

О.Т. КОНИНА*, **С.С. САНДИМИРОВ****, **Е.А. БОРОВИЧЁВ****, **Г.П. УРБАНАВИЧЮС****, **Т.А. СУХАРЕВА****,
А.В. РАЗУМОВСКАЯ**, **Л.П. КУДРЯВЦЕВА****, **И.Р. ЕЛИЗАРОВА****, **Д.В. МАКАРОВ****

*ООО «Берингпромуголь», 689100, пгт Беринговский, ул. Мандрикова, 3,
Чукотский автономный округ, Россия, olesia.konina@tigersrealmcoal.com, o.konina@tig.com.ru
**Институт проблем промышленной экологии Севера — обособленное подразделение
ФИЦ «Кольский научный центр РАН», 184209, Апатиты, мкр. Академгородок, 14А,
Россия, e.borovichev@ksc.ru, s.sandimirov@ksc.ru, s.tat.a@mail.ru, g.urban@mail.ru, mdv_2008@mail.ru

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЗОНЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ В ЧУКОТСКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ

*Проведена комплексная оценка воздействия угольных шахт на экосистемы в водоохранной зоне в районе пгт Беринговский (Чукотский автономный округ). Исследованы грунты и почвы, оценен химический состав поверхностных водных объектов, растительный покров. Установлено, что зона деятельности шахт «Беринговская» и «Нагорная», район угольных складов характеризуются практически полным отсутствием почвенно-растительного покрова, нарушением режима поверхностных и подземных вод. На территории сохранились лишь небольшие участки растительности, характерные для нижней части склонов средневысотных гор южных гипоарктических тундр, но существенно обедненные по составу. Выявлено новое на Чукотке местонахождение лишайника, включенного в региональную и федеральную Красную книгу, — цетрарии камчатской (*Cetraria kamszatica* Savicz). Концентрации тяжелых металлов (Fe, Zn, Cu, Ni, Pb) в почве, растениях и лишайниках превышают фоновые показатели и обусловлены многолетним техногенным воздействием. Высокие значения индекса загрязнения воды в р. Яше определяются концентрациями фосфатов, азота, алюминия, железа и марганца, оцениваемыми по жестким рыбоохранным нормативам, и соответствуют следующим классам: грязные, очень грязные и чрезвычайно грязные. Река Угольная относится к классу грязных вод, озеро без названия — к классу умеренно загрязненных вод. Содержание биогенных элементов и тяжелых металлов в поверхностных пресных водах зависит в основном от антропогенного загрязнения водосборной площади рек: хозяйственно-бытовые стоки пгт Беринговский, старые заброшенные поселки, значительное количество недействующих промышленных и военных объектов, строительный и иной мусор и т. д. Уровень загрязнения морских вод обусловлен повышенным содержанием железа и хрома. Сделан вывод о необходимости проведения регулярного экологического мониторинга, рекультивации нарушенных территорий и восстановления системы водотоков и дренажа на территории, а на участках, наиболее обводненных, — формирования дополнительной дренажной системы.*

Ключевые слова: загрязнение окружающей среды, почвы, растительность, поверхностные воды, накопленный экологический ущерб, редкие виды.

O.T. KONINA*, **S.S. SANDIMIROV****, **E.A. BOROVICHEV****, **G.P. URBANAVICHUS****, **T.A. SUKHAREVA****,
A.V. RAZUMOVSKAYA**, **L.P. KUDRYAVTSEVA****, **I.R. ELIZAROVA****, **D.V. MAKAROV****

*Beringpromugol Ltd., 689100, Beringovskii, ul. Mandrikova, 3, Chukotka Autonomous Okrug, Russia,
olesia.konina@tigersrealmcoal.com, o.konina@tig.com.ru

**Institute of North Industrial Ecology Problems, Separate Subdivision of the State Budgetary Institution Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences, 184209, Apatity, Akademgorodok, 14A, Russia,
e.borovichev@ksc.ru, s.sandimirov@ksc.ru, s.tat.a@mail.ru, g.urban@mail.ru, mdv_2008@mail.ru

ASSESSING THE CURRENT STATUS OF THE ENVIRONMENT IN THE AREA OF OPERATION OF COAL MINES IN THE CHUKOTKA AUTONOMOUS OKRUG

A comprehensive assessment is made of the impact of coal mines on ecosystems in the water protection zone surrounding the urban-type settlement of Beringovskii (Chukotka Autonomous Okrug). Ground and soils have been investigated, and the chemical composition of surface water bodies and vegetation cover have been assessed. It was established that the area of operation of the Beringovskaya and Nagornaya mines and the coal storage area are characterized by an almost complete absence of soil and vegetation cover, and by a disturbance of the regime of surface and underground waters. The territory has retained only

© 2023 Кони́на О.Т., Сандими́ров С.С., Борови́чѳв Е.А., Урбана́вичюс Г.П., Сухаре́ва Т.А.,
Разумовская А.В., Кудрявцева Л.П., Елизарова И.Р., Макаров Д.В.

*small areas typical for the lower parts of the slopes of the middle mountains in the southern hypoarctic tundras but significantly depleted in composition. We discovered a habitat of lichen previously unknown on Chukotka, which is included in the regional and federal Red Data Books: *Cetraria kamczatica* Savicz. Concentrations of heavy metals (Fe, Zn, Cu, Ni, and Pb) in the soil, plants, and lichens exceed background levels and are due to long-term technogenic impacts. The high values of the water pollution index in the Yasha River are determined by the concentrations of phosphates, nitrogen, aluminum, iron, and manganese. According to fish protection standards, the Yasha River water corresponds to the following classes: dirty, very dirty, and extremely dirty; Ugolnaya River water, to the class dirty, and the unnamed Lake, to the class moderately dirty. The content of biogenic elements and heavy metals in surface fresh waters depends mainly on anthropogenic pollution of the catchment area of the rivers: household wastewater from the urban-type settlement of Beringovskii, old abandoned settlements, a considerable number of inactive industrial and military facilities, construction and other waste, etc. The level of seawater pollution was caused by the increased content of iron and chromium. It is concluded that there is a need for regular environmental monitoring, reclamation of disturbed areas and restoration of the watercourses system and drainage on the territory.*

Keywords: *environmental pollution, soils, vegetation, surface water, accumulated environmental damage, rare species.*

ВВЕДЕНИЕ

Чукотский автономный округ (ЧАО) — самый северо-восточный субъект Арктической зоны Российской Федерации. Для ЧАО характерны экстремальные климатические условия, ограниченная транспортная доступность и низкая плотность населения и в то же время уникальный ресурсный потенциал минерально-сырьевой базы [1].

