

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ РАЙОНА БЕЛОЗИМИНСКОГО Ta–Nb МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНЫЙ САЯН, ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2021 г. П. В. Кузнецов^{а, *}, В. И. Гребенщикова^{а, **}

^аФБГУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, ул. Фаворского, 1а, Иркутск, 664033 Россия

^{*}e-mail: petr-kp@mail.ru

^{**}e-mail: vgreb@igc.irk.ru

Поступила в редакцию 05.02.2020 г.

После доработки 07.10.2020 г.

Принята к публикации 15.10.2020 г.

Получены новые данные о химическом составе компонентов окружающей среды территории Белозиминского Ta–Nb месторождения. Установлено, что почвы характеризуются высоким содержанием рудных и сопутствующих элементов, что связано с наследованием ими химического состава почвообразующих пород. Повышенные концентрации радиоактивных элементов в почвах и породах, а также продукты их распада обуславливают высокий радиоактивный фон. Экологическая ситуация на территории месторождения по химическому составу изученных компонентов и радиоэкологической обстановке характеризуется, как неблагоприятная. Полученные результаты исследований химического состава компонентов окружающей среды могут быть использованы как исходные данные для проведения экологического мониторинга в случае разработки месторождения.

Ключевые слова: Ta–Nb месторождение, химический состав, породы, почвы, поверхностные воды

DOI: 10.31857/S0016752521070037

ВВЕДЕНИЕ

Белозиминское тантал-ниобиевое месторождение расположено в предгорьях центральной части Восточного Саяна, в бассейне левых притоков р. Зима и входит в состав Зиминского рудного района. Месторождение открыто сотрудниками ВИМСа в начале 60-х годов прошлого столетия, когда в результате проверки аэрогаммаметрической аномалии был обнаружен Белозиминский массив ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов с тантал-ниобиевой минерализацией (Фролов, Белов, 2000). Позднее началась разработка этого месторождения, была построена опытная фабрика по производству ферро-ниобия, и появился рабочий поселок — Белая Зима. Однако, проведенные на территории поселка в 90-е годы прошлого столетия комплексные исследования, показали неблагоприятную радиоэкологическую обстановку и ее влияние на состояние здоровья жителей, связанную с накоплением радона и его высокой активностью. По результатам этих исследований радиоэкологический совет Иркутской области принял решение об отнесении пос. Белая Зима к зоне экологического бедствия по радиоэкологическому фактору (Государственный доклад..., 1996), месторождение было закрыто, а поселок эвакуирован. Тем не

менее, в настоящее время обсуждаются вопросы организации добычи редких металлов на наиболее перспективных Белозиминском и Большетагинском месторождениях с применением безопасных современных технологий переработки сырья (Быховский и др., 2002; Машковцев и др., 2011; Темнов, Пикалова, 2013). В связи с этим становится актуальным вопрос, связанный с оценкой химического состава компонентов окружающей среды территории Белозиминского месторождения и его влияния на экологическую обстановку в целом.

Целью данной работы являлось изучение и оценка химического состава компонентов почв, пород, поверхностных вод в окрестностях пос. Белая Зима.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассматриваемая нами территория достаточно изучена в геологическом и геохимическом планах (Пожарицкая и др., 1972; Фролов, Белов, 2000). Белозиминский массив в центральной части представляет собой небольшой шток (около 10 км²), сложенный различными типами карбонатитов (4-х стадий формирования), который обрамляют ультраосновные-щелочные породы. Карбонати-

ты являются носителями всей разнообразной рудной минерализации и в зависимости от стадии формирования, содержат различные рудные компоненты (P, Nb, Ta, U, Th, Ce и др.), пользующиеся большим спросом в промышленном производстве.

Почвообразующими породами служат преимущественно делювиальные отложения, представляющие собой продукты выветривания указанных выше коренных пород. Характерными почвами среднегорного пояса центральной части Восточного Саяна являются подтипы горно-таежных почв: перегнойные, дерновые, подзолистые и другие, а на карбонатных породах формируются дерново-карбонатные и перегнойно-карбонатные почвы (Горбачев, 1978; Добровольский, Урусевская, 2004). Тем не менее, почвы рассматриваемой территории ранее не были изучены в отношении химического состава.

