

Тяжёлые металлы в системе почва–растение в биогеоценозах Большеземельской тундры

© 2019. Г. Я. Елькина, д. с.-х. н., с. н. с., С. В. Денева, к. б. н., н. с.,
Е. М. Лаптева, к. б. н., доцент, врио зав. отделом почвоведения,
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, ГСП-2, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,
e-mail: elkina@ib.komisc.ru

Содержание тяжёлых металлов (ТМ) во мхах, преобладающих в биогеоценозах Большеземельской тундры (Воркутинский район), представлено рядом $Zn > Ni > Cu > Pb > Co > Cd$, в лишайниках – $Zn > Pb > Ni > Cu > Co > Cd$. Доминирование мхов способствует замедленному кругообороту элементов и длительной их консервации в мортмассе. В большей степени ТМ аккумулируются в хорошо разложённых растительных остатках (в органических горизонтах тундровых почв). Аккумуляция Zn и Cd в споровых растениях определяется уровнем атмосферного загрязнения. Ранжирование ТМ в почве под разными растительными группировками в основном совпадает с их распределением в доминантных видах растений. Различия в распределении ТМ по профилю почвы связаны с физико-химическими особенностями элементов, со спецификой окислительно-восстановительного режима почв, обусловленного наличием мерзлоты и явлениями криотурбации, а также зависят от состава растительных сообществ. Валовые формы большинства ТМ аккумулируются в верхней части почвенного профиля. Приведено содержание ТМ в растениях, запасы их в растительном органическом веществе.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, биогеохимический круговорот, Большеземельская тундра, биогеоценоз, биомасса.

Heavy metals in soil–plant system in biogeocenoses of the Bolshezemelskaya Tundra

© 2019. G. Ya. El'kina ORCID: 0000-0001-7511-9290, S. V. Deneva ORCID: 0000-0002-1813-7799,
E. M. Lapteva ORCID: 0000-0002-9396-7979,
Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Branch of RAS,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
e-mail: elkina@ib.komisc.ru

Biological cycle, content, and stocks of heavy metals in plant organic matter are an interesting study topic for both ecological description of biogeocenoses and ecological monitoring. The biocenosis includes three plant communities as dwarf shrub-mossy (65.6), dwarf shrub-lichen-mossy (17.9), and dwarf shrub-lichen (16.5% of total area) communities. Soils are Histic Turbic Cryosols under dwarf shrub-mossy community and Histic Cryosols under lichens. Weight fraction of elements in samples was measured by the method of atomic-emission spectrometry with inductively coupled plasma SPECTROARCOS. Soil samples for total ratio of elements were treated by the microwave frequency mineralizer Minotavr 2 (Russia, Lumex Ltd). Mobile forms were carried out of soil samples with the help of 1N ammonium acetate buffer solution (AAB) with pH 4.8 for exchange forms, and an outflow in acid digest (1M HCl extract) for acid-soluble forms. Heavy metals in plants were assessed after they had been decomposed using nitric acid-hydrogen peroxide mixture in the microwave frequency mineralizer Minotavr 1 for the method of spectrometry with inductively coupled plasma (PND F 16.1:2.3:3.11-98).

Copper and zinc have a high, cadmium – mean, and cobalt, nickel, lead – low frequency rate of biological cycle. Frequency rate of cycle for the majority of elements in lichen communities is high in contrast to leafy moss communities. Mosses slow down cycle of elements and hold them in dead material for long time. Composition of elements in soils under communities normally is the same as that in plants. Organic soil horizon of tundra biocenoses should be considered as a surface soil-geochemical barrier with a slow elemental cycle. Mineral soil part has high concentrations of zinc and low – of cadmium. Besides, concentrations of copper, zinc, nickel, and cadmium is similar to worldwide mean values but concentrations of cobalt and lead slightly exceed them. Differences in profile distribution of elements relate to physical-chemical properties of elements, complex redox conditions of soils due to permafrost and cryoturbation processes. Also, they depend on composition of plant communities.