Беринговский угольный бассейн на территории ЧАО был открыт еще в 1886 г., а добыча угля производилась с 1940 г. Данный бассейн отличается широким распространением угольных залежей и их огромными запасами, низкой зольностью, малым содержанием серы и высокой калорийностью углей, мощными пластами, залегающими на небольшой глубине, расположением в 18 км от существующей дороги и 35 км от морского порта «Беринговский» [1]. 15 марта 1941 г. было образовано рудоуправление «Бухтуголь», в том же году началось строительство шахты для добычи в промышленных масштабах. В 1945 г. на участке «Основной» началось строительство шахты «Капитальная № 1» производственной мощностью 100 тыс. т угля, однако из-за сложных горно-геологических условий добыча угля здесь была прекращена в 1958 г., а на месторождении началось строительство шахты № 2 «Беринговская» производственной мощностью 200 тыс. т. В последующие годы добыча на месторождении постоянно росла, и к 1990 г. здесь действовала самая крупная угледобывающая шахта на Северо-Востоке СССР. Была осуществлена реконструкция на мощность 1 млн т угля в год, велись проектные работы по увеличению мощности до 2 млн т. Так, в 1991 г. шахта «Беринговская» выдала 964 тыс. т угля.

Однако постсоветский социально-экономический кризис не позволил осуществить намеченные планы. Добыча резко падала, и к 1999 г. сократилась в 10 раз [2]. В 2002 г. шахта «Беринговская» обанкротилась, и на ее базе было создано ОАО «Шахта «Нагорная». В последние годы уголь в ЧАО добывали два предприятия: ОАО «Шахта «Нагорная» и ОАО «Шахта «Угольная», где перспективы развития добычи угля невелики. В 2015 г. добыча чукотского энергетического угля составила около 0,2 млн т, что на 0,2 млн т меньше, чем в 2000 г. [1].

В настоящее время освоение месторождений Беринговского бассейна проводится в рамках созданной в ЧАО территории опережающего развития (ТОР) «Беринговский». Появление ТОРа «Беринговский» позволит правительству ЧАО диверсифицировать добычу полезных ископаемых в округе и комплексно развивать регион. Корпорация развития Дальнего Востока в сентябре 2016 г. подписала с ООО «Порт Угольный» и ООО «Берингпромуголь», созданным в 2010 г. для проведения геологоразведочных, геофизических и геохимических работ в области изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы, соглашение об осуществлении деятельности на территории опережающего развития ТОРа «Беринговский» в ЧАО [1].

Многолетняя деятельность предприятий по добыче и перевалке угля привела к высокой степени антропогенной нарушенности прилегающих территорий. Цель данной работы — оценка современного состояния компонентов окружающей среды в зоне воздействия угольных шахт и склада угля в морском порту.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследований: район угольных складов и порта Беринговский, озеро без названия, р. Угольная (длина 11,7 км, площадь водосбора 53,8 км²) и ее приток — р. Яша (длина 9,3 км, площадь

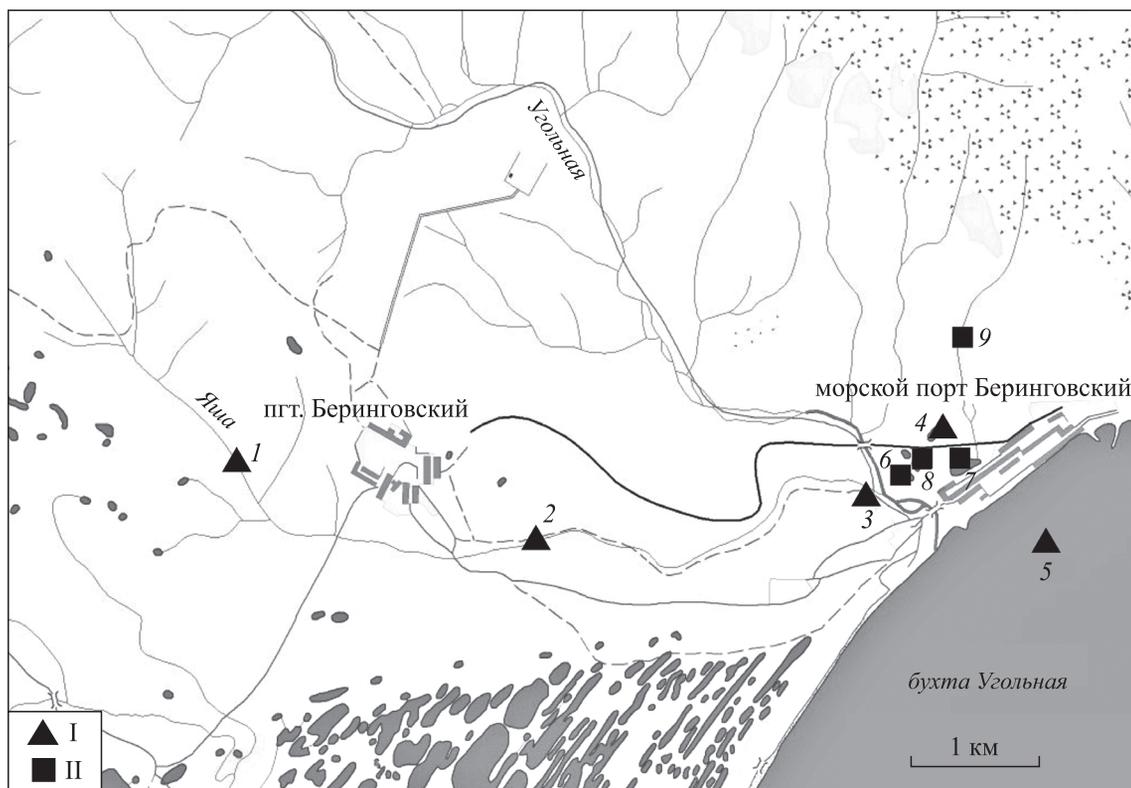


Схема расположения станций отбора проб в Чукотском автономном округе.

Станции отбора проб: I — поверхностные воды: 1 — р. Яша, верхнее течение; 2 — р. Яша, нижнее течение; 3 — р. Угольная, 4 — озеро без названия; 5 — бух. Угольная, морская вода. II — растительные образцы, почвы и грунты: 6 — площадка № 1; 7 — площадка № 2; 8 — площадка № 3; 9 — площадка № 4.

водосбора 12,0 км²) — принимает сточные воды пгт Беринговский (бывший пос. Нагорный), который расположен в 5,5 км северо-западнее бухты, а также прибрежная акватория Берингова моря (бух. Угольная) (см. рисунок).

Порт Беринговский расположен на северном берегу бух. Угольная в южной части обширного Анадырского залива. Территория представляет собой всхолмленную равнину с высотами до 400 м над ур. моря, густо расчлененную сеть мелких водотоков и оврагов, в восточной части которой по долинам р. Угольной и ее притоков на поверхность выходят угольные пласты. От выходов угольные пласты полого погружаются на глубину до 270 м. Мощность покровных рыхлых отложений составляет 0,1–15 м. Грунты сложены алевролитами, слабоустойчивыми, с горизонтальной слоистостью мощностью 0,2–10 м. Максимальная глубина сезонного промерзания грунтов в прибрежной зоне не превышает 3 м.

Исследуемый район расположен в субарктической климатической зоне, которая характеризуется коротким относительно теплым периодом и продолжительной сравнительно мягкой зимой. Устойчивые отрицательные температуры воздуха отмечаются с начала октября до конца мая, но и зимой бывают непродолжительные оттепели. Положительные среднемесячные температуры наблюдаются с июня по сентябрь, но в любом летнем месяце могут быть заморозки. Самые теплые месяцы — июль и август, самые холодные — февраль и март. Разница абсолютных температур от +28,3 °С в июле до –43,0 °С в феврале. Устойчивый снежный покров устанавливается в конце первой декады сентября, а сходит обычно в первой декаде июня.

Преобладают ветры северного и северо-западного направлений, и только в теплый период некоторое преимущество получают юго-восточные ветры. Наиболее сильные ветры (до 40 м/с) наблюдаются в зимний период (северное и северо-западное направления). В теплый период максимальные скорости ветра достигают порядка 25 м/с [3, 4].

Отбор проб почв, растений и лишайников проведен в соответствии с установленными государственными стандартами, нормативно-методическими [5] и инструктивными документами Минпри-

роды России и Росгидромета. В полевых условиях заложены четыре пробные площади (ПП), одна из которых была контрольной (ПП № 4). Для исследованных участков характерны тундровые торфянисто-глеевые почвы (Histic Cryosols Reductaquic). На каждой пробной площади почвенные образцы отбирали методом конверта; послойно на глубине 0–20 см (минеральный горизонт) на ПП № 1–3 и 0–5 см (органогенный горизонт) на ПП № 3, 4. Всего отобрано 15 смешанных почвенных проб. Уровень загрязнения почв оценивали по гигиеническим нормативам СанПиН 1.2.3685–21 [6]. Образцы высушивали при комнатной температуре, удаляли все включения и новообразования (в том числе корни растений), а затем просеивали. Аналитической обработке подвергали мелкозем (фракция <1,0 мм). Одновременно с почвенными образцами отобраны доминирующие виды напочвенного покрова: вороника (*Empetrum subholarcticum*), мхи (*Sanionia* sp.) и лишайники (*Stereocaulon* sp.). Всего взято 29 проб растений и лишайников. В лаборатории листья вороники разбирались на листья текущего года и многолетние, побеги мхов — на зеленые и бурые. Образцы растений и лишайников высушивали при комнатной температуре и размалывали. Растительные образцы перед химическим анализом не отмывали.

Пробы воды отбирали по [7] на четырех водных объектах (см. рисунок). Химико-аналитические исследования почвенных, растительных и водных проб проведены в Центре коллективного пользования физико-химических методов анализа Института проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН (ИППЭС КНЦ РАН) и химико-технологической лаборатории ООО «Кольский геологический информационно-лабораторный центр». Для определения концентрации подвижных форм соединений элементов образцы почв обрабатывали 1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (рН = 4,65). Использовали соотношение почвы и вытеснителя как 1:25 для органогенного горизонта и 1:10 — для минерального. Содержание металлов в образцах почвы, растений и лишайников анализировали методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии, К — атомно-эмиссионной спектрометрии, Р — фотокolorиметрическим методом, S — турбидиметрическим методом, N — по методу Кьельдаля, С — по методу Тюрина. Концентрацию химических элементов в растительных образцах определяли после разложения концентрированной азотной кислотой (мокрое озоление).

Отбор проб воды проводился в осенний период 2018 г. Всего для химического анализа было отобрано пять проб воды в полиэтиленовые бутылки. Отфильтрованные через мембранные фильтры пробы были подвергнуты химическому анализу компонентов и первичной подготовке, проведенным по стандартным сертифицированным методикам выполнения измерений. Анализ воды включал в себя определение рН, щелочности, ионного состава (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-}) и биогенных компонентов (NH_4^+ , Si, NO_3^- , PO_4^{3-}). Катионы Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} определялись с использованием атомно-абсорбционного спектрофотометра Perkin Elmer 360 в режиме пламенной атомизации. Анионы Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- — методом жидкостной хроматографии WatersHPLS с кондуктометрическим детектором Waters 432; Si, PO_4^{3-} , $\text{P}_{\text{общ}}$, NO_3^- , $\text{N}_{\text{общ}}$ и NH_4^+ — фотометрическим методом. Концентрации металлов определяли атомно-абсорбционным методом с атомизацией в графитовой печи с использованием прибора Analyst 800, а также атомно-абсорбционного спектрофотометра Perkin Elmer 360 в режиме пламенной атомизации.

Все аналитические методики определения основных гидрохимических параметров приведены в соответствии международным стандартам. Для контроля качества измерений величины рН, щелочности, концентраций хлоридов, сульфатов, щелочных и щелочноземельных элементов использовалась специализированная компьютерная программа ALPEFORM, включающая в себя сведения о балансе ионов, а также измеренные и расчетные значения электропроводности.