На изучаемой территории было исследовано 8 участков, отражающих многообразие почвенно-геохимических условий. Участок Б-1, расположенный на склоне юго-восточной экспозиции рассматривается как фоновый, не затронутый хозяйственной деятельностью. В соответствии с классификацией (Шишов и др., 2004; Полевой..., 2008) почва представлена буроземом грубогумусовым остаточным карбонатным (АО-АОВМ-ВМса-Сса). В долине р. Белая Зима (участки Б-2, Б-3, Б-4) под луговым разнотравьем почвы представлены серогумусовыми (дерновыми) (АУ-С). На остальных участках, расположенных вблизи производственных зданий, под разнотравьем выделены слаборазвитые почвы — петроземы гумусовые на плотных породах (W-M).

Для изучения химического состава коренных пород нами были взяты 8 образцов карбонатитов разных стадий формирования.

Для изучения химического состава почв образцы отбирались из верхнего аккумулятивного горизонта методом конверта. Для изучения внутрипрофильного распределения элементов в почвах нами было заложено два почвенных разреза (участки Б-1 и Б-2). Образцы почв из разрезов отбирались по генетическим горизонтам.

Для изучения водной миграции элементов напротив участка Б-2 была отобрана проба воды из р. Белая Зима и проба донных осадков.

Для оценки техногенного воздействия нами были взяты 2 образца пыли из-под вентиляционного отверстия одного из производственных зданий.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнена с использованием научного оборудования “ЦКП изотопно-геохимических исследований” ИГХ СО РАН.

Для определения $C_{орг}$ в почвах использовался метод Тюрина (ГОСТ 26213-91), pH почв определяли потенциометрически (ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97). Для определения содержания (в скобках приведены пределы обнаружения, мас. %) SiO_2 (0.15), TiO_2 (0.2), Al_2O_3 (1.0), Fe_2O_3 (0.1), MnO (0.1), MgO (0.1), CaO (0.1), K_2O (0.5), Na_2O (0.5), P_2O_5 (0.01), S (0.02), Sr (0.005), Ba (0.015), Zr (0.001), Nb (7×10^{-4}) (методика СТП ИГХ-003-2009); Ta (20×10^{-4}), Th (1×10^{-4}), U (1×10^{-4}) (методика НСАМ-455-РС) в почвах и породах был использован метод рентгено-флуоресцентного анализа. Для определения содержания (в скобках приведены пределы обнаружения, мг/кг) B (2), Cu (5), Zn (10), Ge (0.8), Mo (0.3), Ag (0.03), Sn (0.8), Tl (0.3), Pb (0.8) (методика СТП-ИГХ-004-08), Be (0.8), Sc (3), V (1), Cr (4), Co (0.8), Ni (3), Ga (1) (методика СТП-ИГХ-006-08), Y (10), La (5), Ce (10), Nd (5), Yb (0.5) (Чумакова, Смирнова, 2010) был использован атомно-эмиссионный метод анализа. Правильность результатов подтверждена анализом стандартных образцов состава почв и золы (Vasil'eva, Shabanova, 2017). Для определения HCO_3^- (6.1) в воде использовался титриметрический метод (ГОСТ 31957-2012). Для определения остальных элементов в воде использован метод масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, пределы обнаружения элементов данным методом приведены в таблице с результатами.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Химический состав коренных пород свидетельствует о том, что они характеризуются широким диапазоном содержаний элементов, отражающих разные стадии формирования карбонатитов, но в целом содержание в них рудных элементов соответствует данным, представленным в литературе (Фролов, Белов, 2000). Общим свойством данных пород является низкое содержание (мас. %): SiO_2 (<ПО), Al_2O_3 (0.10–2.39), K_2O (<ПО-1.84), Na_2O (<ПО-0.54) и повышенное — CaO (23.2–41.1), MgO (2.58–13.6) и Fe_2O_3 (4.11–18.6). Во всех изученных пробах карбонатитов не обнаружены B, Ge и Tl, а в большинстве проб также Be, Zr и Ni. Наоборот, повышенные содержания (мг/кг) характерны для Nb (9–1052), Ta (30–38), Zn (37–3700), La (110–6600), Ce (220–26000), Nd (86–8200), U (1.0–46), Th (3–187), Sr (1819–13982), V (9.8–430) и Mo (15–97).