Keywords: heavy metals, biogeochemical cycle, Bolshezemelskaya Tundra, biogeocenosis, biomass.

Воркутинский район Республики Коми входит в состав арктической зоны Российской Федерации. Здесь представлены ландшафты с кислым глеевым классом миграции [1] и массивно-островным [2] характером залегания многолетнемерзлых пород. До настоящего времени изучению взаимосвязей между содержанием тяжёлых металлов (ТМ) в системе «почва–растение» Большеземельской тундры (БЗТ) уделялось недостаточно внимания [3, 4], сведения о содержании некоторых из микроэлементов на данный момент отсутствуют. Выявление же закономерностей в распределении ТМ в такой системе актуально как для характеристики геохимических особенностей тундровых биогеоценозов, так и для проведения экологического мониторинга, особенно в связи с промышленным освоением арктических территорий и наблюдаемыми изменениями климата.

Цель работы – оценка запасов и особенностей аккумуляции в составе растительных сообществ и почвах типичных ландшафтов Большеземельской тундры микроэлементов (цинк, медь, кобальт), жизненная необходимость которых для растений установлена, и элементов (никель, свинец и кадмий), роль которых в растениях до конца не ясна, выявление параметров их биологического круговорота.

Объекты и методы исследований

Район исследования (67°35,4' с. ш., 64°09,9' в. д., абсолютная высота 150 м над ур. м.) приурочен к окрестностям г. Воркута, где на водоразделах распространены характерные для юго-востока БЗТ гряды-мусюры. Исследования проводили в пределах склона мусюра юго-юго-западной экспозиции с небольшим (около 3°) уклоном. Растительный покров участка образуют три группы сообществ – кустарничково-лишайниковое (КЛ), кустарничково-лишайниково-моховое (КЛМ) и кустарничково-моховое (КМ). Из кустарников встречаются *Salix phylicifolia* и *Betula nana*, кустарничков – *Vaccinium uliginosum* и *V. vitis-idaea*. Травянистая растительность, в основном, представлена *Carex globularis* и *Festuca ovina*. В напочвенном покрове преобладают гипновые зелёные мхи (*Hylocomium splendens*). Пятнами встречаются лишайники (*Cetraria islandica* и *C. nivalis*, а также *C. cuculata*, *Cladonia randiferina*, *Cladonia gracilis*).

Почвенный покров – комплексный, представлен сочетанием глеезёмов криотурбиро-

ванных (Histic Turbic Cryosol) и торфяно-глеезёмов (Histic Cryosol Reductaquic). Глеезёмы криотурбированные формируются под КЛ и КЛМ сообществами, мощность их органогенного горизонта – до 5 см, сезонно-талого слоя (СТС) – 0,9 м. Спецификой минеральной части профиля в условиях преобладания восстановительной обстановки являются: тиксотропия, оглеение; максимальная выраженность криотурбаций, наряду с которыми имеют место перераспределение, сортировка компонентов и криокоагуляционная агрегация органического вещества на границе органогенных горизонтов с минеральной толщей. Торфяно-глеезёмы развиты под КМ сообществами. Их профиль отличается более активным торфонакоплением (мощность органогенного горизонта достигает 15–24 см), наличием близко залегающей мерзлоты (мощность СТС не превышает 0,6–0,7 м), более интенсивным оглеением и тиксотропностью минеральных горизонтов.

Структуру и запасы фито- и мортмассы оценивали в соответствии с методическими указаниями [5]. Мортмасса (отмершие растительные остатки разной степени разложения) формирует органогенный горизонт почв биогеоценозов. В пределах мортмассы выделены слои с разной степенью деструкции: слабо, средне и хорошо разложившиеся.

Для определения мозаичности растительных сообществ и вклада различных групп сообществ в запасы фитомассы закладывали трансекту (10 м²) с выделением пробных площадок для учёта биомассы (2 м²). Расчёт запасов ТМ в растительном органическом веществе производили путём умножения массы структурных компонентов на единице площади на содержание в них того или иного элемента.

