с тем, что нижние слои хвостохранилищ являются источником загрязнения грунтовых вод, а через них – водоёмов, соседствующих с хвостохранилищами [10].

Участок «Мончегорский». В окрестностях комбината «Североникель» преобладают слабые ветра (средняя скорость до 5 м/с) [8]. Гора Нюд, расположенная к югу от промплощадки комбината и стоящая на пути основных воздушных потоков, формирует местную замкнутую циркуляцию, в результате чего выбросы комбината оседают не только на её склоне, обращённом к городу, но и в самом городе. В непосредственной близости от комбината расположена зона антропогенной пустоши, где полностью уничтожен естественный растительный покров, сильно деградированы почвы. Снег в этой зоне сдувается ветром с поверхности земли, мощность снежного покрова составляет от 0 до 15 см, в то время, как на залесённых территориях его мощность в начале февраля достигала 150–190 см. На обращённых к комбинату склонах хребтов-тунтури «стёрты» различия высотных зон – от их подножья до верха также наблюдается антропогенная пустошь. По мере удаления от комбината начинают появляться древесные – ивы, берёзы. Лишь на расстоянии 10–15 км от комбината в древостоях появляются хвойные. На расстоянии примерно 20 км от комбината визуальных изменений почти нет, встречается незначительное побурение хвои в результате выпадения кислотных осадков. Однако по геохимическим данным зона влияния комбината прослеживается на 40 км и более [15–18].

Проведённый гидрохимический анализ проб снега и воды, отобранных на ключевых участках, дал следующие результаты. В настоящее время в районе исследования в радиусе 5 км вокруг комбината наблюдается значительное загрязнение природной среды. Наибольшие значения Z_c ТМ снеж-

ного покрова были зафиксированы на территории, расположенной в непосредственной близости к промплощадке – в радиусе 1–2 км, зоны значения Z_c очень высоки (более 256), по мере удаления от комбината они снижаются.

Природные особенности данного участка способствуют распространению ЗВ далеко на юг через естественный природный барьер – гору Нюд, и почти беспрепятственно, на север – по результатам нашего исследования примерно на 30 км. Загрязнение снежного покрова характерными загрязнителями комбината, хотя в гораздо меньшем объеме, чем в окрестностях промплощадки, было выявлено и в снежном покрове г. Мончегорска, чему способствуют близость комбината к городу и особенности микроциркуляции атмосферы.

Отобранные в водоёмах пробы воды в зоне воздействия комбината показали чрезвычайно опасный уровень загрязнения в окрестностях промплощадки, опасный и умеренно опасный уровни в водоёмах, расположенных в черте города или примыкающих к нему (в том числе, в зонах отдыха).

Заключение

В пределах изучаемой территории на природную среду оказывают влияние разные по масштабу, степени и характеру воздействия предприятия: комбинат Кольской ГМК «Североникель»; АО «Апатит»; также наблюдается воздействие селитебных территорий и автотранспорта.

В настоящее время наблюдается значительное загрязнение природной среды в окрестностях Мончегорского комбината (в радиусе 5 км). Природные особенности способствуют распространению ЗВ далеко на юг (на 80 и более км) и на север (примерно на 30 и более км). Наблюдается загрязнение снежного покрова характерными загрязнителями комбината, а также водоёмов в зоне воздействия комбината. По сравнению с данными опробования 30-ти, 20-ти, и 10-ти летней давности, можно отметить, что наблюдается значительно меньшее воздействие загрязнения на окружающую среду в результате деятельности комбината, что связано с его модернизацией.

В зоне воздействия горно-химической промышленности в окрестностях городов Кировска и Апатиты прослеживается загрязнение аэротехногенными поллютантами. Выявленное загрязнение г. Кировска характерными загрязнителями является в основном

результатом подземных и открытых взрывов на рудниках. Загрязнение близ пос. Титан является результатом воздействия АНОФ-3 и её хвостохранилища. Город Апатиты, особенно его северо-восточные и восточные районы, находится под влиянием деятельности АНОФ-2 и пыления хвостохранилища. Значительно загрязнены такие водные объекты, как реки Белая, Жемчужная и частично их притоки, испытывающие как прямое воздействие от деятельности горно-химических предприятий (сброс недостаточно очищенных вод), так и опосредованное (пыление хвостохранилищ).