Непосредственное и наиболее существенное влияние коренные породы оказывают на химический состав почв. Основные сведения о содержании и поведении микроэлементов элементов в почвах разных регионов мира обобщены в работе Kabata-Pendias (2011). Тем не менее, в отношении редких (Nb, Ta), редкоземельных элементов, сведений еще недостаточно, несмотря на то, что в

последнее время за рубежом проводятся работы по их изучению в почвах (Scheib et al., 2012). Например, было установлено, что среднее содержание Nb в почвах сельскохозяйственных и пахотных земель составило 12–13 мг/кг, а наибольшие его содержания связаны с геогенными процессами: щелочными и вулканическими породами, герцинскими интрузиями. Отмечено, что более 95% Nb в почвах является неподвижным.

Рассмотрим химический состав изучаемых почв. Почва участка Б-1 в горизонте АО характеризуется близкой к нейтральной реакцией среды (рН), составляющей 6.6 и относительно низким содержанием органического углерода 3.15 мас. %. С глубиной профиля содержание $C_{орг}$ в почве и ее кислотность снижаются. По содержанию порообразующих элементов почва так же как и породы, имеет пониженное содержание (мас. %) SiO_2 (20.87–31.14) и повышенное TiO_2 (0.47–1.07), Al_2O_3 (7.02–19.8), Fe_2O_3 (9.83–19.4), MgO (2.94–4.48), CaO (8.83–25.6) и P_2O_5 (5.93–9.20), что отражает наследование почвой химического состава почвообразующих пород. В тоже время, по сравнению с коренными породами, содержание SiO_2 , Fe_2O_3 и Al_2O_3 в почве заметно выше, а содержание CaO и MgO существенно ниже. Это свидетельствует о частичном выносе щелочноземельных элементов в процессе почвообразования и остаточным накоплением в ней SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 . Максимальным содержанием Al_2O_3 характеризуется переходный горизонт АОВМ, а Fe_2O_3 – метаморфический ВМ. В результате биогенной аккумуляции в лесной подстилке почвы происходит накопление (мас. %) MgO (4.48), CaO (25.62), K_2O (7.61), P_2O_5 (6.00) и S (2.16). За счет высокого содержания в породах P_2O_5 и CaO , в горизонте ВМ их содержание также высоко и составляет 9.20 и 15.2 мас. % соответственно.

Почва участка Б-2 отличается от почвы участка Б-1 слабокислой реакцией среды (рН 5.7), более высоким содержанием (мас. %) $C_{орг}$ (4.00 в горизонте АУ), SiO_2 (47.24–49.87), K_2O (1.40–1.55) и более низком остальных порообразующих элементов. Их распределение в профиле характеризуется накоплением органического вещества и серы (0.08 мас. %) в горизонте АУ и остальных элементов в горизонте С.

Почва участка Б-1 (табл. 1), так же как и породы, мало содержит В, Сг, Ge, Тl и повышенное количество остальных элементов – V, Mn, Zn, Zr, Sr, Ba, редкоземельных элементов, Nb, Ta, Hg, Pb, Th и U. Марганец, а также Cu, Zn и Ba накапливаются в лесной подстилке в результате биогенной аккумуляции. Распределение в результате почвообразования в профиле почвы Sc, V, Co, Cu, Zr, Nb редкоземельных металлов и Ta происходит аналогично Fe_2O_3 . Поведение Sc, V, Co и Cu, оче-

видно, связано с минералами железа. Распределение Ba и Sr в почве, вероятно, определяется поведением Ca. Увеличение содержания с глубиной профиля редкоземельных металлов, а также Th, Nb и Ta может быть связано с увеличением содержания рудных минералов. Остальные элементы не имеют явно выраженного распределения в профиле почвы.

Содержание микроэлементов в почве участка Б-2 и в горизонте АУ других серогумусовых (дерновых) почв в целом ниже в сравнении с почвой участка Б-1, за исключением Be и Sr в горизонте С, что можно объяснить локальными особенностями почвообразующей породы.

