

УДК 550.424:502.521 (470.22)

ВЛИЯНИЕ ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ОНЕЖСКОЙ СТРУКТУРЫ НА ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ ЗАОНЕЖЬЯ

Д. С. Рыбаков

Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

Приводятся результаты сравнительного исследования почв, развитых на палеопротерозойских породах, преимущественно шунгитовых сланцах, и на шунгитовой морене в лесных и луговых ландшафтах Заонежья. Сравнение проведено по геохимическим спектрам и ранжированным геохимическим рядам различных горизонтов изученных почв и широко представленных в районе пород заонежской свиты людиковийского надгоризонта палеопротерозоя. Нормирование элементного состава осуществлено по кларкам в земной коре и заимствованному из интернет-ресурса среднегеометрическому (фоновому) содержанию элементов в породах заонежской свиты. Последние имеют неординарную геохимическую специализацию (As, Mo, Y, Li, Sc, Be, V, Ba, Cu, Zn и т. д.). В почвах повсеместно наблюдается высокое (выше кларка в земной коре) содержание As, реже – Ag, Zn, Cu, V и Mo. В несколько большей степени это характерно для дерновых почв, не имеющих горизонта лесной подстилки. В минеральных почвенных горизонтах по сравнению с породами накапливаются Nb, Ca, Na, Bi, Al, а в дерновом горизонте к этим элементам добавляются также Ag и Mg. Лесная подстилка аккумулирует Mn, содержание других элементов в ней чаще всего оказывается ниже, чем в гумусово-аккумулятивных горизонтах. Кларки концентрации химических элементов в почвах сближены (выровнены) по сравнению с породами из-за различий в миграционной способности элементов и особенностей участия последних в биогеохимическом круговороте. При этом особенно велики различия в содержании Mo, Be, Li, Y, Sc, As, Cu, Ba, V, Ni, определяющих специализацию «фоновых» пород.

Ключевые слова: заонежская свита; почвы; дерновый горизонт; лесные подстилки; кларки концентрации; геохимические спектры; ранжированные геохимические ряды.

D. S. Rybakov. THE INFLUENCE OF PALEOPROTEROZOIC FORMATIONS OF THE ONEGA STRUCTURE ON GEOCHEMICAL FEATURES OF ZAONEZHYE SOILS

The article presents the results of a comparative study of soils developed on Paleoproterozoic rocks, mainly shungite shales, and on the shungite moraine in forest and meadow landscapes of the Zaonezhye region. The comparison was made on the basis of geochemical spectra and ranked geochemical series of different horizons of the studied soils and rocks of the Zaonega Formation of the Ludicovian Superhorizon of the Paleoproterozoic, which are widely represented in the area. The elemental composition was normalized based on clarkes in the earth's crust and the geometric means (background) content of elements in rocks of the Zaonega Formation taken from

the Internet. The rocks have an unusual geochemical specialization (As, Mo, Y, Li, Sc, Be, V, Ba, Cu, Zn, etc.). The content of As, less often Ag, Zn, Cu, V and Mo in the soils is high (above clarkes in the earth's crust) throughout the area. This is somewhat more characteristic of sod soils without the forest floor horizon. Nb, Ca, Na, Bi, Al are accumulated in mineral soil horizons compared to rocks, Ag and Mg are also added to these elements in the sod horizon. The forest floor accumulates Mn, the content of other elements in it is usually lower than in humus-accumulating horizons. Clarke concentrations of chemical elements in soils are more closely aligned with those in rocks due to differences in the migration ability of elements and the way they are involved in biogeochemical cycles. At the same time, differences in the content of Mo, Be, Li, Y, Sc, As, Cu, Ba, V, Ni, which determine the specialization of the "background" rocks, are particularly high.

Key words: Zaonega Formation; soils; sod horizon; forest floors; clarkes of concentration; geochemical spectra; ranked geochemical series.

Введение

Ландшафтно-геохимические обстановки определяются многими факторами, среди которых базовую позицию занимают горные породы. Выходя к поверхности земли, они под воздействием различных процессов становятся поставщиками химических элементов в почву при ее формировании, а также в другие геокомпоненты (донные осадки, поверхностные и подземные воды, растительность и т. д.). В результате в геосистемах отображается целый спектр взаимодействий между геосферами, абиотическими и биотическими геокомпонентами.

Согласно основному геохимическому закону В. М. Гольдшмидта в уточненной формулировке А. И. Перельмана [1989], «геохимия элемента в земной коре определяется как его химическими свойствами, так и величиной кларка». С другой стороны, одни и те же элементы, находящиеся в системе в разных формах (в том числе в различных по устойчивости к выветриванию минералах), при одинаковых параметрах среды миграции обладают разной миграционной способностью [Перельман, 1989].

Заонежский полуостров – уникальная территория в северной части Онежского озера. В геологическом строении Заонежья принимают участие осадочные и магматические породы палеопротерозойского возраста: ятулия, людиковия и калевия (рис. 1). В юго-восточной и восточной частях рассматриваемой в работе территории полуострова залегают карбонатные и вулканогенные породы ятулия. Наиболее широко в районе развиты людиковийские образования (традиционно разделяются на две свиты): 1) шунгитовые и карбонатные породы – заонежская свита, 2) вулканогенные и интрузивные базиты (базальты, долериты, габброиды) – суйсарская свита. В западной части изучаемой территории Заонежья представлены

осадочные образования калевия [Онежская..., 2011; Куликов и др., 2017].

Количество исследуемых химических элементов в тех или иных природных объектах зависит от поставленных исследователем задач и развития приборной базы. Так, для почвообразующих пород Карелии приводятся данные лишь по отдельным элементам [Тойкка и др., 1973]. В том числе для богатых микроэлементами почвообразующих шунгитов установлено следующее содержание (мг/кг): Cu – 93,7; Zn – 47,6; Mn – 1450,8; Co – 15,5; Mo – 4,17; B – 12,3. Карбонатные породы содержат (мг/кг): Cu – 23; Zn – 137; Mn – 1040; Cr – 56; V – 75; Co – 7; Ni – 43 [Онежская..., 2011].

Более широкий спектр элементов изучен при установлении геохимической и металлогенической специализации геологических формаций Онежского рудного района и связанного с ней загрязнения компонентов геологической среды [Кушнеренко и др., 2001]. Самыми специализированными являются палеопротерозойские породы углеродисто-туфоогенно-кремнисто-карбонатной формации с прослоями шунгитсодержащих черных сланцев (заонежская свита). В этих породах отмечено высокое или повышенное содержание следующих элементов (здесь и далее нижний индекс – число раз превышения кларка): Mo₁₂₀, As₁₀₂, U₁₂, V₈, Ag₇, Zn₃, Ni₃, Cu₃, Pb₃, Co₂. В результате наложения эпигенетических и собственно рудных процессов в пределах рудных узлов и отдельных обнаруженных в районе месторождений спектр элементов, в том числе токсичных, расширяется (Bi, Se, U, Mo, V, Pb, Cd, W, Cr, Sn, Cu, As, Li, Zn, Ce, Be, F, возможно Th, Co, Ba, Sr, Tl), а их содержание значительно возрастает. Специализацию пород габбро-долеритовой формации (силлы долеритов) людиковия, которые могут насыщать осадочный разрез в объеме до 30 %, определяют следующие элементы: Cu_{4,6}, V_{2,6}, Mn_{2,2}, Co_{1,9}, Zn_{1,8}, Ti_{1,7} [Кушнеренко и др., 2001].