Анализ отобранных проб на содержание ЗВ, в том числе, ТМ, показал, что окрестности бывшего посёлка Октябрьский в окрестностях южных предгорий Хибин в настоящее время не испытывают сильную антропогенную нагрузку и могут выступать как фоновые для последующих анализов качества окружающей среды. Данные могут быть исходными для дальнейших мониторинговых исследований в этих районах.

Таким образом, функционирование крупных промышленных комплексов на изучаемой территории негативно сказывается на состоянии как отдельных природных геосистем, так и на геоэкологической обстановке в центральной части Кольского полуострова в целом. Так, анализ проб показал, что загрязнение территорий и акваторий аэротехногенными поллютантами возможно на значительном удалении от источников выбросов, поэтому исследованные участки испытывают влияние не только местной промышленности, но и антропогенных источников, расположенных в других районах. Как результат, происходит суммарное воздействие целой группы различных поллютантов на экосистемы, которое может носить синергический характер.

Загрязняющие вещества, в том числе соединения металлов попадающие в экосистемы в результате функционирования промышленных комплексов и вовлекаемые в сложные природные циклы, способны накапливаться в отдельных элементах экосистем и оказывать как прямое, так и косвенное токсическое воздействие на живые организмы, в том числе, на человека.

Анализ характера антропогенных воздействий и ответных реакций биоты на них – важная составляющая охраны окружающей среды, необходимая для принятия обоснованных решений, связанных с оптимизацией хозяйственной деятельности.

Литература

1. Природа и природные ресурсы Мурманской области. Апатиты: ЦОДП, 2007. 280 с.

2. Седова Н.Б., Кочемасова Е.Ю. Экологические проблемы Арктики и их социально-экономические последствия // ЭКО. 2017. № 5. С. 160–171.

3. Заславская М.Б., Лапина Е.С. Техногенная трансформация химического состава водных объектов Норильского гидрологического района // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2008. № 3. С. 13–18.

4. Воробьевская Е.Л., Седова Н.Б. Особенности зимнего рекреационного природопользования в Хибинах // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2008. № 6. С. 18–24.

5. Воробьевская Е.Л., Кириллов С.Н., Седова Н.Б., Слипичук М.В., Тульская Н.И., Цымбал М.Н. Современное природопользование в центральной части Кольского полуострова и основные геоэкологические проблемы // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 6. С. 30–35.

6. Сайт Кольского научного центра РАН [Электронный ресурс] <http://www.ksc.ru/> (Дата обращения: 04.10.2019).

7. Доклады о состоянии и об охране окружающей среды в Мурманской области в 2012, 2015, 2016, 2018 годах [Электронный ресурс] <https://mpr.govmurman.ru/> (Дата обращения: 14.10.2019).

8. Dushkova D., Evseev A. The Russian North: Environment and human health risk assessment // LNIS 6 – Lecture Notes in Information Sciences. RISK Models and Applications. 2012. No. 6. P. 89–102.

9. Экологический атлас Мурманской области. Москва; Апатиты, 1999. 48 с.

10. Евсеев А.В., Красовская Т.М. Рациональное природопользование на Кольском полуострове. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 89 с.

11. Ratkin N.E., Asming V.E., Koshkin V.V. Cartographic modelling of aerotechnogenic pollution in snow cover in the landscapes of the Kola Peninsula // Chemosphere. 2001. V. 42. No. 1. P. 1–8.

12. Slipenchuk M., Kirillov S., Vorobievskaya E., Sedova N., Anthropogenic pollution of the southern part of the Khibiny mountain massif and foothills // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Institute of Physics Publishing (UK). 2019. V. 302. No. 1. P. 1–8.

13. Nilsen T. Pollution in nikel on increase, but new technology underway. The independent barents observer [Электронный ресурс] https://thebarentsobserver.com (Дата обращения: 29.10.2019).

14. Nornickel. Strategy update 2017 – Investing in sustainable development [Press release] [Электронный ресурс] <https://www.nornickel.com> (Дата обращения: 25.10.2019).

15. Evseev A.V., Krasovskaya T.M. Toxic metals in soils of the Russian North // Journal of Geochemical Exploration. 2017. V. 174. P. 128–131.