Верхние горизонты (W) петроземов в восточной части поселка характеризуются слабощелочной реакцией среды (рН – 7.4–7.6), низким содержанием $C_{орг}$ (1.08–3.28 мас. %) и высокими содержаниями тех же элементов, что и в породах (Nb, Ta, Th и др.). Это также указывает на их взаимосвязь. Слабощелочная реакция среды почв обусловлена близким подстиланием карбонатных коренных пород.

Таким образом, изученные почвы характеризуются высокими содержаниями многих микроэлементов, в том числе, радиоактивных, связанных с породами. Их распределение в профиле почв обусловлено поведением главных компонентов – Ca, Fe, а также биологическим накоплением. Дополнительным источником микроэлементов в верхних горизонтах петроземов могла являться деятельность предприятия в прошлом.

Химический состав техногенной пыли, взятой из вентиляционного отверстия, выделявшейся в процессе производства значительно отличается от состава окружающих природных компонентов и может представлять опасность при ее поступлении в окружающую среду. Основными компонентами пыли (мас. %) являются CaO (22.8–35.8), P_2O_5 (14.3–23.7), Fe_2O_3 (18.2–27.5) и Nb (7.17–16.8); в меньшем количестве содержится MgO (1.05–1.40), Al_2O_3 (3.21–8.28), SiO_2 (7.06–8.35) и TiO_2 (1.98–3.41); содержание каждого из остальных элементов в пыли не превышает 1 мас. %. Однако, высокое содержание (мас. %) Th (0.14–0.29), La (0.10–0.17), Ce (0.24–0.32), Ta (0.17–0.44), Nd (0.09–0.11), а также Nb, как было показано выше, свидетельствует о том, что процессы обогащения редкометалльных руд приводят к концентрированию многих элементов, связанных с рудами, в том числе природных радионуклидов, что отмечалось и ранее (Мельник, 2005). Также очевидно, что с высоким содержанием Th и продуктами его распада, связан измеренный нами повышенный радиационный фон на территории обогатительной фабрики (до 4.08 мкЗв/ч). Напомним, что в качестве допустимого естественного радиационного

Таблица 1. Химический состав почв, мг/кг

Эле- мент	Исследуемые участки												Региональный фон
	Б-1				Б-2		Б-3	Б-4	Б-5	Б-6	Б-7	Б-8	
	почвенные горизонты												
	A ₀	АО	АОБМ	ВМса	АУ	С	АУ	АУ	W	W	W	W	
Be	—	3.2	3.9	3.8	3.5	7.2	6.7	2.3	5.6	2.6	4.7	5.0	3.0**
B	—	7.7	7.5	6.0	14	33	17	13	< 2	2.8	< 2	7.1	4.4**
Sc	—	14	16	19	4.5	14	5.2	9.0	< 3	11	9.9	13	11.4**
V	118	180	240	320	99	200	140	110	170	210	260	330	100—114*
Cr	47	57	63	45	48	91	40	60	17	31	49	57	95—100*
Mn	34068	11600	11330	15396	2100	2780	—	—	—	—	—	—	915—1200*
Co	21.2	24	25	33	13	22	22	12	20	20	24	23	17—18*
Ni	51	43	39	40	31	44	37	32	12	21	26	28	43—44*
Cu	59	16	18	24	23	34	35	58	32	74	63	46	42—51*
Zn	1430	220	130	190	270	150	330	390	200	140	190	180	84—93*
Ga	—	12	9.8	11	10	13	8.9	10	12	13	13	13	10**
Ge	—	0.95	< 0.8	0.93	1.5	1.6	1.2	0.85	1.0	0.99	0.95	1.1	—
Sr	1030	968	980	1667	185	3320	—	—	—	—	—	—	208—277*
Zr	261	405	400	493	251	308	353	165	707	345	485	526	35.8**
Nb	871	2080	2140	4410	320	590	850	290	980	2430	2330	2700	13.2**
Mo	—	1.1	1.4	1.2	1.8	2.6	5.7	2.4	1.0	1.3	3.2	1.2	3.8**
Ag	—	0.8	0.6	0.46	0.46	0.15	0.56	0.57	0.52	0.32	0.26	0.27	0.5**
Sn	—	5.8	4.3	7.2	7.0	5.0	8.4	5.4	4.2	5.5	6.0	6.1	2.5**