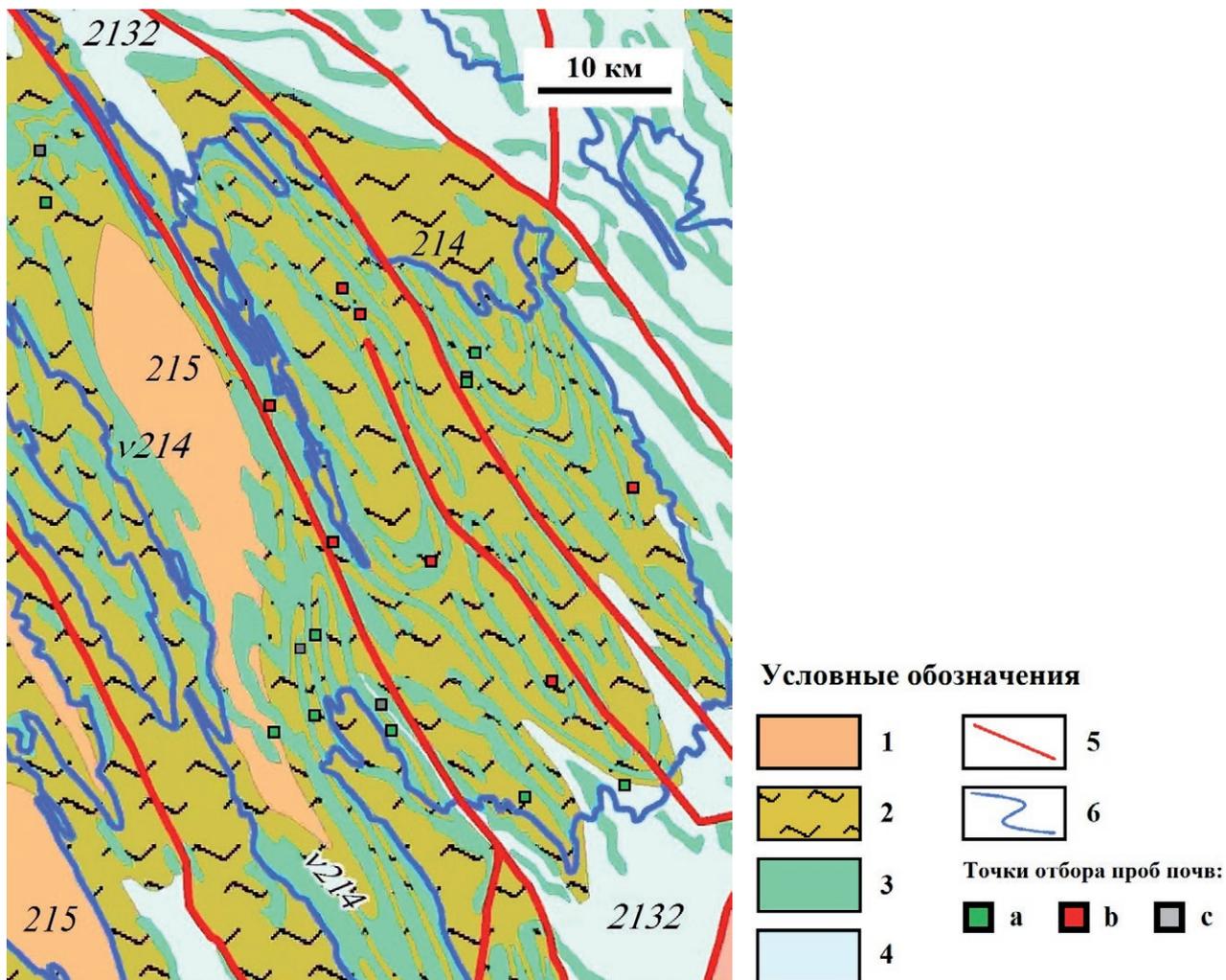


Рис. 1. Фрагмент обзорной геологической карты Юго-Восточной Фенноскандии масштаба 1:750 000 [по: Куликов и др., 2017, с упрощениями]:

1–4 – образования Онежской структуры (палеопротерозой): 1 – калевий: аргиллиты, алевролиты, кварцито-песчаники, конгломераты (215); 2, 3 – людиковий: 2 – высокоуглеродистые породы (шунгиты), аргиллиты, алевролиты, доломиты, базальты (2144), 3 – силлы долеритов, габброиды (v214); 4 – ятулий: доломиты, гипсы, соли, ангидрит-магнезитовые породы, алевролиты, базальты, долериты (2132) (онежская серия); 5 – разломы; 6 – контур Онежского озера.

Точки отбора проб: а, b – шунгитовые почвы: а – с горизонтом лесной подстилки; b – без горизонта лесной подстилки; с – перегнойно-глеевые почвы

Fig. 1. A fragment of the overview geological map of South-Eastern Fennoscandia in scale 1:750,000 [by: Kulikov et al., 2017, with simplifications]:

1–4 – formations of the Onega Paleoproterozoic structure: 1 – Kalevian superhorizon: mudstones, siltstones, quartzitesandstones, conglomerates (215); Ludikovian superhorizon: 2 – high-carbon rocks (shungites), mudstones, siltstones, dolomites, basalts, dolerites (214) (Zaonega Formation), 3 – dolerite sills and gabbroids (v214); 4 – Jatulian superhorizon: dolomites, gypsum, salts, anhydrite-magnesite rocks, siltstones, basalts, dolerites (2132) (Onega series); 5 – faults; 6 – contour of Lake Onega.

Sampling points: a, b – shungite soils: a – with the forest floor horizon; b – without the forest floor horizon; c – humus-gley soils

Геохимическое картирование [Томила и др., 2004] позволило обобщить имеющиеся данные по геохимической специализации геологических формаций северной части европейской территории России, в том числе в Заонежье, определить в них фоновое содержание многих химических элементов. К настоящему времени геохимически наиболее полно изучены широко представленные в Онежской структуре

породы заонежской свиты. Кроме того, содержание все большего числа элементов определяется в породах основного состава (табл. 1).

Четвертичные породы наследуют элементы из коренных пород, однако, как указывается [Кушнеренко и др., 2001], общий уровень природного загрязнения четвертичных отложений значительно ниже по сравнению с докембрийскими образованиями. При этом элемента-

Таблица 1. Фоновое содержание химических элементов, г/т

Table 1. Background content of chemical elements, g/t

	As	Mo	Y	Li	Sc	Be	V	Ba	Cu	Zn	Cr	Ni	Sr	Co	Mn
1	164	30	238	380	105	37	425	3062	143	227	174	121	630	28	1108
2	-	-	38	-	-	-	273	156	288	132	25	27	103	43	2026
3	1,7	1,1	20	32	10	3,8	90	650	47	83	83	58	340	18	1000
	Ag	Pb	Ti	Ga	U	Fe	K	Zr	Al	Na	Mg	Th	Ca	Nb	Bi
1	0,07	14	3842	16	2	33412	10718	71	30625	8767	5403	3	3627	2	0,02
2	-	2,6	13471	-	0,36	144497	7269	162	63112	14132	27662	2	61724	9,2	-
3	0,07	16	4500	19	2,5	46500	25000	170	80500	25000	18700	13	29600	20	0,23*

Примечание. 1 – туфогенно-осадочные породы заонежской свиты (n = 380) [Томила и др., 2004], 2 – долериты лудиковия (n = 13), расчет по данным: [Степанова и др., 2014], 3 – кларки по А. П. Виноградову [1962]. *Для Bi кларк приведен по Z. Hu и S. Gao [2008] согласно рекомендациям Н. С. Касимова и Д. В. Власова [2015]. Проверка – данные отсутствуют.

Note. 1 – sedimentary rocks of the Zaonega Formation (n = 380) [Tomilina et al., 2004], 2 – Ludicovian dolerites (n = 13), calculation based on the data from [Stepanova et al., 2014], 3 – clarkes according to A. P. Vinogradov [1962]. *Clarke of Bi is given after Z. Hu and S. Gao [2008] according to the recommendations of N. S. Kasimov and D. V. Vlasov [2015]. Dash – data is not provided.