Названия видов сосудистых растений даны по сводке С.К. Черепанова [8] и «Конспекту флоры Чукотской тундры» [9]; названия лишайников приведены по работе Г.П. Урбанавичюса [10]; названия видов мхов даны в соответствии со сводкой М.С. Игнатова с соавторами [11]. Образцы растений и лишайников хранятся в гербарии ИППЭС КНЦ РАН. В дополнение к полученным полевым материалам были проанализированы современные литературные данные о растительном и животном мире изученного района.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Растительность. Район деятельности шахт характеризуется практически полным отсутствием почвенно-растительного покрова, нарушением режима подземных вод, увеличением концентрации взвешенных веществ в приземном слое атмосферного воздуха. На территории поселка и по краям участков угольных складов сохранились участки естественной растительности, характерные для нижней

части склонов средневесотных гор южных гипоарктических тундр, но существенно обедненные: сообщества ольхи кустарниковой (*Duschekia fruticosa*) с кустарниками (ива сизая (*Salix glauca*), смородина печальная (*Ribes triste*), пятилистник кустарниковый (*Dasiphora fruticosa*)), кустарничками (вороника, дриада точечная (*Dryas punctata*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*)) и травами (овсяница алтайская (*Festuca altaica*), костер Пампелла (*Bromus pumpehianus*), княженика обыкновенная (*Rubus arcticus*), иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium*)), кочкарные злаковые (овсяница алтайская) сообщества с осоками (*Carex* spp.), разнотравьем (полынь арктическая (*Artemisia arctica*), золотарник сжатый (*Solidago compacta*)) и зелеными мхами (саниония крючковатая (*Sanionia uncinata*), кукушкин лен альпийский (*Polytrichum alpinum*)). Антропогенное влияние проявляется в появлении ряда сорно-рудеральных видов (клевер ползучий (*Trifolium repens*), горошек мышиный (*Viccia cracca*), сурепка обыкновенная (*Barbarea vulgaris*) и т. д.), которые играют заметную роль в напочвенном покрове нарушенных территорий. Здесь сформированы пустыри, нерекультивированные территории промышленных и жилых зон, неосвоенные насыпи, обочины дорог, разрезанные полосы временных подъездных путей к объектам и пр. Растительный покров таких участков представляет собой группировки с доминированием рудеральных и апофитных видов, разной сомкнутостью, аморфной структурой и мозаичностью. Особенности техногенной трансформации в каждой локальной точке могут различаться. Сообщества крайне недолговечны, их видовой состав может меняться каждый год. В случае полного изъятия или разрушения плодородного почвенного слоя возникают вейниковые пустоши. Это разреженные группировки открытого типа с преобладанием куртин вейника пурпурного (*Calamagrostis purpurea*), овсяницы овечьей (*Festuca ovina*) и ситников (*Juncus* spp.). Моховой покров не формирует сомкнутую дернину, представлен разреженно расположенными отдельными побегами мхов-пионеров — кукушкиного льна волосконосного (*Polytrichum piliferum*), полии поникшей (*Pohlia nutans*) и др. На следующих стадиях зарастания появляются «аборигенные» виды — вороника, багульник болотный (*Ledum palustre*), иван-чай узколистный и полынь (*Artemisia* spp.), на увлажненных местах — различные виды ивы. Появляются отдельные пятна сомкнутого мохового покрова, где доминируют саниония крючковатая, цератодон пурпурный (*Ceratodon purpureus*) и ракомитриум седоватый (*Niphotrichum canescens*). К периферии нарушенных участков процессы зарастания усиливаются, начинается формирование сообществ, сходных с естественными. В нарушенных сообществах в окрестностях населенных пунктов лишайники редко принимают участие в сложении напочвенного покрова. Были отмечены единичные экземпляры цетрарии исландской (*Cetraria islandica*), стереокаулона альпийского (*Stereocaulon alpinum*), галечникового (*S. glareosum*), войлочного (*S. tomentosum*) и тамнолии шиловидной (*Thamnolia subuliformis*).

На фоновых площадках представлены классические варианты тундровых сообществ с участием ольхового стланика (*Duschekia kamtschatica*), рододендрона золотистого (*Rhododendron aureum*), вороники, толокнянки альпийской (*Arctous alpina*) и лишайников рода Кладония (*Cladonia* spp.). В ненарушенных тундровых сообществах обычны напочвенные кустистые лишайники из ягельников: кладония лесная (*Cladonia arbuscula*), оленья (*C. rangiferina*), звездчатая (*C. stellaris*), мрачная (*C. stygia*), а также других видов рода Кладония: темно-мясная (*C. amaurocraea*), красноплодная (*C. coccifera* s. l.), стройная (*C. gracilis*), крупнорогая (*C. macroceras*), листоносная (*C. phyllophora*), дюймовая (*C. uncialis*). Их других групп напочвенных лишайников обычны алектория бледно-охряная (*Alectoria ochroleuca*), говардия черноватая (*Gowardia nigricans*), цетрария голая (*Cetraria laevigata*), исландская, флавоцетрария клубочковая (*Flavocetraria cucullata*), снежная (*F. nivalis*), виды рода Стереокаулон (*Stereocaulon* spp.), тамнолия шиловидная и др. В ходе проведенных работ (ПП № 4) выявлено новое на Чукотке местонахождение лишайника цетрарии камчатской (*Cetraria kamczatica*), внесенного в Красную книгу ЧАО [12] и РФ [13].

В целом современное состояние растительности на исследованной территории можно оценить как подвергающееся антропогенной трансформации среднего, а местами сильного уровня. За более чем 60-летний период добычи угля и рекреационной деятельности большая часть территории существенно трансформирована. Ее восстановление, при условии прекращения хозяйственной деятельности, займет не одну сотню лет. В зоне воздействия шахт «Беринговская» и «Нагорная» растительность полностью преобразована. Нарушения, связанные с прокладкой дорог, организацией и функционированием угольных складов, носят линейный, точечный и мелкоплощадной характер. Основные локальные угрозы — это механическое уничтожение растительности на месте существующих угольных складов и недействующего поселка, увеличение концентрации взвешенных веществ в приземном слое атмосферного воздуха (запыление), вытаптывание и замусоривание окружающей территории, образование свалок, в меньшей степени — инвазия адвентивных и карантинных видов.

Оценка степени химического загрязнения почвенно-растительного покрова. Для комплексной оценки состояния наземных экосистем исследованного района были проведены аналитические работы по определению содержания тяжелых металлов и биогенных элементов в почве, растениях и лишайниках напочвенного покрова. К элементам первого класса опасности относятся свинец и цинк. ПДК подвижной формы свинца в почвах составляет 6 мг/кг (общесанитарный уровень). Содержание Pb варьирует в почвенном слое (0–20 см) на ПП № 1 от 1,72 до 2,17; на ПП № 2 — от 2,06 до 2,58; на ПП № 3 — от 0,89 до 1,36 мг/кг; в почвенном слое (0–5 см) на ПП № 3 — от 5,16 до 5,52 мг/кг. Концентрации на обследованной территории не превышают контрольных значений (2,09–5,62 мг/кг) и максимально допустимых значений ПДК.

ПДК подвижной формы цинка составляет 23 мг/кг (транслокационный уровень). Содержание Zn варьирует в почвенном слое (0–20 см) на ПП № 1 от 12,5 до 13,2; на ПП № 2 — от 19,7 до 20,2; на ПП № 3 — от 4,3 до 4,6 мг/кг; в почвенном слое (0–5 см) на ПП № 3 — от 27,1 до 29,7 мг/кг, т. е. превышает контрольные значения (ПП № 4). Превышение допустимого транслокационного уровня зафиксировано только в органическом горизонте почвы на ПП № 3.