Образцы почв для физико-химических исследований отбирали под разными растительными группировками. Массовую долю ТМ в пробах измеряли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой SPECTROARCOS. Разложение проб почв для определения валового содержания ТМ проводили методом микроволнового вскрытия с использованием СВЧ-минерализатора «Минотавр-2» (Россия, ООО «Льюмэкс»). Подвижные формы ТМ экстрагировали раствором 1н HCl и ацетатно-аммонийным буферным раствором (ААБ) с pH 4,8 ед. Определение ТМ в растениях осуществляли после разложения смесью азотной кислоты и перекиси водорода на СВЧ-минерализаторе «Минотавр-1» мето-

дом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ПНД Ф 16.1:2.3: 3.11-98).

Названия почв даны в соответствии с классификацией и диагностикой почв России [6] и системой мировой базы почвенных ресурсов [7].

Результаты и обсуждение

Аккумуляция минеральных элементов в биоценозах в значительной мере определяется величиной сформировавшейся биомассы и скоростью биологического круговорота [8]. Максимальные запасы фитомассы (29,0 т/га) сосредоточены в КМ сообществе. На 57,3% они представлены мхами. Доминирование мхов ведёт к замедленному биологическому круговороту: мортмасса (103,1 т/га) значительно превышает массу живых растений. Минимальный запас фитомассы (15,7 т/га) формируется в КЛ биоценозе, доля лишайников в нем составляет 76,1%. Запас мортмассы в сообществе с лишайниками также не высок – 28,3 т/га.

В растениях тундровых сообществ наиболее велико содержание цинка, менее всего кадмия (табл. 1). В большей степени цинк на-

капливается в кустарниках, особенно *S. phylicifolia*, минимальные количества его, а также Cu характерны для лишайников. Максимум содержания Cu приходится на побеги *Vaccinium uliginosum*. Свинец и никель в большем количестве содержатся в споровых растениях. Максимальное количество Cd приходится на побеги и листья *Salix phylicifolia* (1,3–2,2 мг/кг). Травянистые растения характеризуются очень низким содержанием кадмия. Поскольку корни сдерживают поступление токсичных элементов в растения, содержание элементов в корнях трав выше. Наиболее значительная разница между содержанием ТМ в корнях и надземной массе характерна для меди и свинца.

Преобладающие в биоценозах мхи и лишайники в большей мере содержат Zn, следом идут Cu, Ni, меньше всего в них содержится Cd. При этом цинком и кадмием более богаты листовые мхи, а свинцом – лишайники. Содержание большинства ТМ в лишайниках укладывается в рамки среднемировых значений, количество свинца во мхах, лишайниках и травах, как и кадмия в лишайниках, ниже фоновых значений для европейской территории России [9].

Таблица 1 / Table 1
Содержание тяжёлых металлов в растениях тундровых биоценозов, мг/кг *
The content of heavy metals in plants of tundra biocenoses, mg/kg *

Растение, органы, состояние / Plant, parts of a plant, state	Cu	Pb	Cd	Zn	Ni	Co
Мох / Moss	6,3	3,6	0,47	64	6,5	1,4
Мох слабо разложившийся / Weakly decomposed moss tissues	13,0	10,0	1,10	96	6,9	3,2
Мох средне разложившийся / Medium decomposed moss tissues	16,7	15,0	1,20	95	20,5	5,0
Мох разложившийся / Decayed moss*	16,7	12,7	1,10	71	25,5	9,7
Лишайники / Lichen	4,7	5,2	0,34	23	4,8	1,1
Разложившиеся остатки лишайников Decomposed plant residues of lichens	21,0	16,0	1,40	90	22,5	6,3
Ива, побеги / <i>Salix phylicifolia</i> , shoot	5,2	0,9	2,20	350	3,4	0,6
Ива, листья / <i>S. phylicifolia</i> , leaves	4,0	1,1	1,30	190	3,2	1,1
Ива, корни / <i>S. phylicifolia</i> , roots	4,7	4,8	1,40	230	4,4	0,7
Берёза, побеги / <i>Betula nana</i> , shoot	6,6	1,6	0,23	250	2,8	0,4**
Берёза, листья / <i>B. nana</i> , leaves	4,7	1,4	0,06**	240	2,5	0,4**
Берёза, корни / <i>B. nana</i> , roots	5,4	1,5	0,56	170	2,9	0,4**
Кустарники, отмершие остатки / Shrub, dead residues	5,6	2,3	0,57	160	4,6	1,3
Брусника / <i>Vaccinium vitis-idaea</i>	4,6	0,8	0,40	39	1,6	0,3**
Голубика / <i>V. uliginosum</i>	25,0	1,5	0,52	68	2,2	0,2**
Травы, надземная часть / Grasses, aerial part	4,1	0,5	0,13	60	2,4	0,4**
Травы, корни / Grasses, roots	91,0	7,6	1,10	140	10,0	2,4
Травы, отмершие остатки / Grasses, dead residues	10,0	5,4	0,80	54	9,0	2,8

Примечание: * – относительная погрешность измерения ($\pm \%$): Zn – 20, Cu – 20, Ni – 35, Pb – 25, Cd – 50, Co – 40%; ** – содержание ниже чувствительности метода.

Note: * – relative measurement error ($\pm \%$): Zn – 20, Cu – 20, Ni – 35, Pb – 25, Cd – 50, Co – 40%; ** – the content is lower than the sensitivity of the method.

Таблица 2 / Table 2

Запасы тяжёлых металлов в растительном органическом веществе, кг/га
Stocks of heavy metals in plant organic matter, kg/ha

Биомасса / Biomass	Cu	Pb	Cd	Zn	Ni	Co
Кустарничково-моховое сообщество (65,6% от общей площади) Dwarf shrub-mossy plant community (65.6% from the total area)						
Живые растения / Living plants	0,51	0,11	0,019	3,42	0,19	0,04
Отмершие остатки / Dead residues	1,77	1,43	0,125	9,81	2,22	0,75
Общее содержание / Total content	2,28	1,55	0,144	13,23	2,41	0,79
Кустарничково-лишайниково-моховое сообщество (17,9% от общей площади) Dwarf shrub-lichen-mossy plant community (17.9% from the total area)						
Живые растения / Living plants	0,39	0,11	0,013	2,26	0,16	0,04
Отмершие остатки / Dead residues	1,35	1,14	0,106	5,99	1,78	0,57
Общее содержание / Total content	1,75	1,25	0,118	8,25	1,93	0,60
Кустарничково-лишайниковое сообщество (16,5% от общей площади) Dwarf shrub-lichen community (16.5% from the total area)						
Живые растения / Living plants	0,24	0,09	0,007	0,89	0,09	0,02
Отмершие остатки / Dead residues	0,63	0,46	0,042	2,70	0,67	0,19
Общее содержание / Total content	0,86	0,54	0,049	3,59	0,75	0,21
Тундровое растительное сообщество (в целом) / Tundra plant community (as a whole)						
Живые растения / Living plants	0,45	0,11	0,016	2,79	0,17	0,04
Отмершие остатки / Dead residues	1,51	1,22	0,108	7,95	1,88	0,62
Общее содержание / Total content	1,95	1,33	0,123	10,74	2,05	0,66

Расчёт запасов ТМ показал, что максимум их аккумуляции как в фитомассе, так и в мортмассе характеризуется КМ сообществом (табл. 2). Минимальными значениями отличается биоценоз с преобладанием лишайников. Последнее связано с небольшой биомассой и интенсивной её деструкцией в условиях лучшей теплообеспеченности.

Запасы ТМ в общей массе растительного органического вещества представлены рядом: $Zn > Ni > Cu > Pb > Co > Cd$, в живых растениях: $Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd$. Общей закономерностью для всех растительных группировок и в целом для тундрового сообщества является накопление ТМ в мортмассе (73–95%) по сравнению с фитомассой растений.

Скорость биологического кругооборота ТМ (отношение количества элементов в отмерших растительных остатках к количеству их в органах растений) в основном определяется потребностью растений. Наиболее интенсивный кругооборот характерен для меди (3,4), цинка (2,8), средний – для кадмия (6,8), низкий – для кобальта, никеля и свинца (17,5, 11,4, 11,2 соответственно). Скорость цикла большинства элементов в биоценозах с преобладанием лишайников выше, чем в сообществах с доминированием листостебельных мхов. Присутствие в напочвенном покрове

мхов при незначительном обилии травянистых растений способствует замедленному кругообороту элементов и длительной их консервации в мёртвом веществе.

Верхние органогенные горизонты (отмершие растительные остатки) почв исследуемых тундровых биогеоценозов играют роль окислительно-восстановительного геохимического барьера, в пределах которого происходит концентрация химических элементов. В органогенных горизонтах (табл. 1) содержание Zn, Cu и особенно Cd существенно выше, чем в минеральной толще (табл. 3), Co и Ni – меньше, по содержанию Pb – различий не установлено. В минеральной толще почв наиболее высоким содержанием отличается Zn, наименьшим – Cd (табл. 3). Количество Cu, Zn, Ni и Cd соизмеримо со среднемировыми показателями по почвам [10], Co и Pb – несколько превышает их. Содержание ТМ в минеральных горизонтах почв ниже показателей ПДК и ОДК.

По валовому содержанию в минеральных горизонтах торфяно-глеезёма ТМ можно расположить в следующий ряд: $Zn > Ni > Pb > Cu > Co > Cd$, глеезёма криотурбированного – $Zn > Ni > Pb > Co > Cu > Cd$ (табл. 3). Ранжирование элементов в почве под разными растительными группировками

МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

в основном совпадает с их распределением в доминантных видах растений (табл. 1, 3). Порядок элементов в глеевом горизонте Ghi, залегающем непосредственно под моховой подстилкой, почти аналогичен ряду элементов во мхах ($Zn > Ni > Cu > Pb > Co > Cd$). Для лишайников характерно более высокое по сравнению со мхами содержание свинца ($Zn > Pb > Ni > Cu > Co > Cd$), и в горизонте Ghi, расположенном под лишайниковой подстилкой, наблюдается тенденция к накоплению этого элемента. Большинство рассматриваемых ТМ аккумулируется в верхней части почвенных профилей до глубины 45–49 см (табл. 3). Наиболее значительна аккумуляция кадмия, особенно в почве под КМ сообществом. Его количество в горизонтах Ghi и G в 1,4–1,6 раза выше, чем в нижележащем горизонте CR. По другим элементам различия составляют в основном 1,1–1,2 раза.

Наиболее высоким содержанием подвижных (извлекаемых 1н HCl) форм Cu, Zn и Ni отличается горизонт Ghi, а Pb и Co –

нижняя часть профиля торфяно-глеезёма. Верхние минеральные горизонты почвы под лишайниковыми сообществами (КЛ), также как и сами лишайники, содержат меньше подвижных форм Zn, Ni и Cu. Горизонт Ghi глеезёма криотурбированного обогащён кобальтом. Распределение соединений, экстрагируемых ААБ в основном аналогично распределению форм, вытесняемых 1н HCl.

Наиболее высокой подвижностью в почвах отличаются Cu и Pb, 1н раствор HCl извлекает соответственно 30–35 и 28–34% от их валового содержания. Подвижность остальных элементов составляет 15–25%. В ААБ переходит 5–7% от валового содержания. Причины различий в профильном распределении ТМ, их подвижности заключаются в физико-химических особенностях элементов, сложных окислительно-восстановительных условиях почв, связанных с мерзлотой и явлениями криотурбации, а также в составе растительных сообществ.

Для оценки поглощения элементов сосудистыми растениями используется коэффи-

Таблица 3 / Table 3

Содержание ТМ в минеральной части почвы под разными биоценозами, мг/кг
The content of HM in the mineral part of the soil under different biocenoses, mg/kg

Горизонт, глубина (см) Horizon, depth (cm)	Форма Forms	Zn	Ni	Cu	Pb	Co	Cd
Торфяно-глеезём (кустарничково-моховое сообщество) Histic Turbic Cryosols (dwarf shrub-mossy plant community)							
Ghi, 19–31	Валовое / Total	44	31	14,4	14	10	0,35
	ААБ / ААБ	< 2,5	1,7	0,75	0,79	< 0,1	< 0,1
	1N HCl	8,9	6,6	4,5	4,2	2,2	< 0,1
G, 31–45	Валовое / Total	45	33	14,3	14	12	0,31
	ААБ / ААБ	< 2,5	1,9	0,59	0,84	< 0,1	< 0,1
	1N HCl	8,4	6,7	4,3	4,4	2,3	< 0,1
CR, 69–89	Валовое / Total	39	25	10,4	14	11	0,22
	ААБ / ААБ	< 2,5	1,5	0,65	1,3	0,50	< 0,1
	1N HCl	7,1	3,6	3,7	4,7	2,7	< 0,1
Глеезём криотурбированный (кустарничково-лишайниковое сообщество) Histic Cryosols (dwarf shrub-lichen-mossy plant community)							
Ghi, 5–19	Валовое / Total	39	29	10,7	15	13	0,32
	ААБ / ААБ	6,9	1,5	0,56	0,72	0,50	< 0,1
	1N HCl	5,8	4,8	3,2	4,3	3,3	< 0,1
G@, 19–49	Валовое / Total	41	27	11,5	15	11	0,27
	ААБ / ААБ	< 2,5	2,0	0,74	1,1	0,34	< 0,1
	1N HCl	7,0	4,3	3,7	4,2	2,2	< 0,1
Среднемировое [12] Worldwide average [12]	Валовое / Total	50	40	20	10	10	0,5
Кларки элементов Clarks of elements	Валовое / Total	83	58	47	16	18	0,13

циент накопления (КН) – соотношение между содержанием элемента в растениях и почве. С учётом разной стратегии поглощения элементов споровыми и сосудистыми растениями этот показатель в отношении мхов и лишайников является условным. Не имея корневой системы, они поглощают воду с растворёнными в ней минеральными веществами всей поверхностью, используя при этом элементы, как из подстилающего субстрата, так и из атмосферных осадков [11]. По КН элементы во мхах образуют следующий ряд: $Zn > Cd > Cu > Ni > Pb > Co$, в лишайниках – $Cd > Zn > Cu > Ni > Pb > Co$. Содержание цинка в вегетирующей части мхов превышает его количество в почве в 1,44, кадмия – в 1,34 раза, что свидетельствует о преобладающем атмосферном поступлении этих элементов.

Заключение

Тяжёлые металлы по запасам в мортмассе тундровых фитоценозов представлены рядом: $Zn > Ni > Cu > Pb > Co > Cd$, в живых растениях: $Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd$. Доминирование мхов способствует замедленному кругообороту элементов и длительной консервации их в органогенных горизонтах, выступающих в качестве почвенно-геохимического барьера с замедленным круговоротом элементов. Ранжирование ТМ в почвах под различными растительными сообществами в основном совпадает с их распределением в доминантных видах растений. В минеральной толще почв, также как и в преобладающих растениях, отмечено наиболее высокое содержание цинка, наименьшее – кадмия. Кумулятивная способность споровых растений может быть использована для экологической экспертизы при оценке загрязнения ландшафтов арктической зоны ТМ и проведения мониторинга.