ми-токсикантами в первых являются Cu, Co, Mn, Mo, U, реже V, Ni, Zn, Pb, As, Bi, а наибольшим загрязнением характеризуются болотные отложения.

На распространенных в Заонежье шунгитах и основных породах формируются азональные дерновые и дерновые оподзоленные шунгитовые почвы [Тойка и др., 1973]. В другой интерпретации [Морозова, 1991] почвы на шунгитах отнесены к буроземам темноцветным. Согласно современной классификации [Классификация..., 2004], они могут быть причислены к буроземам темным, дерновым почвам, а в случае неполного профиля – к литоземам [Федорец, Бахмет, 2013].

Почвы района отличаются хорошей обеспеченностью многими важными для биоты микроэлементами (Mo, B, Cu, Zn, Co, Mn) [Тойка и др., 1973]. Вместе с тем содержание химических элементов в них часто оказывается значительным, в том числе достигает максимального превышения кларков от 20 (Cu) до 2 (Ba) раз. В связи с этим в почвах Заонежья определен [Кушнеренко и др., 2001] ряд основных элементов-токсикантов, включающий: Cu = Cd > As = Zn > Mo > Pb > Li > U > Co > Ni > Mn > V > Th > Sr > Ba.

Предыдущими исследованиями [Рыбаков, 2004] для почв Заонежья установлена положительная статистическая связь между содержанием Ca и величиной pH. В результате в районе выявлены не только ландшафты кислого и кислого глеевого классов миграции химических элементов в почвенных водах, но и переходного от кислого к кальциевому классу [Рыбаков, 2005a]. Наличие последних обусловлено влиянием распространенных в районе основных и карбонатных пород, а также обломков этих пород в почвах. Особенности накопления и рас-

пределения по профилю генетически различных почв Заонежья V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Mo и Pb рассмотрены Н. Г. Федорец с соавт. [2005].

О. Н. Бахмет и Н. Г. Федорец [2013] отмечено, что несмотря на высокую щебнистость и хорошую водопроницаемость почв, развитых на шунгитсодержащих породах, слабая подвижность органоминеральных комплексов ведет к формированию в этих почвах текстурно недифференцированного профиля, где процессы трансформации органического вещества и минеральной массы протекают на месте без миграции веществ за пределы почвенной толщи.

Вместе с тем не все геохимические особенности почв Заонежья, включая оценку соотношений содержания химических элементов в почвах и горных породах, выяснены до конца. В связи с этим целью настоящей работы является сравнение элементных составов почв и горных пород изучаемого района, определение черт сходства и различия в накоплении элементов в почвенных горизонтах, в том числе гумусовом, дерновом и лесной подстилке.

Материалы и методы

В качестве материала для исследования использовали пробы, отобранные из верхней части заложенных нами профилей почв, сформированных на шунгитовых сланцах и шунгитовой морене (рис. 1). Работы по отбору образцов проводили в 2001 г. в рамках комплексного изучения территории Заонежского полуострова совместно с сотрудниками лаборатории лесного почвоведения Института леса Карельского научного центра РАН под руководством Н. Г. Федорец. Пробоподготовка и часть почвенных анализов выполнены сотрудниками лаборатории лесного почвоведения ИЛ КарНЦ РАН.

Сравнивали элементные составы горизонтов почв лесных (буроземы темные) и луговых (дерновые) ландшафтов. Для первых характерно наличие лесной подстилки, для вторых – присутствие верхнего дернового горизонта. Материал верхних и нижележащего гумусово-аккумулятивного горизонтов анализировали методом ICP-MS. Для расчетов и графических построений использовали анализы 32 проб из 16 почвенных профилей. В выборки не включали данные по перегнойно-глеевым почвам, залегающим в понижениях рельефа. В некоторых из этих почв установлено относительно низкое содержание Bi, Na, K, Al, Ti, Li, Be, Ga, Zr, Nb, Ag, V, Ba, Sr, Sc, в других при определяющей роли Fe, присутствующего в количестве до 10,5 мас. %, резко повышено содержание Mn, Cd, Zn, Co, Bi, повышено – Ag, V, Cu, Mo.

Для графического представления полученных результатов строили геохимические спектры горных пород и почв. Нормирование проводили по кларкам элементов в земной коре и фоновому содержанию химических элементов в наиболее распространенных в районе породах заонежской свиты (см. табл. 1). Для этого рассчитывали кларки концентрации (КК) как отношение среднего геометрического содержания элементов в почвах и породах к их кларкам в земной коре и коэффициенты ККп как отношение содержания элементов в почвах к их содержанию в породах. Поскольку для оценки фоновых характеристик пород использованы средние геометрические значения [Томила и др., 2004], такие же значения рассчитывали и применяли в ходе сопоставлений и для почв. Единичные определения некоторых элементов оказались ниже пределов обнаружения примененным для анализа методом. Поэтому при расчете средних в выборки включали значения, равные половине этих пределов. Из расчета исключили значения очень низкого содержания Си в пробах почвы одного из профилей бурозема оподзоленного, в том числе «трех-сигмовое» в гумусовом горизонте (0,2 мг/кг) и пониженное – в дерновом (3 мг/кг). Гипотезы о значимости различий дисперсий и средних нормально распределенных значений проверялась по критериям Фишера (F) и Стьюдента (t) соответственно.

Расчеты и графические построения проводили с использованием пакета «Анализ данных» программного продукта Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Полученные ранее данные (см. табл. 1) позволили разделить химические элементы в по-

родах сланцево-карбонатно-шунгит-туфового подкомплекса (заонежская свита) по среднему геометрическому значению кларков концентрации на *три группы* (рис. 2): As, Mo, Y, Li, Sc (КК > 10); Be, V, Ba, Cu, Zn, Cr, Ni, Sr, Co, Mn, Ag (10 > КК ≥ 1); Pb, Ti, Ga, U, Fe, K, Zr, Al, Na, Mg, Th, Ca, Nb, Bi (КК < 1). Для долеритов (см. выше) выделяется *две группы*: Cu, Fe, V, Ti, Co, Ca, Mn, Y, Zn, Mg (6 > КК > 1) и Zr, Al, Na, Ni, Nb, Cr, Sr, K, Ba, Pb, Th, U (КК < 1).

В табл. 2 приведено содержание 30 элементов в почвах исследованной территории Заонежского полуострова. На основе представленных в таблице данных построены геохимические спектры почвенных горизонтов (см. рис. 2 и 3).

Сравнение геохимических спектров показало снижение значений коэффициента аппроксимации в ряду осадочные горные породы → подподстилочный горизонт → лесная подстилка. Данные изменения контролируются общим сближением (выравниванием) значений кларков концентрации элементов в почвах относительно пород. В свою очередь, это связано с различиями в миграционной способности химических элементов в процессах почвообразования, в том числе при разрушении и преобразовании коренных углеродсодержащих пород, изначально удерживающих многие токсиканты за счет сорбции или в кристаллической решетке минералов. Среди последних, в частности, установлены пирит, пирротин, арсенопирит и другие сульфиды [Голубев, Новиков, 2005; Онежская..., 2011].

Влияние на элементный состав почв также могут оказывать долериты, распространенные в районе, в том числе в составе обломков в самих почвах. В среднем в долеритах больше, чем в осадочных породах, содержится (в число раз): Ca (17), Mg (5,1), Nb (4,6), Fe (4,3), Ti (3,5), Zr (2,3), Al (2,1), Cu (2,0), Mn (1,8), Na (1,6), Co (1,5), меньше присутствует (в число раз): Ba (20), Cr (6,9), Y (6,2), Sr (6,1), U (5,5), Pb (5,3), Ni (4,5), Zn (1,7), V (1,6), Th (1,5), K (1,5) (см. табл. 1). В случае близкого расположения коренных карбонатных пород, а также их обломков, почвы обогащаются Ca и Mg, меняют свои кислотно-основные свойства. В то же время Mg в самих почвах в большей степени коррелирует с Fe, а не с Ca, что связано с распределением элементов между органической и минеральной частями почвенных горизонтов разных по типу почв [Рыбаков, 2004].

Среднее геометрическое содержание в почвах с лесной подстилкой, значительно превышающее кларк, отмечено только для As (КК = 6,1 – подподстилочный горизонт и 4,2 –

Таблица 2. Содержание химических элементов в почвах Заонежья, мг/кг

Table 2. Content of chemical elements in soils of the Zaonezhye region, mg/kg

Горизонты почв Soil horizons	Статистические показатели Statistical indicators	As	Mo	Y	Li	Sc	Be	V	Ba	Cu	Zn
Почвы с горизонтом лесной подстилки Soils with the forest floor horizon											
A0	x_{cp}	7,22	0,303	2,96	3,50	2,13	0,191	20,5	194	10,5	70,6
	ε	2,00	1,64	1,79	2,03	1,75	1,69	1,57	1,47	2,22	2,16
A1 (A1A2)	x_{cp}	10,4	0,462	7,86	11,2	6,29	0,596	55,8	303	12,7	40,9
	ε	1,55	2,56	1,45	1,82	1,42	1,17	1,72	1,27	4,57	2,93
Почвы без лесной подстилки Soils without the forest floor											
Ad	x_{cp}	11,7	0,895	9,55	15,3	7,43	0,604	71,9	300,0	40,0*	75,4
	ε	1,60	2,94	1,55	1,620	1,55	1,16	1,92	1,23	2,08*	2,71
A1	x_{cp}	13,2	0,816	10,5	16,7	8,17	0,709	80,2	314,1	46,2*	66,3
	ε	1,50	3,46	1,52	1,50	1,54	1,16	1,81	1,28	2,03*	3,23
		Cr	Ni	Sr	Co	Mn	Ag	Pb	Ti	Ga	U
Почвы с горизонтом лесной подстилки Soils with the forest floor horizon											
A0	x_{cp}	30,7	11,8	52,7	3,90	933	0,086	11,4	668	1,66	0,241
	ε	1,55	1,59	1,56	1,57	1,98	7,89	1,62	1,81	1,69	1,69
A1 (A1A2)	x_{cp}	48,3	19,7	126	7,43	326	0,040	8,86	2114	5,34	0,588
	ε	1,42	1,96	1,40	1,93	1,76	5,31	1,30	1,39	1,22	1,50
Почвы без лесной подстилки Soils without the forest floor											
Ad	x_{cp}	66,1	24,3	101,7	9,5	575	0,136	12,0	2369	4,97	0,719
	ε	1,29	1,96	1,62	1,73	1,61	4,85	1,68	1,52	1,19	1,52
A1	x_{cp}	61,5	28,5	109,6	10,9	543	0,146	10,6	2637	5,43	0,768
	ε	1,30	2,00	1,53	1,93	1,61	5,79	1,46	1,48	1,14	1,57
		Fe	K	Zr	Al	Na	Mg	Th	Ca	Nb	Bi
Почвы с горизонтом лесной подстилки Soils with the forest floor horizon											
A0	x_{cp}	5817	3230	13,4	9169	3568	2381	0,849	8017	1,49	0,051
	ε	1,70	1,58	2,04	1,83	1,99	1,55	2,14	1,47	1,73	3,08
A1 (A1A2)	x_{cp}	15976	9344	43,6	33532	14060	4959	2,29	7800	4,45	0,027
	ε	1,57	1,30	1,45	1,25	1,48	1,85	1,43	1,27	1,41	3,06
Почвы без лесной подстилки Soils without the forest floor											
Ad	x_{cp}	20474	10655	45,9	34154	12565	6993	2,11	9224	5,53	0,030
	ε	1,46	1,24	1,28	1,16	1,44	1,68	1,32	1,43	1,40	2,84
A1	x_{cp}	22910	11248	47,2	37850	14231	7596	3,29	9805	5,85	0,029
	ε	1,49	1,27	1,29	1,14	1,41	1,60	2,14	1,35	1,43	2,87

Примечание. x_{cp} – среднее геометрическое значение, ε – стандартный множитель; A0 – лесная подстилка (n = 9), A1 (A1A2) – подподстилочный гумусовый горизонт, реже горизонт с признаками оподзоленности (n = 9), Ad – дерновый горизонт (n = 7, *n = 6), A1 – гумусовый горизонт (n = 7, *n = 6).

Note. x_{cp} – geometrical mean, ε – standard multiplier; A0 – forest floor (n = 9), A1 (A1A2) – humus horizon under the forest floor, less often a horizon with signs of podzol (n = 9), Ad – sod horizon (n = 7, *n = 6), A1 – humus horizon (n = 7, *n = 6).

лесная подстилка при фоновом значении в породах 96,5). В части проб выявлено накопление в лесной подстилке Ag, в результате чего кларк концентрации на рис. 2 немного превысил единицу (КК = 1,2), а в отдельных случаях достигал очень высоких значений (до 15,2–19,5). Сле-

дует отметить, что содержание Ag в шунгитах (полиметаллическая рудная формация с Pb, Zn, Ag и т. д.) может достигать 150 г/т [Кушнеренко и др., 2001].

Как показано ранее [Рыбаков, 2004, 2017], в почвах Заонежья содержание As тем меньше,

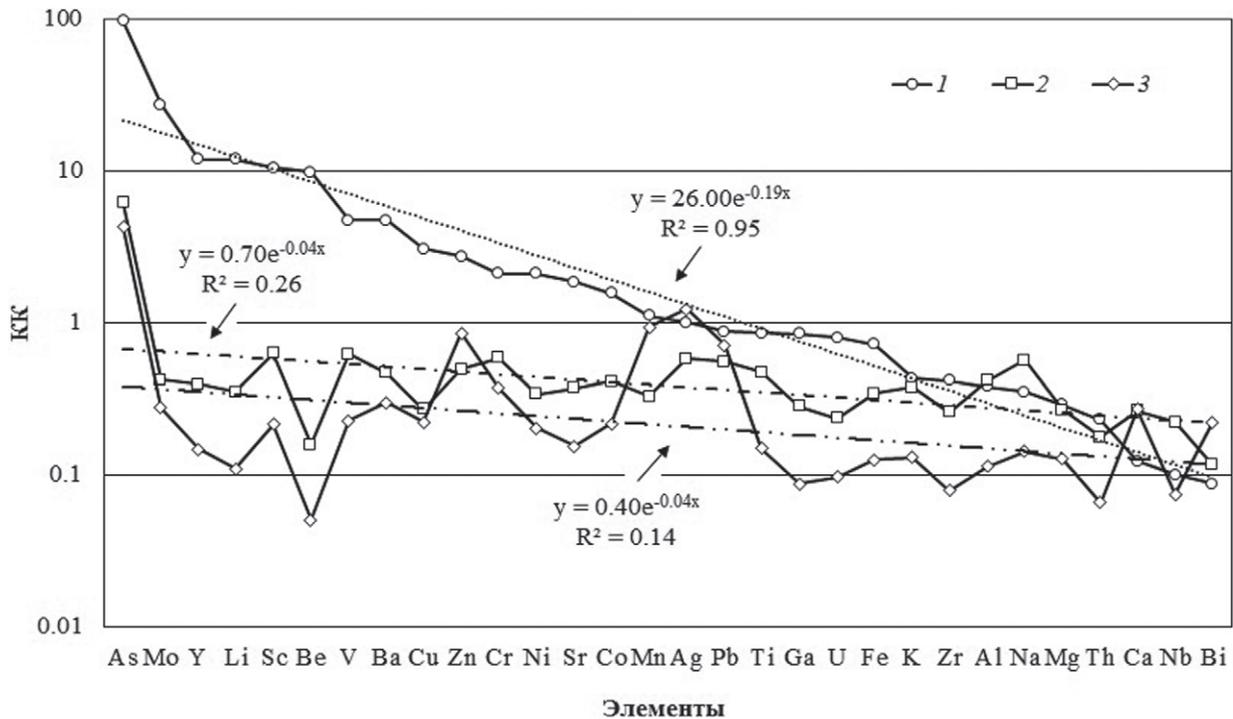


Рис. 2. Геохимические спектры почв с горизонтом лесной подстилки:

1 – породы заонежской свиты (см. табл. 1); 2 – подподстилочный горизонт почв; 3 – лесная подстилка (см. табл. 2). КК – кларки концентрации элементов. R^2 – коэффициенты аппроксимации экспоненциальных моделей

Fig. 2. Geochemical spectra of soils with the forest floor horizon:

1 – rocks of the Zaonega Formation (see Table 1); 2 – horizon under the forest floor; 3 – forest floor (see Table 2). КК – clarkes of element's concentration. R^2 – coefficients of approximation of exponential models

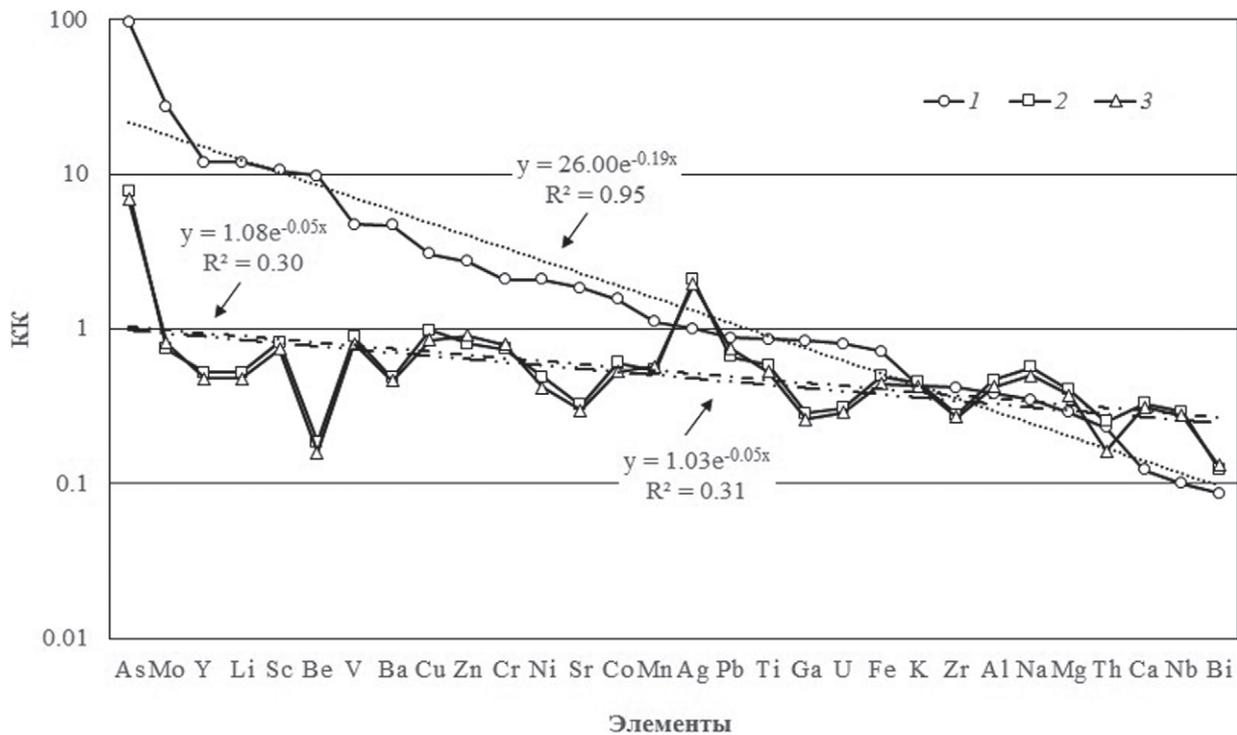


Рис. 3. Геохимические спектры почв без горизонта лесной подстилки:

1 – породы заонежской свиты (см. табл. 1); 2 – гумусовый горизонт почв; 3 – дерновый горизонт (см. табл. 2)

Fig. 3. Geochemical spectra of soils without the forest floor horizon:

1 – rocks of the Zaonega Formation (see Table 1); 2 – humus soil horizon; 3 – sod horizon (see Table 2)

чем в них выше содержание Са и ниже почвенная кислотность, что характерно для геохимических ландшафтов Н-Са класса. В целом количество As слабо зависит от соотношения органического и минерального вещества в генетических горизонтах почв. Для горизонтов, расположенных ближе к почвообразующим породам, концентрация As обусловлена составом заимствованного минерального вещества в большей степени, чем для вышележащих.

Ранжированный ряд отношений фонового содержания химических элементов в осадках заонежской свиты к среднегеометрическому содержанию в подподстилочном горизонте почв выглядит следующим образом (в число раз): Mo (65), Be (62), Li (34), Y (30), Sc (17), As (16), Cu (11), Ba (10), V (7,6), Ni (6,1), Zn (5,5), Sr (5,0), Co (3,8), Cr (3,6), Mn (3,4) и т. д. Таким образом, снижение данного отношения в наибольшей степени проявляется для элементов, определяющих специализацию пород заонежской свиты (см. рис. 2). Напротив, такие элементы, как Nb, Ca, Na, Bi, Al, способны накапливаться в минеральных горизонтах почв. Отметим, что выявленная дифференциация соответствует различию элементных составов осадочных и магматических (долериты) пород, показанному выше при анализе данных табл. 1.

Меньшее содержание многих химических элементов в лесной подстилке по сравнению с нижележащим почвенным горизонтом установлено для (в число раз): Na (3,9), Al (3,7), Zr (3,3), Ga (3,2), Li (3,2), Ti (3,2), Be (3,1), Nb (3,0), Sc (2,9), K (2,9), Fe (2,7), V (2,7), Th (2,7), Y (2,7), U (2,4), Sr (2,4), Mg (2,1) (различия выборочных средних по t-тесту Стьюдента значимы с уровнями значимости от $p < 0,001$ до $p = 0,005$) и т. д.

Активно поглощается растительностью и, как правило, накапливается в лесной подстилке необходимый для роста и развития Mn (различия значимы при $p = 0,001$). Согласно данным по медианному содержанию Mn [Рыбаков, 2017], в минеральных горизонтах почв Заонежья этот микроэлемент присутствует в более высоких концентрациях, чем в среднем по Карелии [Федорец и др., 2008; Тяжелые..., 2015] – 486 и 200 мг/кг соответственно. Аналогичное соотношение установлено для горизонта лесной подстилки – 907 и 475 мг/кг. При этом в лесных подстилках перегнойно-глеевых почв содержание Mn может быть пониженным до 120 мг/кг, а в дерновом горизонте, напротив, повышенным до 2260 мг/кг.

Различия незначимы для (p): Ca (0,429), Cu (0,372), Ag (0,203), Mo (0,127), Bi (0,121), Zn (0,116), As (0,100) и Pb (0,096). Присутст-

вующий в данной группе Pb считается металлом с низкой биологической доступностью и в большей степени накапливается в тканях корней [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]. Поэтому, возможно, в некоторых случаях его слабая концентрация в лесной подстилке обусловлена определенным (незначительным) атмосферным загрязнением территории.

Более значительная аккумуляция Pb, так же как и других элементов (см. выше), может быть связана с эпигенетически преобразованными породами докембрийских формаций. Однако наличие зон естественного влияния последних на почвенный покров Заонежья, по нашему мнению, требует дальнейшего изучения и подтверждения. Так, достаточно глубокое (55–310 м) залегание рудных тел и слой моренных отложений [Голубев, Новиков, 2005], по всей вероятности, обеспечивают низкие концентрации элементов в торфяной залежи расположенного над ними низинного болота [Максимов, 2005]. В случае антропогенного вмешательства в геологическую среду нагрузка элементами-токсикантами, в том числе Pb, на природную среду, по сравнению с локальным геохимическим фоном, многократно возрастает [Рыбаков, 2002а, б, 2005б].

В почвах без лесной подстилки гумусовый и дерновый горизонты близки по своему элементному составу (рис. 3). Уровни значимости средних значений логарифмов содержания элементов (p) варьируют от 0,092–0,096 (Th, Al) до 0,413–0,468 (Mn, Zn, Zr, Bi, Ag). Различие отмечено только для Be ($p = 0,033$). Среднее геометрическое содержание элементов превысило кларки для As (КК = 7,8 – минеральный и 6,9 – дерновый горизонты) и Ag (КК = 2,1 и 1,9 соответственно). В этих почвах содержание элементов ниже, чем в породах (дерновый – гумусовый горизонты, в число раз): Be (52–61), Mo (37–34), Li (23–25), Y (23–25), Sc (13–14), As (12–14), Ba (10–10), Sr (5,7–6,2), V (5,3–5,9), Ni (4,3–5,0), Cu (3,1–3,6), Zn (3,4–3,0), Ga (2,9–3,2), Cr (2,8–2,6), Co (2,6–2,9), U (2,6–289), Mn (2,0–1,9), Fe (1,46–1,63), Ti (1,46–1,6) и т. д. Как в дерновом, так и в гумусовом горизонтах часто относительно условного фона накапливаются Nb, Ca, Ag, Bi, Na, Mg, Al (см. рис. 3).

В целом содержание элементов в минеральном горизонте почв под лесной подстилкой ниже, чем в таковом под дерновым почвенным горизонтом (в число раз): Cu (3,6), Ag (3,6), Mo (1,8), Mn (1,7), Zn (1,6), Mg (1,5), Li (1,5), Co (1,5), Ni (1,4), V (1,4), Fe (1,4) и т. д. (рис. 4). Однако статистически значимые различия выявлены только для Be ($p = 0,022$), Cu ($p = 0,023$)

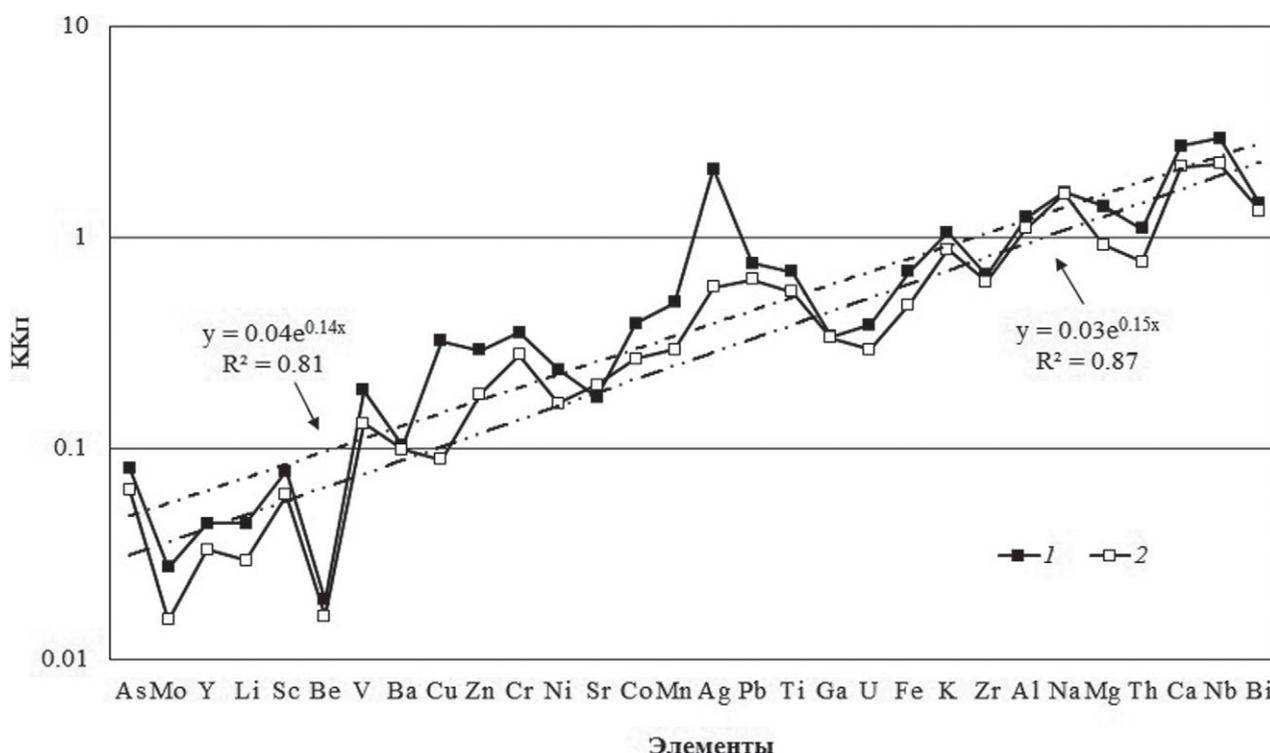


Рис. 4. Геохимические спектры горизонтов почв (см. табл. 2):

1 – под дерновым горизонтом без лесной подстилки; 2 – под лесной подстилкой. ККп – см. в разделе «Материалы и методы»

Fig. 4. Geochemical spectra of soil horizons (see Table 2):

1 – under the sod horizon without the forest floor; 2 – under the forest floor. ККп – see the Materials and Methods section

и Mn ($p = 0,038$). Для Ag $p = 0,079$. Содержание Sr в среднем выше в почвах с лесной подстилкой, тем не менее данные различия статистически незначимы ($p = 0,243$). Нет различия в содержании Na ($p = 0,475$), Bi ($p = 0,450$), Ga ($p = 0,434$), Ba ($p = 0,382$), Zr ($p = 0,250$), Zn ($p = 0,203$), Mo ($p = 0,156$), Ni ($p = 0,152$), Pb ($p = 0,145$), As ($p = 0,145$) и т. д.

Таким образом, результаты проведенного ранее нами и другими авторами изучения почвенного покрова Заонежья в настоящем исследовании дополнены геохимическими спектрами и ранжированными геохимическими рядами в сочетании с проверкой гипотезы о значимости различий средних значений логарифмов содержания элементов. Это позволило провести сравнение элементного состава почв, на формирование которых оказали влияние шунгитовые, основные и карбонатные породы, распространенные в данном районе как в лесных, так и в луговых ландшафтах.

Выводы

Результаты исследования приводят к следующим основным выводам:

1. В отличие от специализированных на As, Mo, Y, Li, Sc, Be, V, Ba, Cu, Zn, Cr, Ni, Sr, Co и другие элементы пород заонежской свиты, все без исключения изученные почвы выше кларкового значения содержат только потенциально опасный для биоты As. Содержание Ag, реже Zn, Cu, V и Mo также может превышать кларки (в основном в неоподзоленных дерновых почвах луговых ландшафтов).
2. Показанное на геохимических спектрах почв сближение численных значений кларков концентрации тридцати химических элементов обусловлено различиями в миграционной способности элементов, которая зависит от состава почвообразующих пород и условий почвообразования. Так, многие токсики удерживаются в коренных углеродсодержащих породах за счет сорбции или в кристаллической решетке минералов и ограничено наследуются четвертичными отложениями и почвами. Аккумуляция или рассеяние химических элементов также определяются свойствами почв, зависят от влияния основных и карбонатных пород, находящихся в локализациях среди осадочных образований и в виде обломков в самих почвах.

3. Более высокую степень загрязнения почв можно ожидать в зонах влияния на почвенный покров эпигенетически измененных докембрийских образований, при этом наличие таких зон зависит от геологического строения месторождений и рудопроявлений.
4. Биогенное накопление в почвах лесных ландшафтов в наибольшей степени характерно для Mn, в меньшей – для Ca, Ag, Mo, Bi и Zn, что отражается в повышенном содержании этих элементов в лесной подстилке. В целом небольшое и неопасное для биоты повышение содержания Pb в насыщенных органикой горизонтах изученных почв, предположительно, связано с «фоновым» атмосферным загрязнением изученной территории.
5. Полученные результаты могут быть использованы при дальнейшей геоэкологической оценке исследуемого района, а также учтены при геохимических поисках месторождений по вторичным ореолам рассеяния.

Автор благодарен д. б. н., чл.-корр. РАН О. Н. Бахмет, д. г.-м. н. А. И. Слабунову и к. г.-м. н. А. В. Степановой за полезные советы и рекомендации при подготовке настоящей статьи.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт геологии КарНЦ РАН).

Литература

Бахмет О. Н., Федорец Н. Г. Почвенный покров // Сельговые ландшафты Заонежского полуострова: природные особенности, история освоения и сохранение / Под ред. А. Н. Громцева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 47–50.

Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.

Голубев А. И., Новиков Ю. Н. Геологическое строение и уран-ванадиевые месторождения Заонежья // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма / Отв. ред. Е. П. Иешко. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 4–13.

Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.

Касимов Н. С., Власов Д. В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2015. № 2. С. 7–17. URL: <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/article/view/109> (дата обращения: 25.02.2019).

Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 343 с.

Куликов В. С., Светов С. А., Слабунов А. И., Куликова В. В., Полин А. К., Голубев А. И., Горьковец В. Я., Иващенко В. И., Гоголев М. А. Геологиче-

ская карта Юго-Восточной Фенноскандии масштаба 1:750 000: Новые подходы к составлению // Труды КарНЦ РАН. 2017. № 2. С. 3–41. doi: 10.17076/geo44

Кушнеренко В. К., Солдатенко В. Е., Колюин В. А. Оценка радиоэкологического состояния Онежского рудного района. Объяснительная записка к карте масштаба 1:200 000, листы Р-36-XVII (57, 58) и Р-36-XVIII (59, 60). Отчет Регионального геоэкологического центра филиала ГП «Невскгеология». СПб., 2001. 87 с.

Максимов А. И. Содержание макро- и микроэлементов в торфяных залежах болотных экосистем вблизи месторождения Падма // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма / Ред. Е. П. Иешко и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 72–81.

Морозова Р. М. Лесные почвы Карелии. Л.: Наука, 1991. 184 с.

Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерализация) / Отв. ред. Л. В. Глушанин, Н. В. Шаров, В. В. Щипцов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 431 с.

Перельман А. И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. 528 с.

Рыбаков Д. С. Автономные геохимические ландшафты района распространения шунгитовых пород (Заонежье, Республика Карелия) // Геология, геохимия и экология Северо-Запада России: Матер. I Междунар. науч. конф. Тез. докл. СПб., 2005а. С. 143–146.

Рыбаков Д. С. Геоэкология Карелии: геохимический подход к проблемам оценки риска. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. 313 с.

Рыбаков Д. С. Соотношение мышьяка и макроэлементов в почвах Заонежья // Биокосные взаимодействия: жизнь и камень: Матер. II Междунар. симп. СПб., 2004. С. 251–254.

Рыбаков Д. С. Средняя Падма: эколого-геологический аспект // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 5. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2002а. С. 92–96.

Рыбаков Д. С. Характеристика распространения химических элементов в верхнем слое почв Заонежья (Республика Карелия) // Сергеевские чтения. Вып. 4. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (Москва, 21–22 марта 2002 г.). М.: ГЕОС, 2002б. С. 335–339.

Рыбаков Д. С. Эколого-геохимическое картирование Заонежья и прогнозная оценка техногенного загрязнения локальных экосистем // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма / Отв. ред. Е. П. Иешко. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005б. С. 82–88.

Степанова А. В., Самсонов А. В., Ларионов А. Н. Заключительный эпизод магматизма среднего палеопротерозоя в Онежской структуре: данные по долерам Заонежья // Труды КарНЦ РАН. 2014. № 1. С. 3–16. URL: http://resources.krc.karelia.ru/transactions/doc/trudy2014/trudy_2014_1_003-16.pdf (дата обращения: 25.02.2019).

Тойка М. А., Перевозчикова Е. М., Левкина Т. И., Заварзин В. М., Михкиев А. И., Изергина М. М. Микроэлементы в Карелии. Л.: Наука, 1973. 284 с.

Томилина О. В., Паламарчук С. Ф., Яхнин Э. Я., Егоров А. И. Комплект карт геохимической основы государственной геологической карты Российской Федерации // Геохимическое картирование севера европейской территории России в рамках международной программы «Экогеохимия Баренцева региона» и проведение опережающего этапа составления геохимических основ Госгеолкарты-1000 третьего поколения на листы Р-35,36. Т. 2: Отчет о научно-исследовательской работе / Отв. исп. В. А. Чекушин. СПб., 2004. 146 с.

Тяжелые металлы в почвах Карелии / Отв. ред. Г. В. Ахметова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. 222 с.

References

Bakhmet O. N., Fedorets N. G. Pochvennyi pokrov [Soil cover]. *Sel'govye landshafty Zaonezhskogo poluostrova: prirod. osobennosti, istoriya osvoeniya i sokhraneniye* [Selka landscapes of the Zaonezhsky Peninsula: natural characteristics, history of development, and conservation]. Ed. A. N. Gromtsev. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2013. P. 47–50.

Fedorets N. G., Bakhmet O. N., Solodovnikov A. N., Morozov A. K. Pochvy Karelii: geokhimicheskii atlas [Soils of Karelia: A geochemical atlas]. Moscow: Nauka, 2008. 47 p.

Fedorets N. G., Morozova R. M., Bakhmet O. N., Tkachenko Yu. N. Pochvy i pochvennyi pokrov Zaonezh'ya [Soils and soil cover in Zaonezhye]. *Ekol. probl. osvoeniya mestorozhdeniya Srednyaya Padma* [Ecol. probl. of the Srednyaya Padma deposit development]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2005. P. 20–34.

Golubev A. I., Novikov Yu. N. Geologicheskoe stroeniye i uran-vanadievye mestorozhdeniya Zaonezh'ya [Geological structure and uranium-vanadium deposits of Zaonezhye]. *Ekol. probl. osvoeniya mestorozhdeniya Srednyaya Padma* [Ecol. probl. of the Srednyaya Padma deposit development]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2005. P. 4–13.

Kabata-Pendias A., Pendias Kh. Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh [Microelements in soils and plants]. Moscow: Mir, 1989. 439 p.

Kasimov N. S., Vlasov D. V. Klarki khimicheskikh elementov kak etalony sravneniya v ekogeokhimii [Clarkes of chemical elements as comparison standards in eco-geochemistry]. *Vestnik Mosk. univ. Ser. 5. Geogr.* [Moscow Univ. Bull. Ser. 5. Geogr.]. 2015. No. 2. P. 7–17. URL: <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/article/view/109> (accessed: 25.02.2019).

Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii [Classification and Diagnostics of Soils of Russia]. Smolensk: Oikumena, 2004. 343 p.