К элементам второго класса опасности относятся медь и никель. ПДК подвижной формы меди составляет 3,0 мг/кг (общесанитарный уровень). Содержание Cu в почвенном слое (0–20 см) на ПП № 1 превышает ПДК (3,6–4,0 мг/кг). На остальных ПП превышений значений ПДК не зафиксировано. В органическом слое почвы на ПП № 3 содержание Cu возрастает (1,0–1,6 мг/кг) по сравнению с контролем (0,1 мг/кг).

ПДК подвижной формы никеля в почвах составляет 4,0 мг/кг (общесанитарный уровень). Содержание Ni варьирует в почвенном слое (0–20 см) на ПП № 1 от 2,28 до 2,34 мг/кг; на ПП № 2 — от 0,48 до 0,56, на ПП № 3 — от 0,21 до 0,29 мг/кг; в почвенном слое (0–5 см) на ПП № 3 — от 1,14 до 1,54 мг/кг. Концентрации Ni исследованных почв выше контрольных значений (0,03–0,20 мг/кг), но существенно ниже максимально допустимых значений ПДК, т. е. содержание данного элемента не превышает допустимый общесанитарный уровень.

Длительное воздействие отвалов угольных шахт на почвы обследуемой территории привело к сильному антропогенному нарушению природных торфянисто-глеевых почв. Отмечено изменение pH нарушенной почвы от кислой реакции (до 5,2), характерной для фоновых почв, до нейтральной или слабощелочной (6,2–7,7). В антропогенно нарушенной почве выявлено снижение уровней гидролитической и обменной кислотности, содержания обменного водорода и обменного алюминия, что свидетельствует о затухании процессов биогенного кислотообразования в почвах обследованной территории. Концентрации тяжелых металлов в почве превышали условно фоновые значения (Cu, Ni, Mn, Fe, Zn) и установленные ПДК для меди и цинка. В зоне воздействия угольных складов почва органических и минеральных горизонтов обеднена C, N, K, Na [14].

Для характеристики условий произрастания растений и оценки состояния растительных сообществ широкое распространение получила листовая диагностика. Сведения о содержании химических элементов в фотосинтезирующих органах имеют высокое индикаторное значение для оценки негативных воздействий на экосистемы и используются для мониторинга состояния фитоценозов. Результаты химического анализа растительных проб представлены в табл. 1 и 2.

Полученные данные свидетельствуют, что в зоне воздействия угольного предприятия концентрации тяжелых металлов в растениях и лишайниках возрастают (см. табл. 1). Наибольшей аккумулярующей способностью обладают лишайники, в талломах которых отмечены высокие содержания тяжелых металлов (Fe, Mn, Cu, Ni, Pb). Концентрации металлов относительно контрольных значений возрастают: Ni — в 19–34 раз, Pb — в 9–30, Fe — в 4–6, Cu и Mn — в 2 раза. Мхи также способны накапливать избыточные концентрации тяжелых металлов, при этом наибольшие значения наблюдаются в многолетних побегах. Концентрация Ni в зеленых мхах возрастает в 5–10 раз, Pb в 1,5–3 раза по сравнению с контролем. В листьях вороники превышение фоновых значений отмечено для Fe в листьях текущего года и многолетних, Cu — только в молодых листьях.

Высокая аккумулярующая способность лишайников и мхов связана с тем, что на их поверхности может происходить катионный обмен: основные катионы могут обмениваться на катионы тяжелых металлов. Таким образом, мхи и лишайники создают своеобразный экран, эффективно поглощающий и надолго задерживающий элементы-загрязнители.

Изменения концентраций основных органогенных и минеральных элементов в ассимилирующих органах растений и лишайников представлены в табл. 2. В условиях антропогенного воздействия (ПП № 1, ПП № 2) происходит увеличение содержания азота в фотосинтезирующих органах мхов и в листьях вороники текущего года. Скорее всего, увеличение азота происходит за счет небелковой фор-

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в растениях (на примере вороники), мхах и лишайниках в районе угольных складов и порта Беринговский

Номер пробной площади	Растительный образец, фракция	Валовое содержание, мг/кг					
		Zn	Ni	Cu	Pb	Fe	Mn
Вороника							
4 (контроль)	2 Текущие листья	13,7 ± 0,4	1,1 ± 0,1	3,3 ± 0,1	0,09 ± 0,01	289 ± 15	29 ± 1
	Многолетние листья	34,9 ± 1,4	4,2 ± 0,2	4,5 ± 0,1	1,57 ± 0,05	3012 ± 38	114 ± 1
	Текущие листья	10,9 ± 0,3	0,9 ± 0,1	5,5 ± 1,1	0,09 ± 0,01	158 ± 12	74 ± 1
	Многолетние листья	15,4 ± 1,0	1,4 ± 0,2	4,5 ± 0,7	0,09 ± 0,01	495 ± 9	116 ± 5
Мхи							
1	Зеленые побеги	37,0 ± 3,8	14,8 ± 0,9	12,6 ± 1,3	4,67 ± 0,71	9920 ± 484	188 ± 20
	Бурые побеги	58,4 ± 0,7	16,0 ± 0,1	12,6 ± 0,6	6,11 ± 0,09	14128 ± 206	207 ± 9
2	Зеленые побеги	31,4 ± 0,1	7,0 ± 0,1	5,8 ± 0,1	1,81 ± 0,11	4185 ± 2	253 ± 9
	Бурые побеги	80,1 ± 0,4	28,1 ± 0,6	13,5 ± 0,1	13,5 ± 0,2	18050 ± 174	583 ± 8
4 (контроль)	Зеленые побеги	25,3 ± 0,6	1,5 ± 0,1	5,8 ± 0,1	1,67 ± 0,15	8529 ± 207	127 ± 2
	Бурые побеги	36,0 ± 0,1	2,8 ± 0,2	6,5 ± 0,4	4,31 ± 0,11	13974 ± 169	245 ± 6
Лишайники							
1	Талломы	21,8 ± 0,6	5,9 ± 0,2	5,3 ± 0,4	2,96 ± 0,04	5444 ± 7	58 ± 1
2	Талломы	28,1 ± 0,1	3,3 ± 0,1	4,6 ± 0,1	0,86 ± 0,09	4003 ± 128	60 ± 2
4 (контроль)	Талломы	20,7 ± 0,2	0,17 ± 0,04	2,5 ± 0,1	0,10 ± 0,01	919 ± 5	27 ± 1

мы и является адаптационной реакцией растений на высокий уровень эмиссионной нагрузки. Отмечено повышение содержания Са, К, Р в ассимилирующих органах. Показано, что минеральные элементы могут попадать в растения и лишайники в виде пыли, в том числе Са, К, Р [15]. Кроме того, высокие концентрации кальция на техногенно нарушенных территориях были зафиксированы нами в верхнем почвенном слое [14].

Химический состав растений и лишайников существенно трансформируется в зоне воздействия угольного предприятия. Высокие концентрации тяжелых металлов (Fe, Zn, Cu, Ni, Pb) в растениях и

Таблица 2

Химический состав растений (на примере вороники), мхов и лишайников в районе угольных складов и порта Беринговский

Номер пробной площади	Растительный образец, фракция	Валовое содержание						
		C	N	Ca	Mg	K	P	Al
		%	г/кг					
Вороника								
4 (контроль)	2 Текущие листья	56 ± 4	30,6 ± 3,0	6,5 ± 0,1	1,0 ± 0,1	6,8 ± 0,1	1,69 ± 0,01	0,3 ± 0,01
	Многолетние листья	62 ± 2	6,3 ± 0,3	8,7 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,8 ± 0,1	0,75 ± 0,01	2,4 ± 0,1
	Текущие листья	56 ± 2	14,4 ± 1,0	5,0 ± 0,1	1,2 ± 0,1	5,2 ± 0,1	0,10 ± 0,01	0,2 ± 0,01
	Многолетние листья	55 ± 1	10,4 ± 1,4	5,9 ± 0,1	1,2 ± 0,1	2,2 ± 0,1	0,05 ± 0,01	0,7 ± 0,1
Мхи								
1	Зеленые побеги	42 ± 1	17,2 ± 1,3	4,8 ± 0,1	2,4 ± 0,1	4,5 ± 0,2	1,97 ± 0,16	7,0 ± 1,0
	Бурые побеги	42 ± 2	14,7 ± 2,6	14,4 ± 0,1	2,8 ± 0,1	2,6 ± 0,1	5,00 ± 0,46	11,0 ± 1,0
2	Зеленые побеги	69 ± 1	17,8 ± 2,7	7,7 ± 0,1	2,0 ± 0,1	6,4 ± 0,1	2,18 ± 0,10	3,4 ± 0,1
	Бурые побеги	45 ± 3	10,4 ± 1,7	6,2 ± 0,1	3,9 ± 0,1	4,4 ± 0,1	1,29 ± 0,10	14,9 ± 1,0
4 (контроль)	Зеленые побеги	43 ± 1	9,1 ± 1,0	0,4 ± 0,1	2,0 ± 0,1	2,2 ± 0,2	0,06 ± 0,01	12,4 ± 1,0
	Бурые побеги	35 ± 3	7,1 ± 1,0	0,4 ± 0,1	2,8 ± 0,1	2,0 ± 0,1	0,05 ± 0,01	23,0 ± 1,0
Лишайники								
1	Талломы	40 ± 2	10,6 ± 1,0	7,3 ± 0,5	1,1 ± 0,1	1,8 ± 0,1	0,60 ± 0,01	4,0 ± 0,2
2	Талломы	42 ± 1	18,3 ± 1,0	8,6 ± 0,2	1,2 ± 0,1	4,3 ± 0,1	1,26 ± 0,03	3,5 ± 0,2
4 (контроль)	Талломы	47 ± 1	11,7 ± 1,0	1,2 ± 0,1	0,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	0,05 ± 0,01	1,1 ± 0,2

лишайниках во многом обусловлены многолетним техногенным воздействием. Валовые содержания данных элементов в растительных образцах многократно превышают фоновые показатели. Мхи, как и лишайники, весьма чувствительны к изменениям окружающей среды и в большом количестве накапливают тяжелые металлы. Основные элементы-загрязнители лишайников — Ni, Pb, Fe, Cu, Mn, мхов — Ni, Pb, вороники — Fe, Cu. На обследуемой территории лишайники интенсивнее аккумулируют тяжелые металлы, чем мхи и вороника.

В целом в зоне воздействия шахт «Беринговская» и «Нагорная» наблюдается высокая степень антропогенной нарушенности территории вследствие механического нарушения и загрязнения почвенного и растительного покрова. Природные почвы практически отсутствуют и представлены техногенными почвогрунтами. В почвах концентрации тяжелых металлов превышают их фоновые концентрации и установленные ПДК. Содержание биогенных элементов в почве антропогенно нарушенных территорий снижается по сравнению с контрольными значениями. Растительные пробы содержат избыточные концентрации тяжелых металлов.

Гидрохимическая характеристика водных объектов. В рамках настоящей работы исследованы поверхностные водные объекты. Все оцениваемые при геоэкологическом опробовании параметры природных вод были объединены в несколько групп: физические свойства; pH, общая минерализация и главные ионы; биогенное и органическое вещество; тяжелые металлы и другие микроэлементы. Проанализированы пространственные вариации каждого из параметров. Результаты исследований поверхностных вод представлены в табл. 3.

Таблица 3

Химический состав водных объектов в районе угольных складов и порта Беринговский

Показатель	Концентрация растворенных веществ в воде				
	р. Яша		р. Угольная	Озеро б/н	бух. Угольная
	Верхнее течение	Нижнее течение			
pH	7,76	7,41	7,67	7,61	6,86
Аммоний-ион, мг/л	0,043	7,98	0,006	0,028	—
Нитраты, мг/л	0,075	0,629	0,108	0,017	—
Фосфор фосфатов, мг/л	0,005	0,118	0,005	0,002	—
Фосфор общий, мг/л	0,006	0,159	0,008	0,008	0,077
Окисляемость перманганатная, мг-О/л	0,94	2,83	1,93	2,64	13,2
Сухой остаток, мг/л	1501	1110	320,7	319,2	—
Кальций, мг/л	73,7	39,0	45,6	44,0	230
Натрий, мг/л	354	274	33,5	35,2	5830
Магний, мг/л	19,2	11,6	10,0	9,4	710
Калий, мг/л	1,77	3,57	0,92	1,12	222
Гидрокарбонаты, мг/л	353	345	64,1	59,4	—
Сульфаты, мг/л	688	435	157	158	1460
Хлориды, мг/л	10,8	2,6	9,6	12,0	11600
Жесткость, °Ж	5,2	2,91	3,10	2,98	—
Кремний, мг/л	3,95	4,13	3,39	2,76	1,13
Алюминий, мг/л	0,14	0,41	0,44	0,26	<0,0012
Железо общее, мг/л	0,275	0,267	0,876	0,308	0,742
Медь, мг/л	<0,001	0,0022	0,0016	0,0014	0,0091
Никель, мг/л	<0,001	0,0031	<0,001	<0,001	<0,0005
Марганец, мг/л	0,522	0,846	0,103	0,022	0,0021
Стронций, мг/л	1,32	0,542	0,429	0,259	4,486
Цинк, мг/л	0,010	0,023	0,0034	0,0013	0,0013
Свинец, мг/л	0,0013	0,0017	<0,001	<0,001	0,0023
Хром, мг/л	0,0012	0,0012	<0,00005	<0,00005	0,219
Кобальт, мг/л	0,0022	0,0032	0,0011	< 0,001	0,0002
Кадмий, мг/л	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	0,002

Примечание. Прочерк — не определено.

Цветность поверхностных вод составляет 3–10 град. Величина рН варьирует в поверхностных водах в диапазоне 7,41–7,76. Таким образом, все исследованные водоемы по кислотности — «нормальные» (рН = 6,5–8,5 [16]).

Общая минерализация (сухой остаток) изменяется в поверхностных водах в диапазоне 319,2–1501 мг/л. Поверхностные воды озера без названия и р. Угольной имеют низкую общую минерализацию и, соответственно, являются «пресными среднеминерализованными», воды р. Яши — «пресными высокоминерализованными» («соленость» 0,51–1,00 г/кг; [16]). Все поверхностные природные воды относятся, по классификации О.А. Алекина [17], к классу сульфатов. К кальциевой группе относится озеро без названия и р. Угольная, к натриевой — р. Яша. По определению соотношения между ионами все воды характеризуются как первый тип — $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. Для них характерно преобладание ионов HCO_3^- над суммой ионов щелочноземельных металлов. Воды этого типа образуются при значительном участии слагающих четвертичных рыхлых пород и отложений под ними, содержащих в больших количествах Na. При этом чаще всего они мало минерализованы, но пробы воды из р. Яши более минерализованы, так как отобраны в поздний осенний период, характеризующийся высоким уровнем атмосферных осадков в данном регионе [18], повлиявших на их химический состав. Вода в р. Угольной относится ко второму классу — $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ — и генетически связана с различными осадочными породами и продуктами выветривания коренных пород. Все воды в основном умеренно жесткие [16].

Во всех водных объектах концентрация сульфатов выше концентрации гидрокарбонат-ионов и хлорид-ионов. Высокие концентрации натрия наблюдаются в р. Яше. Существенное количество сульфатов объясняется слагающими осадочными породами — каменным углем — с содержанием минеральных примесей (сульфидов и т. д.), а также может распространяться с воздушными выбросами ТЭЦ и котельных (диоксид серы). Высокие концентрации натрия в водах р. Яши по всему течению обусловлены, вероятнее всего, содержанием растворимых солей натрия в осадочных горных породах.

Высокие концентрации фосфатов и общего фосфора наблюдаются в р. Яше ниже пгт Беринговский. В остальных пробах концентрации общего фосфора низкие — 6–8 мкг/л. Максимальные концентрации нитратного азота наблюдаются в р. Яше ниже пгт Беринговский. Повышенные концентрации аммонийного азота, превышающие норматив в 20 раз, отмечены в р. Яше ниже пгт Беринговский (см. табл. 3). Все это может быть связано с влиянием сточных вод и несовершенством действующей системы водоотведения, когда канализационные очистные сооружения не обеспечивают необходимую степень очистки сточных вод, или с полным отсутствием очистных сооружений.

Поверхностные воды были проанализированы на тяжелые металлы и другие микроэлементы. Концентрации алюминия (от 140 до 440 мкг/л) превышают значения ПДК во всех водных объектах. Вероятно, это зависит от свойств залегающих на территории водосбора углей с высокой загрязняющей способностью, в составе золы которых в значительном количестве присутствуют диоксид кремния и оксид алюминия. Загрязнение всех водных объектов железом происходит в результате добычи каменного угля, его хранения, перевалки и транспортировки в границах территории добывающего предприятия. Также железо может встречаться во вмещающих породах. Минимальные концентрации меди отмечены в верхнем течении р. Яши (выше пгт Беринговский) — <1 мкг/л. В остальных пробах содержание меди выше. Концентрации марганца, значительно превышающие значения ПДК (в 52 и 84 раз), наблюдаются в р. Яше. Содержание стронция (259 мкг/л) минимально только в озере без названия, а цинка (23 мкг/л) выше норматива только в р. Яше ниже пгт Беринговский.

Концентрации свинца, хрома, кобальта и кадмия в пресных водах находятся в рамках предельно допустимых значений [19].

Основными источниками загрязнения воздуха и, соответственно, водосборной площади ранее могли быть котельная с использованием угля и вентиляционные шахты с проходящим потоком шахтного воздуха, содержащего в основном пыль и газ во время взрывных работ. Кроме того, территория характеризуется сильными ветрами, и из-за отсутствия хранилища открытое складирование угля могло привести к аэромеханическому загрязнению пылью окружающей экосистемы. Ключевая особенность арктической тундры, окружающей бухту и поселок, представляет собой отсутствие лесов и очень низкий годовой прирост фитомассы, что приводит к скудному запасу органики. Эти факторы негативно влияют на поверхностные воды, почвы, мхи и лишайники. Результаты спутникового мониторинга показывают, что расстояние антропогенного воздействия на северные экосистемы для большинства предприятий по недропользованию составляет 6–13 км [20, 21].

Содержание тяжелых металлов бывает несколько повышенным в портовых акваториях и на суходонных трассах. Анализ содержания тяжелых металлов в морских водах показал, что высокие кон-

центрации выявлены только по двум элементам — железу и хрому. Основным источником поступления хрома в поверхностные воды являются процессы химического выщелачивания его соединений из горных пород и минералов. Значительная часть хрома поступает из подземных вод, а также из почв при разложении органических остатков.

На режим и состав поверхностных и грунтовых вод в исследуемом районе существенное влияние оказывают атмосферные выпадения и выветривание пород. Содержание биогенных элементов и тяжелых металлов в поверхностных пресных водах зависит в основном от антропогенного загрязнения водосборной площади рек: хозяйственные стоки пгт Беринговский, старые заброшенные поселки, значительное количество недействующих промышленных и военных объектов, строительный и иной мусор и т. д. К тому же условия, преобладающие на водосборной площади, оказывают большое влияние на мобильность и доступность тяжелых металлов в воде — исследованные водные объекты представляют собой речные системы. В формирование состава поверхностных вод существенный вклад вносит заболоченность территории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная оценка современного состояния окружающей среды в зоне прошлой деятельности угольных шахт в Анадырском районе ЧАО позволила дать характеристику состояния грунтов, почв и растительного мира, определить химический состав поверхностных водных объектов. Техногенное воздействие на обследуемой территории оказали: функционирование шахт «Беринговская» и «Нагорная», поселков, размещение бытового и строительного мусора, эксплуатация морского порта.

Показано, что зона деятельности шахт «Беринговская» и «Нагорная», а также район угольных складов характеризуются практически полным отсутствием почвенно-растительного покрова, нарушением режима поверхностных и подземных вод. На территории сохранились лишь небольшие участки растительности, характерные для нижней части склонов средневысотных гор южных гипоарктических тундр, но существенно обедненные по составу.

Выявлена необходимость проведения мониторинга ландшафтов, в том числе с целью оценки степени химического загрязнения территории тяжелыми металлами. Рекомендуется заложить постоянные пробные площадки для биогеохимического мониторинга экосистем. Целесообразно проведение рекультивации нарушенных территорий, включая биологическую — задерновывание и подсев трав непосредственно на площадке реконструкции и восстановления окружающих нарушенных территорий. Необходимо полное восстановление системы водотоков и дренажа на территории, а на наиболее обводненных участках — формирование дополнительной дренажной системы.

Работа выполнена в рамках проекта «Оценка воздействия угольных складов ООО «Берингпромуголь» на экосистемы в водоохранной зоне Берингова моря» (№ 190918) и государственного задания Института проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плакиткина Л.С. Анализ и перспективы развития добычи угля в период до 2035 г. в Чукотском автономном округе // Горная промышленность. — 2016. — № 5 (129). — С. 27–33.
2. Андриенко В.И. Месторождение бухты «Угольная» // Уголь. — 2001. — № 9. — С. 60–64.
3. Справочник по климату СССР. Устойчивость и точность климатических характеристик. Т. 1. Солнечное сияние. Температура воздуха и почвы / Под ред. О.А. Дроздова, И.Д. Копанева. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 396 с.
4. Справочник по климату СССР. Устойчивость и точность климатических характеристик. Т. 2. Влажность воздуха. Атмосферные осадки. Снежный покров / Под ред. О.А. Дроздова, И.Д. Копанева. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 344 с.
5. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа [Электронный ресурс]. — <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294847/4294847763.htm> (дата обращения 20.10.2020).
6. СанПиН 1.2.3685-21. «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и(или) безвредности для человека факторов среды обитания» [Электронный ресурс]. — https://base.garant.ru/400274954/#block_1000 (дата обращения 21.03.2021).
7. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства [Электронный ресурс]. — <https://meganorm.ru/Index2/1/4294851/4294851544.htm> (дата обращения 20.10.2020).

8. **Черепанов С.К.** Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). — СПб.: Мир и семья, 1995. — 992 с.
9. **Юрцев Б.А., Королева Т.М., Петровский В.В., Полозова Т.Г., Жукова П.Г., Катенин А.Е.** Конспект флоры Чукотской тундры. — СПб.: ВВМ, 2010. — 628 с.
10. **Урбанавичюс Г.П.** Список лишенофлоры России. — СПб.: Наука, 2010. — 194 с.
11. **Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A., Abolina A., Akatova T.V., Baisheva E.Z., Bardunov L.V., Baryakina E.A., Belkina O.A., Bezgodov A.G., Boychuk M.A., Cherdantseva V.Ya., Czernyadjeva I.V., Doroshina G.Ya., Dyachenko A.P., Fedosov V.E., Goldberg I.L., Ivanova E.I., Jukoniene I., Kannukene L., Kazanovsky S.G., Kharzinov Z.Kh., Kurbatova L.E., Maksimov A.I., Mamatkulov U.K., Manakyan V.A., Maslovsky O.M., Napreenko M.G., Otnyukova T.N., Partyka L.Ya., Pisarenko O.Yu., Popova N.N., Rykovsky G.F., Tubanova D.Ya., Zheleznova G.V., Zolotov V.I.** Check-list of mosses of East Europe and North Asia // *Arctoa*. — 2006. — Vol. 15. — P. 1–130.
12. **Красная книга Чукотского автономного округа. Т. 2.** Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений (покрытосеменные, папоротниковидные, плауновидные, мохообразные, лишайники, грибы) / Под ред. И.А. Черешнева. — Магадан: Изд-во Департамента пром. и сельскохоз. политики Чукотского автономного округа, Ин-та биологических проблем Севера ДВО РАН, 2008. — 217 с.
13. **Красная книга Российской Федерации (растения и грибы)** / Гл. ред. Ю.П. Трутнев. — М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. — 855 с.
14. **Фокина Н.В., Корнейкова М.В., Редькина В.В., Мязин В.А., Сухарева Т.А.** Биологическая активность и химические свойства тундровых почв Чукотского автономного округа в условиях промышленного загрязнения // *Почвоведение*. — 2022. — № 1. — С. 55–67.
15. **Kauppi M.** Fluorescence microscopy and microfluometry for the examination of pollution damage in lichens // *Ann. Bot. Fenn.* — 1980. — Vol. 17, N 2. — P. 163–173.
16. **ГОСТ 17.1.2.04-77.** Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов [Электронный ресурс]. — <https://internet-law.ru/gosts/gost/33538/> (дата обращения 20.10.2020).
17. **Алекин О.А.** Основы гидрохимии. — Л.: Гидрометеиздат, 1970. — 443 с.
18. **Василевская Л.Н., Стоцкуче Ю.В.** Анализ многолетней изменчивости атмосферных осадков и высоты снежного покрова на северо-востоке России (1966–2014 гг.) // *Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естествен. науки*. — 2017. — Т. 159, кн. 4. — С. 681–699.
19. **Об утверждении** нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 № 552 [Электронный ресурс]. — <https://base.garant.ru/71586774/> (дата обращения 20.10.2020).
20. **Калабин Г.В., Горный В.И., Давидан Т.А., Крицук С.Г., Тронин А.А.** Восстановление тундровой экосистемы после закрытия рудника «Валькумей» на Чукотке // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. — 2018. — № 2. — С. 146–153.
21. **Природная среда тундры в условиях открытой разработки угля (на примере Юньягинского месторождения)** / Под ред. М.В. Гецен. — Сыктывкар: Мин. природ. ресурсов и охраны окруж. среды Республики Коми, 2005. — 246 с.

Поступила в редакцию 28.02.2021

После доработки 28.04.2022

Принята к публикации 28.12.2022