Исследования выполнены в рамках темы государственного задания ИБ Коми НЦ УрО РАН «Выявление общих закономерностей формирования и функционирования торфяных почв на территории Арктического и Субарктического секторов Европейского Северо-Востока России (Гр.: АААА-А17-117122290011-5)».

Литература

1. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрейя, 2000, 1999. 768 с.
2. Oberman N.G., Mazhitova G.G. Permafrost mapping of Northeast European Russia based on the period

of climatic warming 1970–1995 // Norsk Geografisk Tidsskrift. Norwegian Journal of Geography. 2003. V. 57. No. 2. P. 111–120.

3. Patova E.N., Kulyugina E.E., Deneva S.V. Processes of natural soil and vegetation recovery on a worked-out open pit coal mine (Bol'shezemel'skaya tundra) // Russian Journal of Ecology. 2016. V. 47. No. 3. P. 228–233.

4. Хабибуллина Ф.М., Кузнецова Е.Г., Панюков А.Н. Трансформация растительности, почв и почвенной микробиоты в зоне воздействия породных отвалов угольной шахты «Воркутинская» // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 4. С. 30–37.

5. Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1967. 143 с.

6. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

7. IUSS Working Group WRB World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 2014. 181 p.

8. Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М.-Л.: Наука, 1965. 254 с.

9. Обзор фонового состояния окружающей природной среды в СССР за 1985 год / Под ред. В.Н. Силкина. Обнинск: Московское отделение Гидрометеоназдата, 1986. 201 с.

10. Чертко Н.К., Чертко Э.Н. Геохимия и экология химических элементов: Справочное пособие. Мн.: Издательский центр БГУ, 2008. 140 с.

11. Bargagli R. Trace elements in terrestrial plants: an ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery. Imprint: Berlin; New York: Springer, 1998. 324 p.

References

1. Perelman A.I., Kasimov N.S. Landscape geochemistry. Moskva: Astreya, 2000, 1999. 768 p. (in Russian).
2. Oberman N.G., Mazhitova G.G. Permafrost mapping of Northeast European Russia based on the period of climatic warming 1970–1995 // Norsk Geografisk Tidsskrift. Norwegian Journal of Geography. 2003. V. 57. No. 2. P. 111–120. doi: 10.1080/00291950310001513
3. Patova E.N., Kulyugina E.E., Deneva S.V. Processes of natural soil and vegetation recovery on a worked-out open pit coal mine (Bol'shezemel'skaya tundra) // Russian Journal of Ecology. 2016. V. 47. No. 3. P. 228–233. doi: 10.1134/S1067413616020419
4. Khabibullina F.M., Kuznetsova E.G., Panyukov A.N. Transformation of vegetation, soils, and soil microbiota in the impact zone of the coal mine “Vorkutinskaya” // Theoretical and Applied Ecology. 2015. No. 4. P. 30–37 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2015-4-030-037
5. Rodin L.E., Remezov N.P., Bazilevich N.I. Recommended study practices on dynamics and biological

turnover in phytocenoses. Leningrad: Nauka, 1967. 143 p. (in Russian).

6. Field guide for Russian soils. Moskva: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2008. 182 p. (in Russian).

7. IUSS Working Group WRB World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 2014. 181 p.

8. Rodin L.E., Bazilevich N.I. Organic matter dynamics and biological turnover of ash elements and

nitrogen in the main types of the world vegetation. Moskva-Leningrad: Nauka, 1965. 254 p. (in Russian).

9. Summary on background environmental conditions in the USSR for 1985 / V.N. Silkin. Obninsk: Moskovskoe otделение Gidrometeoizdata, 1986. 201 p. (in Russian).

10. Chertko N.K., Chertko E.N. Geochemistry and ecology of chemical elements: Resource Book. Minsk: Izdatelskiy tsentr BGU, 2008. 140 p. (in Russian).

11. Bargagli R. Trace elements in terrestrial plants: an ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery. Imprint: Berlin; New York: Springer, 1998. 324 p.