Эле- мент	Исследуемый участок												Региональный фон
	Б-1				Б-2		Б-3	Б-4	Б-5	Б-6	Б-7	Б-8	
	почвенные горизонты												
	A ₀	АО	АОБМ	ВМса	АУ	С	АУ	АУ	W	W	W	W	
Ba	1870	800	740	1060	660	710	—	—	—	—	—	—	—
La	—	570	660	800	160	280	570	380	570	270	400	310	27.8**
Ce	—	1300	1300	1600	290	620	1200	630	1200	570	840	680	—
Nd	—	400	490	570	96	240	480	160	340	190	300	250	—
Yb	—	6.4	8.7	10	3.6	4.4	8.4	2.6	24	6.5	7.4	9.4	3.9**
Ta	—	96	90	143	<30	<30	35	<30	43	52	56	65	—
Hg	—	0.105	0.100	0.084	0.109	0.052	0.058	0.118	0.064	0.064	0.037	0.042	0.015—0.020*
Tl	—	<0.3	<0.3	<0.3	3.2	0.5	<0.3	0.59	0.29	<0.3	<0.3	<0.3	—
Pb	29.5	61	30	42	59	36	70	34	25	28	38	47	12.7**
Th	—	43	40	51	31	47	70	28	71	50	48	54	6.06—6.58*
U	—	23	25	24	6.0	9.0	9.0	4.0	8.0	9.0	14	11	1.90—2.01*

Примечания. — нет данных; * Гребенщикова и др., 2008; ** Китаев, Гребенщикова, 2014.

фона уровень МЭД внешнего гамма-излучения принят 0.33 мкЗв/ч.

Рассмотрим химический состав поверхностных вод. Река Белая Зима берет начало в Восточном Саяне и относится к бассейну р. Ангары. Ее

химический состав показывает низкую минерализацию воды (71 мг/дм³), как и у большинства ручьев и рек Байкальского геоэкологического полигона (Гребенщикова и др., 2008, 2011). В составе главных компонентов вода р. Белой Зимы со-

Таблица 2. Сравнительная характеристика микроэлементного состава воды р. Белая Зима, Ия и истока Ангары (июнь, 2011 г.) мкг/дм³

Элемент (предел обнаружения)	Белая Зима	Ия	Исток Ангары*	Элемент (предел обнаружения)	Белая Зима	Ия	Исток Ангары*
Be (0.0016)	<п.о.	0.0029	0.0016	Ge (0.0066)	<п.о.	<п.о.	—
B (3.93)	<п.о.	<п.о.	—	Sr (0.15)	40	48	97
Al (1.71)	6.2	21	6.2	Y (0.0008)	0.015	0.068	0.012
Si (13.6)	830	630	226	Zr (0.0024)	0.0029	0.026	0.016
P (2.36)	4.66	5.5	8	Nb (0.0011)	<п.о.	0.0034	—
Sc (0.0008)	0.0015	0.013	0.0021	Ag (0.0008)	<п.о.	0.0026	0.001
Ti (0.11)	0.20	0.41	0.44	Ba (0.20)	5.4	8.8	10.6
V (0.0054)	0.15	0.30	0.35	La (0.0048)	0.052	0.11	—
Cr (0.11)	0.15	0.21	—	Ce (0.0018)	0.028	0.13	0.033
Mn (0.051)	0.84	44	20	Nd (0.0017)	0.026	0.12	0.016
Fe (0.78)	6.6	219	12	Yb (0.0002)	0.0012	0.0081	0.0010
Co (0.0049)	0.0096	0.069	0.022	Ta (0.0001)	<п.о.	0.0003	0.0003
Ni (0.0036)	0.13	0.30	0.37	Tl (0.0013)	0.0014	0.0027	0.0018
Cu (0.0034)	3.09	0.68	2.52	Pb (0.068)	0.094	<п.о.	0.17
Zn (0.0074)	5.5	0.84	12.4	Th (0.0003)	0.0015	0.015	0.0042
Ga (0.0008)	0.0035	0.012	0.0061	U (0.0004)	0.056	0.11	0.49

* В статье Гребенщиковой, Загоруйко, 2013.

держит (мг/дм³) Ca²⁺ — 11.8 (ПО < 0.016), