

УДК: 631. 461: 574. 2

ЛАНДШАФТНО-БИОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АККУМУЛЯЦИИ И МИГРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА**Е.М. ЛАПТЕВА, Д.А. КАВЕРИН, А.В. ПАСТУХОВ, Е.В. ШАМРИКОВА, Ю.В. ХОЛОПОВ***Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
lapteva@ib.komisc.ru*

Проведена оценка фоновое содержания тяжелых металлов и мышьяка в почвах северных (типоарктических) тундр европейского Северо-Востока. Установлены пределы варьирования их валового содержания и профильного распределения. Показано, что валовое содержание большинства тяжелых металлов в почвах северных тундр не превышает регламентированные значения ОДК(ПДК) и соответствует низкому и среднему региональному уровню их содержания. Установлен повышенный и высокий региональный фон для некоторых типов почв по содержанию кадмия, мышьяка и цинка. Выявлены различия в содержании тяжелых металлов и мышьяка в почвах южных кустарниковых и северных (типоарктических) тундр. Полученные данные могут быть использованы при проведении экологического мониторинга в районах разработки и добычи углеводородного сырья и оценке антропогенного воздействия на компоненты природной среды Большеземельской тундры.

Ключевые слова: Арктика, Субарктика, Большеземельская тундра, тяжелые металлы и металлоиды, тундровые почвы

E.M. LAPTEVA, D.A. KAVERIN, A.V. PASTUKHOV, E.V. SHAMRIKOVA, YU.V. KHOLOPOV. LANDSCAPE-BIOGEOGRAPHICAL ASPECTS OF HEAVY METALS ACCUMULATION AND MIGRATION IN ARCTIC AND SUBARCTIC SOILS OF THE EUROPEAN NORTHEAST

The implementation of the tasks of social and economic development of the Arctic zone of Russia provides for intensification of extraction of fuel and energy resources, their complex processing and creation of appropriate infrastructure. In these conditions, there is increased attention to the assessment of the current state of natural ecosystems of the Arctic and sub-Arctic sectors of the European northeast, including the Bolshezemelskaya tundra. The soil cover of the Bolshezemelskaya tundra is largely understudied as the area is of difficult access. Soils of the south-eastern part (within Vorkuta industrial hub), the north-western part (the Pechora and Ortina rivers basins) and the southern part (the Kolva river basin) of the Bolshezemelskaya tundra are the most thoroughly studied. Northern regions of the Bolshezemelskaya tundra confined to the northern (typical) tundra, are characterized by sporadic descriptions of soils and are practically non-studied concerning distribution of heavy metals.

The data characterizing soils of the northern part of the Bolshezemelskaya tundra are presented. The studies were carried out on the territory of the Nenets Autonomous Area and the basins of Chernaya and Khudaya (the Barents Sea basin) which geo-cryological conditions are determined by continuous distribution of permafrost. Here on watersheds and pre-river landscapes soils of the semi-hydromorphic and cryo-hydromorphic type dominate. Systematic list of soils on the territory under consideration includes 15 types and 25 subtypes. The assessment of background concentrations of heavy metals (Cu, Pb, Cd, Zn, Ni, Co, V, Mn, Cr, Fe, Sr, Ba, Mo) and metalloids (As) for the most distributed podburs, gleyzems, peat-gleyzems, peat soils of wetland complexes and alluvial soils of valley landscapes of the rivers was carried out. The limits of their variation and profile distribution are set. It is shown that the content of principal pollutants (Hg, Pb, Cu, Ni and Zn) in soils of background landscapes of the Bolshezemelskaya tundra is much less than the standards of the Russian Federation on their approximate permissible concentrations (APC). Noted in some cases exceeding of permissible concentrations of As, Co, Mn and Cd is caused by the specific composition of the soil-forming rocks and specificity of conditions of accumulation and migration of elements in permafrost landscapes. In general, most metals are characterized by low and average regional level of their content in the soils of the northern part of the Bolshezemelskaya tundra. For cadmium and arsenic the increased and high regional level of their content in soils is identified.

The specific feature of the northern tundras of the Bolshezemelskaya tundra is extremely low content of molybdenum in soils - in most of the investigated soils its content was at the level less than the lower estimation level. The differences in the content of heavy metals (Zn, Pb, Ni, Cu, Cd, Hg) and arsenic (As) in organogenic horizons of soils of the southern shrub and northern hypo-Arctic tundra are revealed. It is shown that in the direction to the northern tundra in soils occupying in watersheds automorphic (podburs, gleyzems) and semi-hydromorphic (peat-gleyzems) position of the relief, the content of As, Zn, Ni, Pb, Cu increases. In peat soils of wetland systems, occupying low relief (depressions) and in the alluvial soils of river valleys the declining tendency is noted, with the exception of zinc which content in floodplain soils of the northern tundra is higher than in similar soils of the southern tundra. For cadmium practically a 2-3 fold increase of its content in all the soil types of the northern tundra compared to the southern one is revealed.

The data obtained can be used for ecological monitoring in the areas of development and production of hydrocarbons and the assessment of anthropogenic impact on the natural environment of the Bolshezemelskaya tundra.

Keywords: Arctic, Sub-Arctic, Bolshezemelskaya tundra, heavy metals and metalloids, tundra soils

В настоящее время особое внимание многих исследователей обращено на арктические и суб-арктические регионы европейского Северо-Востока. Это обусловлено необходимостью реализации задач социально-экономического развития Арктической зоны России, предусматривающих интенсификацию добычи топливно-энергетических ресурсов, их комплексной переработки и создание сопутствующей инфраструктуры [1]. В пределах европейского Севера значимый интерес представляет территория Большеземельской тундры (БЗТ), где сосредоточено значительное количество месторождений углеводородного сырья, пик добычи которого прогнозируется в ближайшее десятилетие [2]. Техногенное влияние на экосистемы БЗТ, связанное с добычей нефти и газа, имеет линейно-очаговый характер и затрагивает в основном территории прокладки линейных сооружений (трубопроводов) и площадных объектов (кусты скважин, вахтовые поселки, карьеры и т.п.) [3]. Разведка и освоение месторождений углеводородного сырья вызывают резкое возрастание техногенной нагрузки на природную среду не только прилегающих к указанным объектам территорий, но и акватории Баренцева моря. Последнее определяется преимущественной разгрузкой подземных вод материковой части Арктической зоны в направлении Северного Ледовитого океана и выносом загрязняющих веществ с поверхностным стоком в бассейны арктических морей [1]. Неблагоприятные биоклиматические условия БЗТ и низкая устойчивость природной среды Севера к антропогенному воздействию [4] обуславливают медленное самоочищение компонентов окружающей среды от загрязняющих веществ и самовосстановление нарушенных в результате промышленного освоения тундровых экосистем в течение длительного периода времени [5].

Наряду с органическими поллютантами (нефтеуглеводороды, полициклические ароматические углеводороды, хлорорганические соединения, фенолы), существенная роль в загрязнении наземных

и водных экосистем БЗТ при аварийных разливах нефти принадлежит тяжелым металлам и металлоидам (ТМиМ). Они входят в состав смолисто-асфальтовых веществ и включают как нетоксичные (Si, Fe, Al, Mn, Ca, Mg, P), так и характеризующиеся высокой токсичностью по отношению к живым организмам элементы (V, Ni, Co, Pb, Cu, U, As, Hg, Mo и др.) [6]. Природные углеводороды месторождений БЗТ отличаются высоким содержанием ванадия, никеля, железа [6, 7], которые при аварийных разливах нефти, наряду с другими элементами, могут оказать значимое влияние на живую составляющую почв, растительный покров, а также миграционные потоки тяжелых металлов и металлоидов в ландшафтах БЗТ. Исходя из вышесказанного, при разработке технико-экономических обоснований освоения лицензионных участков, проведении инженерно-экологических изысканий на территории месторождений и производственного экологического мониторинга на территории добычи и транспортировки углеводородного сырья особое внимание уделяется оценке содержания тяжелых металлов и металлоидов в основных компонентах природных и антропогенно нарушенных экосистем – почвах, растительности, поверхностных водах, донных отложениях и т.д.

В связи с труднодоступностью многих районов БЗТ ее почвенный покров исследован фрагментарно. Наиболее детально изучены почвы юго-востока БЗТ в пределах Воркутинского промышленного узла [8–12], северо-запада БЗТ в пределах дельты р. Печора и бассейна р. Ортина [13, 14], южной части БЗТ в бассейне р. Колва [15]. В последние годы в рамках работ по оценке экологического состояния почв на территориях разрабатываемых месторождений углеводородного сырья в Арктическом и Субарктическом секторах определены особенности содержания наиболее приоритетных тяжелых металлов (ТМ) в почвах северо-западной [14, 16] и юго-восточной [17–20] частей БЗТ. Северные регионы БЗТ, приуроченные к северным

(типичным) тундрам, охарактеризованы единичными описаниями почв [21–23] и практически не исследованы в отношении распределения в них тяжелых металлов.

Цель данной работы заключалась в оценке фонового содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах северной части Большеземельской тундры.

Объекты и методы

Исследования проводили на территории Большеземельской тундры, в бассейнах рек Черная и Худая (бассейн Баренцева моря). Данная территория расположена на севере центральной части Ненецкого автономного округа (НАО), приурочена к подзоне северных тундр [24]. Согласно климатическому районированию НАО, она входит в состав Субарктического восточного климатического района. Для рассматриваемого региона характерен суровый континентальный климат, отличающийся частой сменой воздушных масс при прохождении циклонов со стороны Атлантики и частыми вторжениями арктического воздуха с Северного Ледовитого океана. Близость моря, наличие многочисленных рек и озер, значительная заболоченность территории, низкие температуры воздуха и слабая испаряемость способствуют большой влажности климата. Среднегодовая температура по данным метеостанций Нарьян-Мар и Варандей $-3.3...-5.6$ °C, средняя температура января $-16.9...-17.8$ °C, июля $+12.7...+8.8$ °C. Годовая сумма осадков 403...430 мм. Основная их часть (65...70%) приходится на теплый период года. Число дней со снежным покровом 170 – 200. Максимальной высоты (57...80 см) снежный покров достигает во второй – третьей декадах марта.

Район исследования относится к зоне распространения сплошной многолетней мерзлоты, мощность многолетнемерзлых пород 300–500 м, температура $-3...-5$ °C, общая площадь таликов не превышает 10%. Глубина сезонно-талого слоя (СТС) варьирует в пределах от 30 до 200 см. Средняя температура СТС составляет $-3.5...-4.0$ °C [25]. Согласно геохронологическим прогнозам [26], на территории исследований к 2020 г. ожидается повышение среднегодовых температур на подошве сезонных колебаний до $-2...-3$ °C.

В геоморфологическом отношении район исследований представляет собой низменную аккумулятивную равнину с абсолютными высотами от 0 до 50 (морские террасы) и от 50 до 180 м над ур. м. (возвышенные холмистые ледниково-морские и ледниковые равнины). Согласно почвенно-экологическому районированию Восточно-Европейской равнины [27], данная территория относится к Полярному географическому поясу, Европейской полярной почвенно-биоклиматической области, зоне тундровых субарктических почв. Почвообразующими породами служат преимущественно четвертичные отложения. На севере и северо-востоке преобладают торфяные поверхностные отложения, на которых широко развиты плоскобугристые и полиго-

нальные болотные комплексы. На водоразделах широко распространены пылеватосуглинистые отложения морского и ледникового генезиса. Наиболее высокие позиции в рельефе – сопки, возвышенные части мусоров – обычно сложены песками. Почвообразование в долинах рек идет на аллювиальных песках и супесях. В районе исследований широко распространены также озерно-аллювиальные и озерно-болотные отложения [24].

При проведении полевых исследований почвенные разрезы закладывали в различных ландшафтных условиях с охватом максимального разнообразия типов и подтипов почв. Отбор проб проводили в соответствии с генетическими горизонтами почв. Физико-химические исследования выполняли в аккредитованной экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511257 от 26.02.2014 г.). Гранулометрический состав определяли по Качинскому с диспергацией и кипячением в присутствии NaOH [28], pH водной и солевой суспензий – потенциометрически со стеклянным электродом [29]. Содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов (Cu, Pb, Cd, Zn, Ni, Co, V, Mn, Cr, Fe, Sr, Ba, Mo) и мышьяка (As) выполняли атомно-эмиссионным методом с атомизацией в индуктивно-связанной аргонной плазме [30], ртути – методом атомной абсорбции на ртутном спектрометре HF-915+ без предварительного разложения образца [31].

Для удобства сопоставления полученных результатов с ранее опубликованными данными [19], диагностику почв проводили с учетом двух классификаций – современной классификации почв России [32, 33] и классификации почв, используемой в легенде к листу Государственной почвенной карты Q-41 «Воркута» [34]. При характеристике регионального фона оценивали содержание ТМИМ в верхних (органогенных) горизонтах почв в соответствии с градацией, предложенной А.И. Обуховым и Л.Л. Ефремовой [35].

Результаты исследований

Как показали проведенные нами исследования, почвенный покров северной части БЗТ (в бассейнах рек Черная и Худая) характеризуется широким распространением почв полугидроморфного и криогидроморфного ряда, доминирующих как на водоразделах, так и в приречных ландшафтах. Систематический список почв, выделенных на рассматриваемой территории, включает 15 типов и 25 подтипов (см. табл. 1).

В северной и северо-восточной частях исследуемой территории распространены комплексы почв полигональных болот с сухоторфяными мерзлотными почвами торфяных бугров (ТЖ-ТТ)¹ и торфяными олиготрофными почвами мочажин (ТО-ТТ). Они приурочены к плоским водоразделам, депрессиям, отмечены на низких морских террасах. Торфяники севера Большеземельской тундры пред-

¹ В скобках приведена формула морфологического строения профиля почвы.

Таблица 1

Систематический список почв и почвенных комплексов, распространенных на территории северной части Большеземельской тундры

Классификация и диагностика почв России, 2004/2008			Классификация, используемая в почвенных картах
Отдел	Тип почвы	Подтип почвы	
Ствол постлитогенного почвообразования			Не выделялись; описывались в литературе как скрытоподзолистые, подбуры тундровые и таежные, таежно-мерзлотные поверхностно-ожелезненные почвы
Альфегумусовые почвы	Подбуры	иллювиально-гумусовые	
		типичные	
		перегнойные	
		криотурбированные	
	Торфяно-подбуры	криотурбированные глееватые	
Криометаморфические почвы	Органо-криометаморфические	глееватые	
Глеевые почвы	Глеезёмы	мерзлотные	Тундровые поверхностно-глеевые
		потечно-гумусовые	Тундровые поверхностно-глеевые потечно-гумусовые
		перегнойные	Тундровые поверхностно-глеевые
		криогенно-ожелезненные	Тундровые поверхностно-глеевые
	Глееземы криометаморфические	криогенно-ожелезненные	Тундровые поверхностно-глеевые
	Темногумусово-глеевые	криометаморфизованные	Дерново-глеевые
	Торфяно-глееземы	криогенно-ожелезненные	Торфяно- и торфянисто-глеевые (мерзлотные)
		перегнойно-торфяные	Торфяно- и торфянисто-глеевые
		криометаморфические	Торфяно- и торфянисто-глеевые
		потечно-гумусовые	Торфяно- и торфянисто-глеевые (потечно-гумусовые)
Ствол органогенного почвообразования			
Торфяные почвы	Сухоторфяные	мерзлотные	Болотные верховые торфяные мочажин и тундровые остаточно-торфяные почвы бугров
	Торфяные олиготрофные	не выделены	
	Торфяные эутрофные	не выделены	
Ствол синлитогенного почвообразования			
Аллювиальные почвы	Аллювиальные гумусовые	типичные	Аллювиальные дерновые
		криотурбированные	
	Аллювиальные гумусовые глеевые	не выделены	Аллювиальные дерновые глеевые
	Аллювиальные торфяно-глеевые	не выделены	Аллювиальные болотные
	Аллювиальные маршевые (засоленные)	не выделены	Маршевые почвы
Ствол первичного почвообразования			
Слаборазвитые почвы	Слоисто-аллювиальные гумусовые	не выделены	Аллювиальные дерновые примитивные слоистые

ставляют собой переходный вариант от полигональных болот к плоскобугристым.

Основные площади слабодренированных водоразделов с суглинистыми почвообразующими породами занимают глеезёмы (О-G-CG) и торфяно-глеезёмы (Т-G-CG). Они формируются в условиях холодного гумидного климата при длительном насыщении почвы водой. Этому способствует присутствие льдистой мерзлоты в пределах верхнего метра профиля, которая служит водопором. В структуре почвенного покрова водоразделов и приреч-

ных террас наиболее представлены такие подтипы глеезёмов, как мерзлотные, потечно-гумусовые, перегнойные, криогенно-ожелезненные и криометаморфические. Они образуют сочетания с торфяно-глеезёмами, которые диагностируются по наличию торфяного горизонта мощностью 10–40 см, подстилаемого глеевым горизонтом.

К возвышенным, хорошо дренированным массивам и сопкам, сложенным песками, приурочены подбуры (О-BHF-C). Они встречаются локально на рассматриваемой территории и представлены ти-

пичными, иллювиально-гумусовыми и перегнойными подтипами. Отличительной особенностью торфяно-подбуров (Т-BHF-C) является наличие оторфованного органогенного горизонта мощностью до 10–30 см. На территории исследованного участка северных тундр в основном встречаются торфяно-подбуровы криотурбированные глееватые.

Ограничено в пределах рассматриваемой территории распространение и органо-криометаморфических почв (О-CRM-C), которые в основном приурочены к пятнистым кустарничково-моховым тундрам, занимающим дренированные участки приречных террас с пылеватоуглинистыми почвообразующими породами. На склонах приречных и озерных террас под луговой растительностью и кустарниковыми сообществами травяной группы ассоциаций в условиях избыточного грунтового и почвенно-грунтового увлажнения можно встретить небольшие по площади контуры темногумусово-глевых почв (AU-G-CG).

В поймах рек господствующее положение занимают аллювиальные гумусовые глеевые почвы (AY-Cg[~]). Они формируются в центральных плоскоравнинных частях пойменных террас, в межривных понижениях, в долинах мелких рек и ручьев. Развитие этих почв связано с близким залеганием почвенно-грунтовых вод и застаиванием на длительный период паводковых вод и атмосферных осадков. На слоистых песчаных аллювиальных отложениях в прирусловых частях пойменных террас развиты слоисто-аллювиальные гумусовые почвы (W-C[~]). Понижения пойм, в особенности притеррасные понижения, занимают аллювиальные торфяно-глеевые почвы (Т-Cg[~]). На первых надпойменных террасах или на высоких, редко затопляемых гривах пойменных террас, формируются аллювиальные криотурбированные почвы (AY-C@-C[~]).

На приморской низменности, в зоне интенсивного засоления морскими приливными водами вдоль побережья, нами описаны аллювиальные маршевые слоистые почвы (Т-С-Т'-С'). В классификации почв России [32, 33] они не выделены, однако представлены на многих почвенных картах [24, 36]. Маршевые почвы распространены в полосе заболоченных лайд на низкой морской террасе Баренцева моря.

Содержание тяжелых металлов в природных почвах фоновых, ненарушенных ландшафтов определяется особенностями химического состава материнских почвообразующих пород, а их профильное распределение – спецификой условий почвообразования: биоклиматическими параметрами, наличием биогеохимических барьеров, окислительно-восстановительными и кислотно-основными условиями почвенной среды, особенностями состава почвенного органического вещества, определяющего возможность миграции элементов в профиле почв и в ландшафтах [37–39]. В настоящее время к опасным (токсичным для живых организмов) тяжелым металлам и металлоидам относят 57 химических элементов [40]. В Российской Федерации введены нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) валового содержания для та-

ких металлов, как V, Mn, Pb и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК), учитывающие granulометрический состав почв и величину их кислотности, – для Cd, Cu, Ni, Zn, As, Pb [41, 42]. Для всех остальных ТМиМ ПДК не установлены. При проведении экологического мониторинга для характеристики степени загрязнения почв этими металлами предлагается использовать эмпирическую зависимость: ПДК = (3–5) × Фон [43] или ПДК = 2 × Фон [39]. Таким образом, оценка фоновой концентрации тяжелых металлов и металлоидов в почвах и установление их регионального уровня сохраняют свою актуальность, особенно при исследовании таких мало изученных регионов, как арктические и субарктические регионы европейского Севера.

Учитывая тот факт, что при проведении исследований в северной части БЗТ (бассейны рек Черная и Худая) почвенные разрезы закладывали на территориях, не подверженных техногенному воздействию, где развито преимущественно традиционное природопользование, полученные нами данные о содержании тяжелых металлов (Cu, Pb, Cd, Zn, Ni, Co, V, Mn, Cr, Fe, Sr, Ba, Mo, Hg) и металлоидов (As) отражают региональный уровень их содержания в почвах северных гипоарктических тундр. Накопление и распределение ТМиМ в почвах водораздельных и пойменных ландшафтов – подбуров, глееземах, торфяно-глееземах, торфяных почвах плоскобугристых болот и аллювиальных почвах долин рек – отвечают ландшафтно-биоклиматическим условиям почвообразования, миграционной способности элементов и возможности их аккумуляции на геохимических барьерах. Максимум содержания во всех типах почв приходится на такие элементы, как железо и марганец (табл. 2). Аккумуляция соединений железа в автомных и субавтомных ландшафтах Большеземельской тундры кислого глеевого класса и дефицит макро- и микроэлементов являются отличительными чертами геохимической обстановки в этом регионе [44]. В зависимости от типа почвы и ее приуроченности к тому или иному ландшафту ряд накопления элементов несколько меняется (табл.2), однако во всех случаях первые позиции по содержанию в почвах занимают Fe и Mn, а последние – As, Cd и Mo.

Почвы долинных ландшафтов считаются природными геохимическими барьерами на пути миграции химических элементов в ландшафтах с поверхностными и почвенно-грунтовыми водами [38]. Однако в условиях северных гипоарктических тундр среднее содержание в них большинства рассмотренных тяжелых металлов ниже, по сравнению с почвами водоразделов, за исключением торфяных почв плоскобугристых торфяников. По всей видимости, специфика мерзлотных условий региона (наличие сплошной мерзлоты, малая мощность сезонно-талого слоя, низкая скорость химического выветривания, активное поглощение растворимых форм химических соединений тундровой растительностью, низкая минерализация почвенно-грунтовых вод) обуславливает снижение объемов миграционных потоков химических элементов в ланд-

Таблица 2

Ряды накопления и среднее содержание ($\bar{X} \pm \Delta$) тяжелых металлов и металлоидов в почвах северной части Большеземельской тундры

Тип почвы														
Подбуры (n=11)			Глееземы (n=11)			Торфяно-глееземы (n=16)			Торфяные почвы (n=32)			Аллювиальные почвы (n=17)		
Э	$\bar{X}$	$\pm \Delta$	Э	$\bar{X}$	$\pm \Delta$	Э	$\bar{X}$	$\pm \Delta$	Э	$\bar{X}$	$\pm \Delta$	Э	$\bar{X}$	$\pm \Delta$
Fe	15100	3760	Fe	19718	9084	Fe	18596	26145	Fe	7412	11623	Fe	8388	3766
Mn	393	421	Mn	1371	1224	Mn	1721	5185	Mn	169	298	Mn	374	196
Ba	69	10	Ba	68	27	Hg	79	56	Hg	118	60	Ba	27	11
Cr	43	6	Hg	56	62	Ba	42	32	Ba	21	22	Zn	26	16
Zn	40	15	Zn	49	24	Zn	37	17	Sr	20	9	V	18	6
Hg	39	37	V	40	14	Sr	20	9	Zn	19	14	Hg	17	17
Sr	36	15	Cr	26	9	V	17	16	V	6	6	Sr	13	6
V	28	9	Ni	23	5	Ni	14	11	Ni	6	4	Ni	13	5
Ni	17	6	Sr	21	7	Cr	12	11	Pb	5	3	Cr	12	5
Cu	9,5	2,3	Co	12	7	Cu	8	5	Cu	3,7	2,3	Co	6,1	1,3
Pb	9	4	Pb	12	7	Co	8	10	Cr	4	4	Cu	5,7	2,8
Co	6,8	1,9	Cu	10,8	1,9	Pb	6,2	2,4	As	3	7	Pb	5,2	1,7
As	4,6	2,6	As	5	3	As	2,0	1,7	Co	2,7	2,4	As	2,9	0,9
Cd	0,3	0,1	Mo	0,3	1	Cd	0,22	0,11	Mo	0,4	0,7	Cd	0,15	0,07
Mo	<0,10*	-	Cd	0,28	0,19	Mo	0,20	0,28	Cd	0,3	0,4	Mo	<0,10*	-

Примечание. $\bar{X}$ – среднее арифметическое значение содержания элемента; $\pm \Delta$ – стандартное квадратичное отклонение среднего арифметического; n – объем выборки; размерность содержания Hg – мкг/кг, всех остальных элементов – мг/кг; * – результат измерения меньше нижней границы диапазона определяемого содержания.

шафтах, что, соответственно, определяет более низкое их содержание в пойменных почвах. Следует отметить, что в таежной зоне, которая по особенностям геохимии ландшафтов близка к равнинным тундрам БЗТ [44], почвы пойменных террас по содержанию некоторых тяжелых металлов (свинец, марганец, ртуть) также уступают автоморфным подзолистым почвам [45].

К специфической особенности регионального фона северных тундр БЗТ необходимо отнести крайне низкое содержание в почвах молибдена (табл. 3). В большинстве проанализированных образцов почв его концентрация была меньше нижней границы диапазона определяемого содержания. Второй особенностью является повышенное содержание в почвах As, Cd и Mn (табл.3), превышающее в отдельных образцах почв в 1.1–3.8 (As), 1.0–5.8 (Co) и 1.1–14 (Mn) раза ОДК(ПДК), регламентированные по этим показателям для песчаных (супесчаных) и суглинистых кислых почв. В единичных образцах полугидроморфных и гидроморфных почв – торфяно-глееземах и торфяных мерзлотно-отмечено повышенное на уровне 1.1–3.4 ОДК содержание кадмия.

Расчет коэффициентов концентрации химических элементов (как отношение содержания элемента в органогенном горизонте к его концентрации

в минеральной части сезонно-талого слоя) показал, что все элементы отличаются по характеру их аккумуляции в различных горизонтах профиля тундровых почв (рис.1). В почвах пойменных ландшафтов отмечено либо накопление тяжелых металлов в дерновом горизонте (Hg, Cd, Mn, Fe, Pb, Zn, Ba, Sr), либо их относительно равномерное распределение между дерновым горизонтом и нижележащей минеральной частью профиля (Cu, Ni, Co, V, Cr). Для мышьяка выявлена преимущественная его аккумуляция в минеральной части профиля.

Для подбуров – почв хорошо дренированных ландшафтов, отличающихся максимальным оттаиванием профиля в течение вегетационного периода, характерно закрепление в маломощном органо-генном горизонте таких элементов, как Hg, Mn, Pb, Zn, и аккумуляция в минеральной части профиля Fe, As, Ni, Co, Cr, V. Барий, стронций и медь относительно равномерно распределены в профиле подбуров.

Глееземы и торфяно-глееземы близки по характеру распределения элементов в профиле к подбурам. Следует обратить внимание на то, что по мере нарастания гидроморфизма суглинистых почв, возрастает аккумуляция Cd, Mn и Fe в их органо-генных горизонтах. Это может быть связано с дополнительным поступлением подвижных в ки-

Таблица 3

Фоновое содержание тяжелых металлов, мышьяка (мг/кг) и ртути (мкг/кг) в органогенных (Орг.) и минеральных (Мин.) горизонтах почв северной части Большеземельской тундры

Тип почвы	Горизонт	As	Pb	Zn	Cu	Ni	Cd	Hg	Co	V	Mn	Cr	Fe	Sr	Ba	Mo
Подбуры	Орг.	<u>0,9-4,8</u> 3,1±2,0	<u>8-19</u> 12±6	<u>34-79</u> 56±23	<u>7-14</u> 10±3	<u>7-23</u> 15±8	<u>0,2-0,5</u> 0,3±0,2	<u>49-120</u> 90±37	<u>3,6-7,2</u> 5,9±2,0	<u>13-32</u> 25±10	<u>250-1600</u> 743±745	<u>9-22</u> 17±7	<u>3800-14000</u> 10600±5889	<u>13-37</u> 23±12	<u>40-47</u> 43±4	<u><0,10*</u> <0,10*
	Мин.	<u>2,8-11,0</u> 5,2±2,6	<u>5,9-9,4</u> 7,4±1,5	<u>26-46</u> 34±6	<u>7,1-12,4</u> 9,3±2,0	<u>9-27</u> 18±6	<u>0,14-0,47</u> 0,24±0,11	<u>9-33</u> 21±8	<u>3,8-10,0</u> 7,2±1,9	<u>19-39</u> 29±8	<u>63-460</u> 261±150	<u>14-29</u> 20±6	<u>10400-18000</u> 13925±2616	<u>9-58</u> 20±16	<u>24-55</u> 39±12	<u><0,10*</u> <0,10*
Глееземы	Орг.	<u>0,9-8</u> 4±4	<u>8-30</u> 18±11	<u>59-110</u> 76±29	<u>8,3-10,7</u> 9,2±1,3	<u>14-24</u> 19±5	<u>0,38-0,70</u> 0,49±0,18	<u>90-210</u> 140±62	<u>4-16</u> 11±6	<u>10-56</u> 34±23	<u>1100-2500</u> 1867±709	<u>6-39</u> 23±16	<u>4900-25000</u> 13967±10193	<u>25-33</u> 30±4	<u>56-110</u> 80±27	<u><0,10*2,0</u> 0,8±1,0
	Мин.	<u>2,6-11,0</u> 5,2±2,9	<u>6-16</u> 10±3	<u>26-62</u> 39±13	<u>8,5-14,2</u> 11,4±1,7	<u>19-30</u> 25±4	<u>0,1-0,3</u> 0,2±0,1	<u>10-48</u> 24±12	<u>7-29</u> 13±7	<u>28-54</u> 43±9	<u>340-4000</u> 1185±1361	<u>18-33</u> 27±6	<u>12000-37000</u> 21875±8288	<u>13-22</u> 17±3	<u>28-110</u> 64±27	<u><0,10*</u> <0,10*
Торфяно-глееземы	Орг.	<u>0,2-6,0</u> 1,7±1,9	<u>2,0-37,0</u> 9,1±9,3	<u>10,0-66,0</u> 37,2±19,9	<u>1,4-17,0</u> 5,9±4,2	<u>1,9-36,0</u> 10,6±9,3	<u>0,1-3,4</u> 0,6±1,0	<u>44-260</u> 118±63	<u>0,4-41</u> 7±11	<u>2-50</u> 12±14	<u>19-21000</u> 2206±5969	<u>1-32</u> 8±9	<u>630-93000</u> 19570±30243	<u>7-40</u> 22±9	<u>4-140</u> 44±37	<u><0,10*2,0</u> 0,2±0,3
	Мин.	<u>0,8-3,9</u> 2,7±1,4	<u>3,2-9,8</u> 7,1±2,9	<u>15-46</u> 35±14	<u>4-16</u> 11±6	<u>8-32</u> 22±11	<u>0,11-0,20</u> 0,14±0,05	<u>9-36</u> 20±11	<u>4-11</u> 8±4	<u>15-42</u> 31±12	<u>53-450</u> 268±188	<u>10-29</u> 22±9	<u>5700-21000</u> 15675±6992	<u>9-19</u> 15±4	<u>20-47</u> 37±12	<u><0,10*</u> <0,10*
Торфяные**	T1	<u>0,2-28</u> 4±9	<u>1,0-18</u> 6±4	<u>7-52</u> 23±12	<u>0,8-11</u> 4±2,8	<u>0,8-16</u> 5±4	<u>0,1-1,5</u> 0,3±0,4	<u>35-250</u> 135±64	<u>0,2-10</u> 2,9±2,9	<u>0,6-25</u> 6±7	<u>3-1300</u> 220±342	<u>0,7-22</u> 4±5	<u>280-48000</u> 9929±14682	<u>6-45</u> 20±10	<u>4-130</u> 23±28	<u><0,10*2,0</u> 0,3±0,5
	T2	<u>0,4-5,0</u> 1,4±1,3	<u>1,0-8</u> 4±2	<u>3-51</u> 14±13	<u>0,9-10</u> 3,7±2,3	<u>1,1-13</u> 6±4	<u><0,10*0,37</u> 0,18±0,08	<u>35-220</u> 88±45	<u>0,4-10</u> 2,9±2,3	<u>1,0-25</u> 6±6	<u>6,0-1300</u> 125±315	<u>1,0-22</u> 4±5	<u>290-13000</u> 4523±3723	<u>8-45</u> 22±9	<u>4-36</u> 18±9	<u><0,10*2,0</u> 0,5±0,9
Аллювиальные	Орг.	<u>0,5-3,4</u> 2,4±1,6	<u>5,2-8,0</u> 6,8±1,4	<u>19-74</u> 46±28	<u>4-10</u> 6±3	<u>11-20</u> 15±5	<u>0,14-0,34</u> 0,25±0,10	<u>8-59</u> 30±26	<u>5,2-8,0</u> 6,7±1,4	<u>12-25</u> 19±7	<u>250-1100</u> 597±446	<u>10-17</u> 13±3	<u>7200-14000</u> 9667±3765	<u>10-30</u> 21±10	<u>22-66</u> 41±23	<u><0,10*</u> <0,10*
	Мин.	<u>2,0-3,7</u> 2,9±0,7	<u>2,7-6,9</u> 4,6±1,6	<u>10-36</u> 19±9	<u>1,8-9,5</u> 4,9±2,9	<u>7-20</u> 12±5	<u>0,1-0,2</u> 0,1±0,0	<u>5-62</u> 14±17	<u>3,8-8,0</u> 5,6±1,3	<u>10-27</u> 16±7	<u>250-410</u> 330±53	<u>5-18</u> 10±5	<u>1200-15000</u> 7240±4052	<u>7-17</u> 10±4	<u>16-32</u> 23±5	<u><0,10*</u> <0,10*
ОДК(ПДК)***		2	32	55	33	20	0,5	2100	5	150	1500	н/у	н/у	н/у	н/у	н/у
ОДК(ПДК)****		5	65	110	66	40	1	2100	5	150	1500	..	..	..	..	..

Примечание. * – результат измерения меньше нижней границы диапазона определяемого содержания; ** – в торфяных почвах анализировали торфяной горизонт T1 (глубина 0–10 см) и T2 (глубина 10–30 см); *** – ОДК(ПДК) для почв песчаного и супесчаного гранулометрического состава; **** – ОДК(ПДК) для кислых суглинистых почв; в числителе минимальное – максимальное значения, в знаменателе среднее арифметическое ± стандартное квадратичное отклонение, н/у – ОДК(ПДК) не установлено.

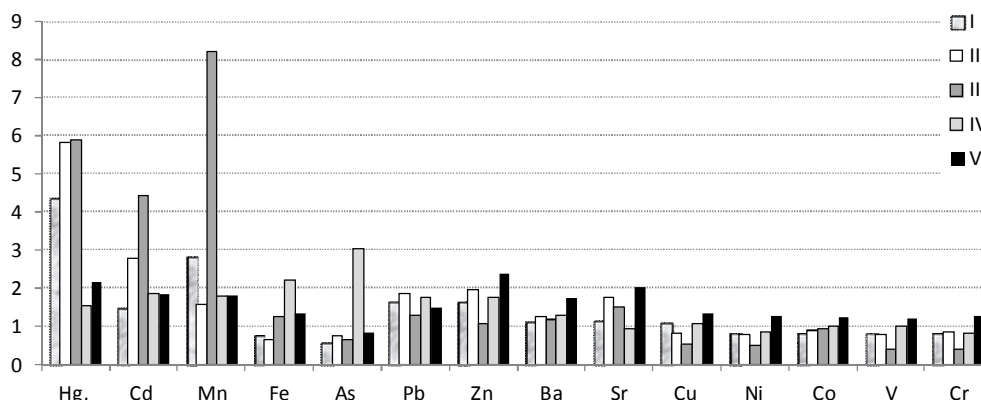


Рис. 1. Распределение коэффициентов концентрации (ось Y) тяжелых металлов и мышьяка (ось X) по типам почв северной части Большеземельской тундры: I – подбуры; II – глееземы; III – торфяно-глееземы; IV – торфяные почвы болотных комплексов; V – аллювиальные почвы.

слой среде элементов с поверхностным стоком, поскольку глееземы и торфяно-глееземы занимают сопряженно подчиненные позиции в рельефе. Усиление в этом направлении восстановительной обстановки и глеевых процессов в минеральной толще профиля торфяно-глееземов способствует осаждению на глеевом геохимическом барьере меди. Накопление в глеевых горизонтах меди, никеля, хрома и ванадия может быть связано и с их сорбцией на глинистых минералах и оксидах железа и марганца [44].

Для почв бугристых торфяников отмечено преимущественно аккумулятивное распределение ТМиМ в профиле, с надмерзлотной аккумуляцией таких элементов, как хром и никель.

Интересные результаты были получены при сравнительном анализе содержания некоторых тяжелых металлов (Pb, Ni, Cd, Zn, Hg, Cu) и мышьяка (As) в органогенных горизонтах почв северных гипоарктических и южных кустарниковых тундр (рис. 2). Для этих целей использованы опубликованные ранее материалы по содержанию тяжелых металлов в почвах юго-востока БЗТ [19].

Почвы, формирующиеся в северных и южных тундрах на песчаных почвообразующих породах (тундровые иллювиально-гумусовые, в том числе оподзоленные – подбуры и подзолы), близки по содержанию мышьяка и свинца (рис.2). По всем остальным рассмотренным ТМ почвы северной части БЗТ характеризуются более высокими значениями, по сравнению с почвами южной части БЗТ.

Для автоморфных суглинистых почв, занимающих хорошо дренированные позиции ландшафтов (тундровые поверхностно-глеевые, в том числе тундровые глеевые), практически по всем рассматриваемым элементам, за исключением Hg, отмечены более высокие значения в ландшафтах северной части БЗТ. В полугидроморфных почвах (тофяно- и торфянисто-глеевых) эта тенденция сохраняется, но она выражена в меньшей степени, по сравнению с почвами, занимающими автономные позиции тундровых ландшафтов. Особенно это относится к таким элементам, как мышьяк, свинец, ртуть. Различия в биоклиматических условиях се-

верных и южных тундр практически не оказали влияния на уровень накопления этих элементов в органогенных горизонтах тундровых торфяно- и торфянисто-глеевых почв.

Для почв болотного ряда отмечена тенденция повышения регионального уровня в северных тундрах только для таких ТМ, как Cd и Hg. Для всех остальных рассмотренных элементов выявлена обратная тенденция – либо сохранение на одном уровне (As, Pb), либо снижение содержания ТМ (Ni, Cu), по сравнению с торфяными почвами южной части БЗТ.

Для почв долинных ландшафтов также отмечена тенденция снижения содержания всех ТМ в направлении от южных кустарниковых к северным гипоарктическим тундрам, за исключением Zn и Cd. Значительное варьирование этих показателей, особенно по содержанию Hg, Zn, Ni, Cd, не позволяет говорить о статистически достоверном уменьшении содержания ТМ в пойменных почвах северных тундр по сравнению с южными.

При использовании для оценки регионального уровня содержания ТМ и мышьяка в почвах БЗТ классификации А.И. Обухова и Л.Л. Ефремовой (табл.4) установлено, что почвы северной части БЗТ характеризуются в среднем низким региональным уровнем содержания меди (3.7–11.4 мг/кг), низким и средним – свинца (4.0–18 мг/кг), никеля (5–25 мг/кг), ртути (17–118 мкг/кг), высоким – мышьяка (1.4–5.2 мг/кг). В зависимости от типа почвы региональный уровень содержания цинка варьирует от низкого до повышенного (14–76 мг/кг), кадмия – от среднего до высокого (0.1–0.6 мг/кг). Для южных кустарниковых тундр типичен низкий региональный фон по содержанию в почвах меди (3.5–7.9 мг/кг) и никеля (5.3–18.3 мг/кг), низкий и средний – свинца (6.3–10.5 мг/кг), цинка (17.6–35.0 мг/кг) и ртути (11–168 мкг/кг), средний – кадмия (0.05–0.23 мг/кг), высокий – мышьяка (1.33–5.8 мг/кг) [19].

В целом, содержание приоритетных загрязнителей – Hg, Pb, Cu, Ni и Zn – в почвах фоновых ландшафтов БЗТ значительно меньше принятых в Российской Федерации нормативов по их ориентировочно допустимым концентрациям. Отмеченное