16. Krasovskaya T.M., Evseev A. Technogenic load on small river watersheds in the Hibiny mountains // Chemosphere. 2001. V. 42. No. 1. P. 79–83.

17. Nordic environment finance corporation annual review 2016 [Электронный ресурс] <https://www.nefco.org> (Дата обращения: 10.09.2019).

18. Zaitsev V., Kogarko L. Sources and perspectives of REE in the Lovozero massif (Kola Peninsula, Russia) [Электронный ресурс] <http://meetingorganizer.copernicus.org/> (Дата обращения: 12.09.2019).

References

1. Nature and natural resources of the Murmansk region. Apatity: TSODP, 2007. 280 p. (in Russian).

2. Sedova N.B., Kochemasova E.Y. Environmental problems of the Arctic and their social and economic consequences // EKO. 2017. No. 5. P. 160–171 (in Russian). doi: 10.30680/ECO0131-7652-2017-5-160-171

3. Zaslavskaya M.B, Lapina E.S. Technogenic transformation of the chemical composition of water bodies of Norilsk hydrological area // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5. Geografiya. 2008. No. 3. P. 13–18 (in Russian).

4. Vorobyevskaya E.L., Sedova N.B. Specific features of nature management for winter recreation in the Khibiny Mountains // Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5: Geografiya. 2008. No. 6. P. 18–24 (in Russian).

5. Vorobyevskaya E.L., Kirillov S.N., Sedova N.B., Slipenchuk M.V., Tulskaia N.I., Tsymbal M.N. Modern natural resource management and geoecological problems in the central part of the Kola Peninsula // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2017. V. 21. No. 6. P. 30–35 (in Russian). doi: 10.18412/1816-0395-2017-6-30-35

6. The site of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences [Internet resource] <http://www.ksc.ru> (Accessed: 04.10.2019) (in Russian).

7. Reports on the state and environmental protection in the Murmansk region in 2012, 2015, 2016, 2018 [Internet resource] <https://mpr.govmurman.ru/> (Accessed: 26.10.2019) (in Russian).

8. Dushkova D., Evseev A. The Russian North: Environment and human health risk assessment // LNIS 6 – Lecture Notes in Information Sciences. RISK Models and Applications. 2012. No. 6. P. 89–102.

9. Ecological atlas of the Murmansk region. Moskva; Apatity, 1999. 48 p. (in Russian).

10. Evseev A.V., Krasovskaya T.M. Rational nature management on the Kola Peninsula. Moskva: MGU, 1990. 89 p. (in Russian).

11. Ratkin N.E., Asming V.E., Koshkin V.V. Cartographic modelling of aerotechnogenic pollution in snow cover in the landscapes of the Kola Peninsula // Chemosphere. 2001. V. 42. No. 1. P. 1–8.

12. Slipenchuk M., Kirillov S., Vorobievskaya E., Sedova N., Anthropogenic pollution of the southern part of the Khibiny mountain massif and foothills // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Institute of Physics Publishing (UK), 2019. V. 302. No. 1. P. 1–8. doi: 10.1088/1755-1315/302/1/01202

13. Nilsen T. Pollution in nikel on increase, but new technology underway. The independent barents observer [Internet resource] <https://thebarentsobserver.com/> (Accessed: 29.10.2019).

14. Nornickel. Strategy update 2017 – Investing in sustainable development [Press release] [Internet resource] <https://www.nornickel.com> (Accessed: 25.10.2019).

15. Evseev A.V., Krasovskaya T.M. Toxic metals in soils of the Russian North // Journal of Geochemical Exploration. 2017. V. 174. P. 128–131. doi: 10.1016/j.gexplo.2015.05.018

16. Krasovskaya T.M., Evseev A. Technogenic load on small river watersheds in the Hibiny mountains // Chemosphere. 2001. V. 42. No. 1. P. 79–83.

17. Nordic environment finance corporation annual review 2016 [Internet resource] <https://www.nefco.org> (Accessed: 10.09.2019).

18. Zaitsev V., Kogarko L. Sources and perspectives of REE in the Lovozero massif (Kola Peninsula, Russia) [Internet resource] <http://meetingorganizer.copernicus.org> (Accessed: 12.09.2019).