Kulikov V. S., Svetov S. A., Slabunov A. I., Kulikova V. V., Polin A. K., Golubev A. I., Gor'kovets V. Ya., Ivashchenko V. I., Gogolev M. A. Geologicheskaya karta Yugo-Vostochnoi Fennoskandii masshtaba 1:750000: Novye podkhody k sostavleniyu [Geological map of Southeastern Fennoscandia (scale 1:750000): a new approach to map compilation]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2017. No. 2. P. 3–41. doi: 10.17076/geo444

Федорец Н. Г., Бахмет О. Н., Солодовников А. Н., Морозов А. К. Почвы Карелии: геохимический атлас. М.: Наука, 2008. 47 с.

Федорец Н. Г., Морозова Р. М., Бахмет О. Н., Ткаченко Ю. Н. Почвы и почвенный покров Заонежья // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма / Отв. ред. Е. П. Иешко. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 20–34.

Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // *Chem. Geol.* 2008. Vol. 253, iss. 3–4. P. 205–221. doi: 10.1016/j.chemgeo.2008.05.010

Поступила в редакцию 03.07.2020

Kushnerenko V. K., Soldatenko V. E., Kolyuin V. A. Otsenka radioekologicheskogo sostoyaniya Onezhskogo rudnogo raiona. Ob'yasnitel'naya zapiska k karte masshtaba 1:200000, listy P-36-XVII (57, 58) i P-36-XVIII (59, 60). Otchet Regional'nogo geoeologicheskogo tsentra filiala GP "Nevskgeologiya" [Assessment of the radioecological state of the Onega ore district. The explanatory note to the map scale 1:200.000, sheets P-36-XVII (57, 58) and P-36-XVIII (59, 60). A report of the Regional Geoecological Center of the Branch of the Nevskgeologiya State Enterprise]. St. Petersburg, 2001. 87 p.

Maksimov A. I. Soderzhanie makro- i mikroelementov v torfyanikh zalezhakh bolotnykh ekosistem vblizi mestorozhdeniya Padma [Content of macro- and microelements in peat deposits of mire ecosystems near Padma occurrence]. *Ekologicheskie problemy osvoeniya mestorozhdeniya Srednyaya Padma* [Ecological problems of the Srednyaya Padma deposit development]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2005. P. 72–81.

Morozova R. M. Lesnye pochvy Karelii [Forest Soils of Karelia]. Leningrad: Nauka, 1991. 184 p.

Onezhskaya paleoproterozoiiskaya struktura (geologiya, tektonika, glubinnoye stroeniye i minerageniya) [Onega Paleoproterozoic structure (geology, tectonics, deep structure, and minerageny)]. Eds. Glushanin L. V., Sharov N. V., Shchiptsov V. V. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2011. 431 p.

Perel'man A. I. Geokhimiya [Geochemistry]. Moscow: Vysshaya shkola, 1989. 528 p.

Rybakov D. S. Avtonomnye geokhimicheskie landshafty raiona rasprostraneniya shungitovykh porod (Zaonezh'e, Respublika Kareliya) [Autonomous geochemical landscapes of the area of distribution of shungite rocks (Zaonezhye, Republic of Karelia)]. *Geologiya, geokhimiya i ekologiya Severo-Zapada Rossii: Materialy I Mezhdunar. nauch. konf. Tez. dokl.* [Geology, geochemistry and ecology of the North-West of Russia. Materials of the I International scientific conference. Tez. docl.]. St. Petersburg, 2005a. P. 143–146.

Rybakov D. S. Geoekologiya Karelii: geokhimicheskii podkhod k problemam otsenki riska [Geoecology of Karelia: a geochemical approach to the problems of risk assessment]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2017. 313 p.

Rybakov D. S. Sootnosheniye mysh'yaka i makroelementov v pochvakh Zaonezh'ya [The relation between

arsenic and macroelements in soils of Zaonezhie]. *Bio-kosnyye vzaimodeistviya: zhizn' i kamen'. Mat. II Mezhdunar. simp.* [Bioinert interactions: life and stone: Proceed. II int. symp.]. St. Petersburg, 2004. P. 251–254.

Rybakov D. S. Srednyaya Padma: ekologo-geologicheskii aspekt [Srednyaya Padma: ecological-geological aspect]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii* [Geology and useful minerals of Karelia]. Iss. 5. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2002a. P. 92–96.

Rybakov D. S. Kharakteristika rasprostraneniya khimicheskikh elementov v verkhnem sloe pochv Zaonezh'ya (Respublika Kareliya) [Characteristics of the distribution of chemical elements in the upper layer of soils in Zaonezh'ye (Republic of Karelia)]. *Sergeevskie chteniya. Vyp. 4. Mat. godichnoi sessii Nauch. soveta RAN po probl. geokol., inzhenernoi geol. i gidrogeol. (Moskva, 21–22 Marta 2002 g.)* [Sergeev's readings. Proceed. of the annual session of the Sci. Council of the RAS on the probl. of geocol., engineering geol. and hydrogeol. Iss. 4 (Moscow, March 21–22, 2002)]. Moscow: GEOS, 2002b. P. 335–339.

Rybakov D. S. Ekologo-geokhimicheskoe kartirovanie Zaonezh'ya i prognoznaya otsenka tekhnogenogo zagryazneniya lokal'nykh ekosistem [Ecological and geochemical mapping of the Zaonezh'ye region and predictive assessment of anthropogenic pollution of local ecosystems]. *Ekol. probl. osvoeniya mestorozhdeniya Srednyaya Padma* [Ecol. probl. of the Srednyaya Padma deposit development]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2005b. P. 82–88.

Stepanova A. V., Samsonov A. V., Larionov A. N. Zaklyuchitel'nyi epizod magmatizma srednego paleoproterozoya v Onezhskoi strukture: dannye po doleritam Zaonezh'ya [The final episode of the middle Proterozoic magmatism in the Onega structure: data on Trans-Onega dolerites]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2014.

No. 1. P. 3–16. URL: http://resources.krc.karelia.ru/transactions/doc/trudy2014/trudy_2014_1_003-16.pdf (accessed: 25.02.2019).

Toikka M. A., Perevozchikova E. M., Levkina T. I., Zavarzin V. M., Mikhkiev A. I., Izergina M. M. Mikroelementy v Karelii [Microelements in Karelia]. Leningrad: Nauka, 1973. 284 p.

Tomilina O. V., Palamarchuk S. F., Yakhnin E. Ya., Egorov A. I. Geokhimicheskoe kartirovanie severa evropeiskoi territorii Rossii v ramkakh mezhdunarodnoi programmy "Ekogeokhimiya Barentseva regiona" i provedenie operezhayushchego etapa sostavleniya geokhimicheskikh osnov Gosgeol'karty-1000 tret'ego pokoleniya na listy P-35,36 [Geochemical mapping of the North of the European territory of Russia within the framework of the international program *Ecogeochemistry of the Barents Region* and conducting the advanced stage of compiling the geochemical bases of the Gosgeol'karta-1000 (state geological map) of the third generation on sheets P-35,36]. Vol. 2: *Otchet o nauchno-issled. rabote* [Report on the research work]. St. Petersburg, 2004. 146 p.

Tyazhelye metally v pochvakh Karelii [Heavy metals in soils of Karelia]. Ed. G. V. Akhmetova. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. 222 p.

Vinogradov A. P. Srednee sodержanie khimicheskikh elementov v glavnykh tipakh izverzhennykh porod zemnoi kory [The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the Earth's crust]. *Geokhim.* [Geochem. Int.]. 1962. No. 7. P. 555–571.

Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update. *Chem. Geol.* 2008. Vol. 253, iss. 3–4. P. 205–221. doi: 10.1016/j.chemgeo.2008.05.010

Received July 03, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Рыбаков Дмитрий Сергеевич

старший научный сотрудник лаб. геохимии, четвертичной геологии и геоэкологии, к. г.-м. н. Институт геологии КарНЦ РАН, Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН» ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910 эл. почта: rybakovd@krc.karelia.ru

CONTRIBUTOR:

Rybakov, Dmitry

Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences 11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia e-mail: rybakovd@krc.karelia.ru