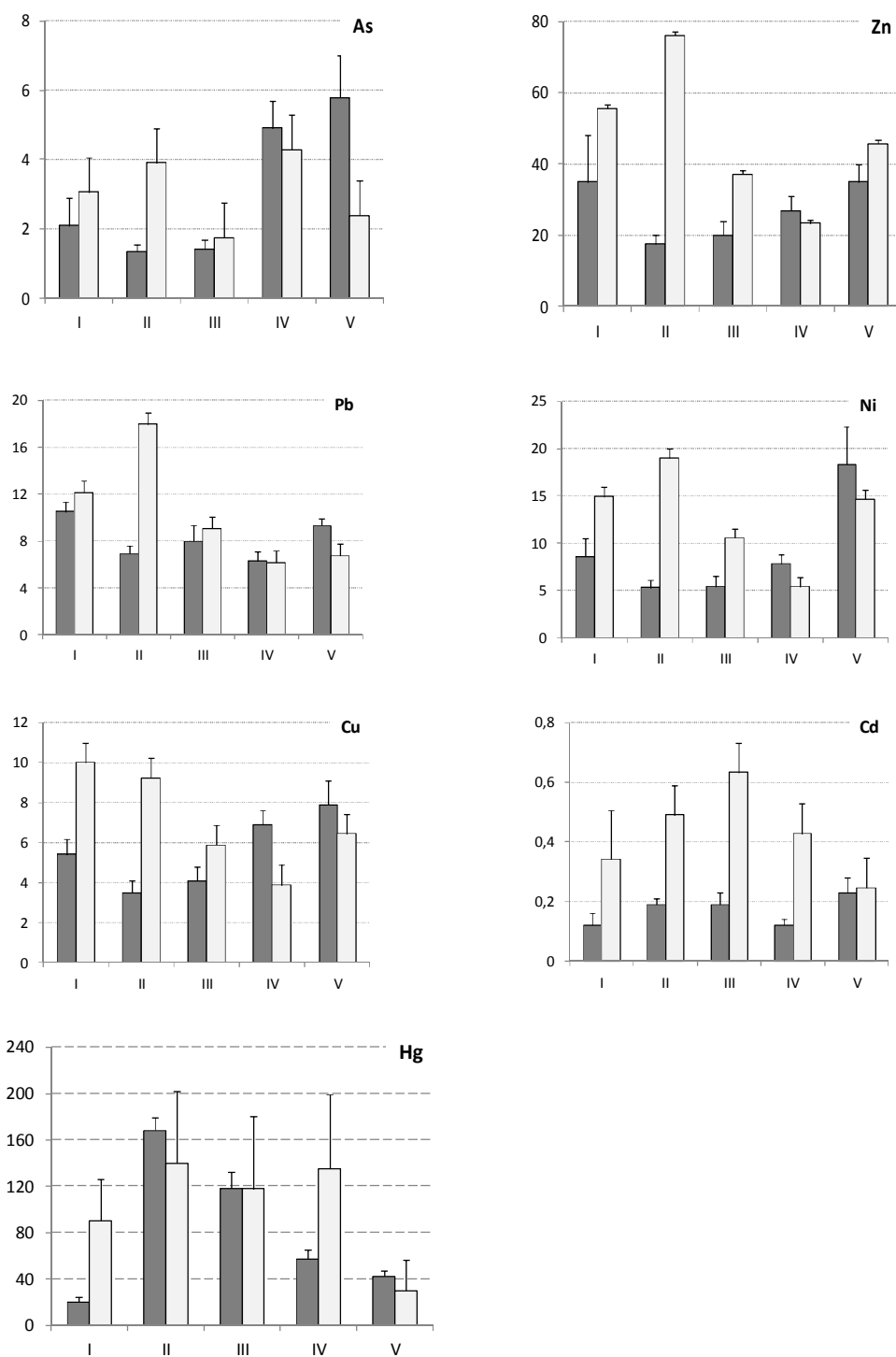


Рис. 2. Фоновое содержание As, Cd, Zn, Cu, Ni, Pb (мг/кг) и Hg (мкг/кг) в органических горизонтах почв южной (темные столбцы) и северной (светлые столбцы) частей Большеземельской тундры: I – тундровые иллювиально-гумусовые, в том числе оподзоленные; II – тундровые глеевые и поверхностно-глеевые; III – болотно-тундровые торфяно-глеевые; IV – торфяные болотные; V – аллювиальные почвы.

Таблица 4

Классификация почв с кислой и слабокислой реакцией по содержанию тяжелых металлов, мг/кг [35]

Уровни содержания	Свинец	Кадмий	Цинк	Медь	Никель	Ртуть
Очень низкое	<5	<0,05	<15	<5	<10	<0,05
Низкое	5-10	0,05-0,10	15-30	5-15	10-20	0,05-0,10
Среднее	10-35	0,10-0,25	30-70	15-50	20-50	0,10-0,25
Повышенное	35-70	0,25-0,50	70-100	50-80	50-70	0,25-0,50
Высокое	70-100	0,50-1,00	100-150	80-100	70-100	0,50-1,00
Очень высокое	100-150	1-2	150-200	100-150	100-150	1-2

в ряде случаев превышение ОДК(ПДК) по содержанию As, Co, Mn и Cd обусловлено особенностями состава почвообразующих пород и спецификой условий аккумуляции и миграции элементов в ландшафтах криолитозоны.

Заключение

На основании проведенных исследований установлено, что в бассейнах рек Худая и Черная, относящихся к бассейну Баренцева моря и территориально приуроченных к северной части Большеземельской тундры, на водоразделах и в приречных ландшафтах доминируют почвы полугидроморфного и криогидроморфного ряда. В соответствии с используемой в настоящее время новой классификацией почв России [32–33], на рассматриваемой территории выделено 15 типов и 25 подтипов почв, входящих в шесть отделов. Для основных, наиболее широко распространенных почв – подбуров, глееземов, торфяно-глееземов, торфяных почв болотных комплексов и аллювиальных почв долинных ландшафтов рек – установлены пределы варьирования тяжелых металлов (Cu, Pb, Cd, Zn, Ni, Co, V, Mn, Cr, Fe, Sr, Ba, Mo, Hg) и металлоидов (As) в органогенных и минеральных горизонтах почв северного сектора Большеземельской тундры. Выявлены основные закономерности накопления в них ТМ и мышьяка. Показано, что в органогенных горизонтах всех исследованных почв преимущественно аккумулируются такие ТМ, как Hg, Cd, Mn, Pb, Zn, Ba, Sr. В автоморфных и полугидроморфных почвах водораздельных плато, в отличие от депрессий, занятых полигональными и плоскобугристыми болотами, а также пойменных почв долинных ландшафтов, происходит обогащение минеральной части почвенных профилей Ni, Co, Va, Cr, Fe и As. Показано, что валовое содержание большинства проанализированных элементов в почвах северных гипоарктических тундр не превышает регламентированных значений ОДК(ПДК) и соответствует низкому и среднему региональному уровню их содержания. Для кадмия и мышьяка установлен повышенный и высокий региональный фон содержания в почвах. Отмеченное в ряде случаев превышение ОДК(ПДК) по содержанию As, Co, Mn и Cd обусловлено особенностями состава почвообразующих пород и спецификой условий аккумуляции и миграции элементов в ландшафтах криолитозоны. К специфической особенности северных тундр БЗТ необходимо отнести крайне низкое содержание в почвах молибдена – в большинстве исследованных почв его содержание находилось на

уровне меньше нижней границы диапазона определяемого содержания.

Выявлены различия в содержании некоторых ТМ (Zn, Pb, Ni, Cu, Cd, Hg) и мышьяка в органогенных горизонтах почв южных кустарниковых и северных гипоарктических тундр. Показано, что в направлении к северным тундрам в почвах, занимающих на водоразделах автоморфные (подбуров, глееземы) и полугидроморфные (торфяно-глееземы) позиции рельефа, возрастает содержание As, Zn, Ni, Pb, Cu. В торфяных почвах болотных экосистем, представленных в депрессиях водоразделов, и в аллювиальных почвах долин рек отмечена тенденция к снижению их концентрации, за исключением цинка, содержание которого в пойменных почвах северной тундры выше, чем в аналогичных почвах южной тундры. Для кадмия выявлено практически 2–3-кратное возрастание его содержания во всех типах почв северных тундр, по сравнению с южными тундрами.

Полученные данные, характеризующие профильное распределение тяжелых металлов и мышьяка в почвах Большеземельской тундры, могут быть использованы при проведении экологического мониторинга в районах разработки и добычи углеводородного сырья и оценке антропогенного воздействия на компоненты природной среды арктических и субарктических регионов европейского Севера-Востока.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Президиума РАН №15-15-4-46 «Взаимосвязь биоразнообразия и биопродукционного потенциала наземных экосистем Европейской Арктики с особенностями формирования мерзлотных почв и динамическими аспектами их трансформации в современных условиях климата».

Литература

1. Кутинов Ю.Г. Геоэкологическое районирование северных территорий Земли // «Наука. Общество. Человек». Вестник Уральского отделения РАН. 2009. № 1(27). С. 45–56.
2. Шумилова Ю.Н. Эколого-географическое обоснование перспектив развития нефтегазовой промышленности Ненецкого автономного округа : автореф. дис. на соиск. ученой степ. канд. геогр. наук : 25.00.36. Ростов-на-Дону, 2009. 23 с.
3. Колосов Д.В. Оценка воздействия на почвы и растительность при нефтегазовом освоении

- юго-востока Большеземельской тундры // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. 2014. №1. С.13–17.
4. Тихонова Т.В. Устойчивость природной среды Печоро-Уральской Арктики // Арктика: экология и экономика. 2012. №4(8). С.16–25.
5. Экологические принципы природопользования и природовосстановления на Севере // И.Б. Арчегова, Е.Г. Кузнецова, И.А. Лиханова, А.Н. Панюков, Ф.М. Хабибуллина, Г.Г. Осадчая. Сыктывкар, 2009. 176 с.
6. Губайдуллин М.Г., Иванов Р.С. Интегральная оценка воздействия нефтей на окружающую среду с учетом их компонентного состава // Вестн. Поморского ун-та. Сер.: «Естественные и точные науки». 2007. № 1 (11). С. 5–12.
7. Крайнева О.В., Губайдуллин М.Г. Геолого-физическая характеристика продуктивных пластов Варандейского месторождения и оценка потенциальной экологической опасности сырой нефти // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. 2013. №3. С. 14–23.
8. Иванова Е.Н., Полинцева О.А. Почвы европейских тундр // Тр. Коми филиала АН СССР. Сер. географическая. Вып.1. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1952. С.73–122.
9. Арчегова И.Б., Забоева И.В. Криогенные проявления в почвах Коми АССР. Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 1974. 36 с. (Серия препринтов «Научные доклады». Вып. 10).
10. Mazhitova G., Lapteva E.M. Trans-Ural Polar Tour. Guidebook. Publishing Service Institute of Biology KSC UD Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, 2004. 54 p.
11. Русанова Г.В. Полигенез и эволюция почв Субарктического сектора (на примере Большеземельской тундры). СПб.: Наука, 2009. 165 с.
12. Тонконогов В.Д. Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 304 с.
13. Русанова Г.В., Денева С.В., Канев В.В. Почвы северо-запада Большеземельской тундры (бассейн р. Ортин) // Почвоведение. 2004. №7. С.792–803.
14. Русанова Г.В., Денева С.В. Влияние отходов нефтегазового производства на почвенный покров Субарктики // Север: арктический вектор социально-экологических исследований. Сыктывкар, 2008. С. 196–233.
15. Горячкин С.В. Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция). М.: ГЕОС, 2010. 414 с.
16. Денева С.В. Трансформация почв Большеземельской тундры под влиянием техногенных воздействий : автореф. дис. на соиск. ученой степ. канд. биол. наук. Сыктывкар, 2005. 26 с.
17. Оберман Н.Г., Шеслер И.Г., Рубцов А.И. Экогеология Республики Коми и восточной части Ненецкого автономного округа / Под ред. Н.Г. Обермана и др. Сыктывкар: Пролог-Плюс, 2004. 256 с.
18. Малов А.И. Тяжелые металлы и мышьяк в почвах Ненецкого автономного округа // Вестник Архангельского государственного технического университета. Серия "Прикладная геоэкология". 2007. №70. С. 101–114.
19. Дымов А.А., Лаптева Е.М., Калашиников А.В., Денева С.В. Фоновое содержание тяжелых металлов, мышьяка и углеводородов в почвах Большеземельской тундры // Теоретическая и прикладная экология. 2010. №4. С. 43–48.
20. Тентюков М.П. Геохимия ландшафтов равнинных тундр (на примере Ямала и Большеземельской тундры). Сыктывкар, 2010. 260 с.
21. Ливеровский Ю.А. Почвы тундр Северного края. Л.: Изд-во АН СССР, 1934. 112 с.
22. Игнатенко И.В. Почвы восточно-европейской тундры и лесотудры. М.: Наука, 1979. 280 с.
23. Канев В.В. Устойчивость тундровых почв района озера Науль-то // Освоение Севера и проблемы природопользования. Сыктывкар, 2010. С.63–71.
24. Атлас Архангельской области / Под ред. А.Ф. Федорова. М.: ГУГК, 1976. 72 с.
25. Чудинова С.М., Быховец С.С., Сорокиных В.А. и др. Особенности изменения температуры почв России в период последнего потепления климата // Криосфера Земли. 2003. Т. VII. № 3. С. 23–30.
26. Оберман Н.Г., Шеслер И.Г. Современные и прогнозируемые изменения мерзлотных условий европейского Северо-Востока Российской Федерации // Проблемы Севера и Арктики Российской Федерации. 2009. Вып. 9. С. 96–106.
27. Добровольский Г.В., Урусевская И.И. География почв. М.: Изд-во МГУ, 2006. 464 с.
28. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
29. ГОСТ 26483–85–ГОСТ 26490–85. Почвы. Определение рН солевой вытяжки, обменной кислотности, обменных катионов, содержания нитратов, обменного аммония и подвижной серы методами ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1994. 48 с.
30. ПНДФ 16.1:2.3:3.11-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. М., 1998.
31. ПНДФ 16.1:2.23-2000. Методика выполнения измерений массовой концентрации общей ртути в пробах почв и грунтов на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой РП-91С. СПб., 2000. 12 с.
32. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
33. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

34. Государственная почвенная карта России (м-б 1:1000000). Объяснительная записка к листу Q-41 (Воркута). Сыктывкар, 2010. 82 с.
35. Обухов А.И., Ефремова Л.Л. Охрана и рекультивация почв, загрязненных тяжелыми металлами // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. С. 23–36.
36. Атлас Арктики / Под ред. А.Ф. Трешникова. М.: ГУГК, 1985.
37. Дабахов М.В., Дабахова Е.В., Тимова В.И. Тяжелые металлы: экотоксикология и проблемы нормирования. Н.-Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. 165 с.
38. Добровольский В.В. Роль органического вещества почв в миграции тяжелых металлов // Природа. 2004. № 7. С. 35–39.
39. Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д., Кондратенко Б.М. Оценка фоновое содержания тяжелых металлов в почвах европейского Северо-Востока России // Почвоведение. 2007. №9. С. 1064–1070.
40. Водяницкий Ю.Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность (аналитический обзор) // Почвоведение. 2013. № 7. С. 872–881.
41. Методические указания по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации / Издание второе, дополненное. М., 2003.
42. ГН 2.1.7.2041-06 ГН 2.1.7.2042-06 Предельно-допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
43. Водяницкий Ю.Н., Яковлев А.С. Оценка загрязнения почвы по содержанию тяжелых металлов в профиле // Почвоведение. 2011. № 3. С. 329–335.
44. Перельман А.И., Касимов И.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 768 с.
45. Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д., Чуков С.Н. Ландшафтно-геохимическая оценка фоновое содержания тяжелых металлов в почвах таежной зоны // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. Сер.3. 2010. Вып.2. С.114–127.
46. Tikhonova T.V. Ustoichivost' prirodnoi sredy Pechoro-Ural'skoi Arktiki // Arktika: ekologiya i ekonomika [The sustainability of the natural environment of the Pechora-Urals Arctic // Arctic: ecology and economy]. 2012. No. 4(8). P. 16-25.
47. Ekologicheskie printsipy prirodopol'zovaniya i prirodovosstanovleniya na Severe [Ecological principles of nature management and nature restoration in the North] // I.B.Archeгова, E.G.Kuznetsova, I.A.Likhanova et al. Syktyvkar, 2009. 176 p.
48. Gubaidullin M.G., Ivanov R.S. Integral'naya otsenka vozddeystviya neftei na okruzhayushchuyu sredu s uchetom ikh komponentnogo sostava [Integrated assessment of the impact of oil on the environment with regard to their component composition] // Bull. of Pomor Univ. Series: "Natural and exact Sciences", 2007. No. 1(11). P. 5-12.
49. Kraineva O.V., Gubaidullin M.G. Geologo-fizicheskaya kharakteristika produktivnykh plastov Varandeyevskogo mestorozhdeniya i otsenka potentsial'noi ekologicheskoi opasnosti syroi nefti [Geological and physical characteristics of the productive strata of Varandey field and evaluation of potential environmental hazards from crude oil] // Bull. of Northern (Arctic) Federal Univ. Series: Natural sciences, 2013. No.3. P. 14-23.
50. Ivanova E.N., Polyntseva O.A. Pochvy evropeiskikh tundr [The European tundra soils] // Proc. of Komi Branch, USSR Ac. Sci. Geographical series. Issue 1. Moscow-Leningrad: USSR Ac. Sci. Publ. P. 73-122.
51. Archeгова I.B., Zaboeva I.V. Kriogennyye proyavleniya v pochvakh Komi ASSR [Cryogenic manifestations in soils of the Komi ASSR]. Series of preprints "Scientific reports". Issue 10. Syktyvkar: Komi Branch, USSR Ac. Sci., 1974. 36 p.
52. Mazhitova G., Lapteva E.M. Trans-Urals Polar Tour. Guidebook. Publishing Service Inst. of Biology KSC UD Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, 2004. 54 p.
53. Rusanova G.V. Poligenez i evolyutsiya pochv Subarkticheskogo sektora (na primere Bol'shezemel'skoi tundry) [Polygenesis and evolution of soils of the Sub-Arctic sector (Bolshezemelskaya tundra as an example)]. St.Petersburg: Nauka, 2009. 165 p.
54. Tonkonogov V.D. Avtomorfnoe pochvoobrazovanie v tundrovoy i taizhnoy zonakh Vostochno-Uvropeiskoi i Zapadno-Sibirskoi ravnin [Automorphic soil formation in tundra and taiga zones of the East European and West Siberian plains]. Moscow: V.V.Dokuchaev Soil Institute, 2010. 304 p.
55. Rusanova G.V., Deneva S.V., Kanev V.V. Pochvy severo-zapada Bol'shezemel'skoi tundry (bassein reki Ortin) // Pochvovedenie [Soils of the northwest of the Bolshezemelskaya tundra (the

References

- Otrin river basin) // Soil science]. 2004. No.7. P. 792-803.
14. *Rusanova G.V., Leneva S.V.* Vliyanie otkhodov neftegazovogo proizvodstva na pochvennyi pokrov Subarktiki // Sever: arkticheskii vektor sotsial'no-ekologicheskikh issledovaniy [The effect of waste of oil-and-gas production on soil cover of Sub-Arctic // The North: the Arctic vector of socio-environmental studies]. Syktyvkar, 2008. P. 196-233.
15. *Goryachkin S.V.* Pochvennyi pokrov Severa (struktura, genezis, ekologiya, evolyutsiya) [The soil cover of the North (structure, genesis, ecology, evolution)]. Moscow: GEOS, 2010. 414 p.
16. *Deneva S.V.* Transformatsiya pochv Bol'shezemel'skoi tundry pod vliyaniem tekhnogennykh vozdeistvii: avtoref. dis. na soisk. uchenoi step. kand. biol. nauk [Transformation of soils of the Bolshezemelskaya tundra under the influence of anthropogenic impacts: abstract of diss.... Cand. Sci. (Biology)]. Syktyvkar, 2005. 26 p.
17. *Oberman N.G., Shesler I.G., Rubtsov A.I.* Egeologiya Respubliki Komi i vostochnoi chasti Nenetskogo Avtonomnogo okruga [Ecology of the Komi Republic and the eastern part of the Nenets Autonomous Area] / Eds. Oberman N.G. et al. Syktyvkar: PrologPlus, 2004. 256 p.
18. *Malov A.I.* Tyazhelye metally i mysh'yak v pochvakh Nenetskogo avtonomnogo okruga [Heavy metals and arsenic in soils of the Nenets Autonomous Area] // Bull. of Arkhangelsk State Technical Univ. Series "Applied geo-ecology", 2007. No. 70. P. 101-114.
19. *Dymov A.A., Lapteva E.M., Kalashnikov A.V., Deneva S.V.* Fonovoe sodержanie tyazhelykh metallov, mysh'yaka i uglevodorodov v pochvakh Bolshezemelskoi tundry -// Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya [The background content of heavy metals, arsenic and hydrocarbons in soils of Bolshezemelskaya tundra // Theoretical and applied ecology]. 2010. No. 4. P. 43-48.
20. *Tentyukov M.P.* Geokhimiya landshaftov ravninnykh tundr (na primere Yamala i Bol'shezemel'skoi tundry) [Geochemistry of landscapes of lowland tundra (on the example of the Yamal Peninsula and Bolshezemelskaya tundra)]. Syktyvkar, 2010. 260 p.
21. *Liverovsky Yu.A.* Pochvy tundr Severnogo Kraya [The soils of tundras of the Northern Land]. Leningrad: USSR Ac. Sci. Publ., 1934. 112 p.
22. *Ignatenko I.V.* Pochvy vostochno-evropeiskoi tundry i lesotundry [Soils of the East European tundra and forest tundra]. Moscow: Nauka, 1979. 280 p.
23. *Kanev V.V.* Ustoichivost' tendrovyykh pochv raiona ozera Nual'-to // Osvoenie Severa i problemy prirodopol'zovaniya [Stability of tundra soils in the area of lake Naul'-to // Development of the North and the problems of nature management]. Syktyvkar, 2010. P. 63-71.
24. *Atlas Arkhangel'skoi oblasti* [Atlas of the Arkhangelsk region] / Ed. A.F.Fedorov. Moscow: GUGK, 1976. 72 p.
25. *Chudinova S.M., Bykhovets S.S., Sorokovikov V.A. et al.* Osobennosti izmeneniya temperatury pochv Rossii v period poslednego potepeniya klimata // Kriosfera Zemli [Peculiarities of temperature change of soils of Russia in the period of recent warming of the climate // Cryosphere of the Earth]. 2003. Vol. VII. No. 3. P. 23-30.
26. *Oberman N.G., Shesler I.G.* Sovremennye i prognoziруемые izmeneniya merzlotnykh uslovii Evropeiskogo severo-vostoka Rossiiskoi Federatsii // Problemy Severa i Arktiki Rossiiskoi Federatsii [Current and predicted permafrost changes in the European North-East of the Russian Federation // Problems of Northern and Arctic regions of the Russian Federation]. 2009. Issue 9. P. 96-106.
27. *Dobrovolsky G.N., Urusevskaya I.I.* Geografiya pochv [Soil geography]. Moscow: Moscow State Univ. Publ., 2006. 464 p.
28. *Vadyunina A.F., Korchagina Z.A.* Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv [The study methods of physical properties of soils]. Moscow: Agropromizdat, 1986. 416 p.
29. *GOST (All-Union State Standard) 26483-85-GOST 26490-85.* Pochvy. Opredelenie rN solevoi vytyazhki, obmennoi kislotnosti, obmennykh kationov, sodержaniya nitratov, obmennogo ammoniya i podvizhnoi sery metodami TsINAO. – Moscow: Izdatelstvo Standartov [Soils. Estimation of pH_{salts}, exchangeable acidity, exchangeable cations, content of nitrates, exchangeable ammonium and mobile sulfur by the CINAO methods]. – Moscow: Standards Publ., 1994.- 48 p.
30. *PNDF (Nature Protection Federal Regulatory Document) 16.1:2.3:3.11-98* Kolichestvennyi khimicheskii analiz pochv. Metodika vypolneniya izmerenii sodержaniya metallov v tverdykh ob'ektakh metodom spektrometrii s induktivno-svyazannoi plazmoi [Quantitative soil chemical analysis. The estimation technique of metal content in solid materials by the method of spectrometry with inductively coupled plasma]. Moscow: 1998.
31. *PNDF 16.1:2.23-2000.* Metodika vypolneniya izmerenii massovoi kontsentratsii obshchei rtuti v probakh pochv i gruntov na analizatore rtuti RA-915+ s pristavkoi RP-91S [The estimation technique of total copper mass concentration in soil and ground samples using the PA-915+ copper analyzer with the RP-91C attachment]. St.Petersburg, 2000. 12 p.
32. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils of Russia] / L.L.Shishov, V.D.Tonkonogov, I.I.Lebedeva, M.I.Gerasimova. Smolensk: Oikumena, 2004. 342 p.
33. *Polevoi opredelitel' pochv Rossii* [Field manual for the identification of soils of Russia]. Moscow: V.V.Dokuchaev Soil Inst., 2008. 182 p.

34. *Gosudarstvennaya pochvennaya karta Rossii* [State soil map of Russia (scale 1:1000000). Explanatory note to Q-41 sheet (Vorkuta). Syktывkar, 2010. 82 p.
35. *Obukhov A.I., Efremova L.L.* Okhrana i rekul'tivatsiya pochv, zagryaznennykh tyazhelymi metalami // Tyazhelye metally v okruzhayushchei srede i okhrana prirody [Conservation and recultivation of soils polluted by heavy metals// Heavy metals in the environment and nature protection]. Moscow: Moscow Univ. Publ., 1988. P. 23-36.
36. *Atlas Arktiki* [Atlas of the Arctic]. Ed. A.F.Treshnikov. Moscow: GUGK. 1985.
37. *Dabakhov M.V., Dabakhova E.V., Titova V.I.* Tyazhulye metally: ekotoksikologiya i problemy normirovaniya [Heavy metals: ecotoxicology and standardization problems]. N.-Novgorod: VVAGS Publ., 2005. 165 p.
38. *Dobrovolsky V.V.* Rol' organicheskogo veshchestva pochv v migratsii tyazhelakh metallov [The role of soil organic matter in migration of heavy metals] // Nature, 2004. No. 7. P. 35-39.
39. *Beznosikov V.A., Lodygin E.D., Kondratenok B.M.* Otsenka fonovogo sodержaniya tyazhelykh metallov v pochvakh evropeiskogo severovostoka Rossii [Background content estimation of heavy metals in soils of the European North-East of Russia] // Soil Science. 2007. No. 9. P. 1064-1070.
40. *Vodyanitsky Yu.N.* Zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami i metalloidami i ikh ekologicheskaya opasnost' (analiticheskii obzor) [Soil pollution by heavy metals and metalloids and their environmental threat (analytical review)]// Soil Science. 2013. No. 7. P. 872-881.
41. *Metodicheskie ukazaniya po otsenke gorodskikh pochv pri razrabotke gradostroitel'noi i arkhitekturno-stroitel'noi dokumentatsii* [Methodological instructions on assessment of urban soils for development of architectural and engineering specifications] / 2-nd edition, supplemented. Moscow, 2003.
42. *GN (Hygienic Norm) 2.1.7.2041-06 GN 2.1.7.2042-06* Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) i orientirovochno-dopustimye kontsentratsii (ODK) khimicheskikh veshchestv v pochve [Maximum permissible concentrations (PDK) and approximate permissible concentrations (ODK) of chemical substances in soil]. Moscow: Federal Hygiene and Epidemiology Centre of the Rospotrebnadzor, 2006. 15 p.
43. *Vodyznitsky Yu.N., Yakovlev A.S.* Otsenka zagryaznennoi pochvy po sodержaniyu tyazhelykh metallov v profile [Soil pollution assessment by heavy metals content in profile]// Soil Science. 2011. No. 3. P. 329-335.
44. *Perelman A.I., Kasimov I.S.* Geokhimiya landshafta [Landscape geochemistry]. Moscow: Astreya-2000, 1999. 768 p.
45. *Beznosikov V.A., Lodygin E.D., Chukov S.N.* Landshaftno-geokhimicheskaya otsenka fonovogo sodержaniya tyazhelykh metallov i pochvakh taezhnoi zony [Landscape-geochemical estimation of heavy metals background content in soils of the taiga zone] // Bull. of St.Petersburg Univ. Series 3. 2010. Issue 2. P. 114-127.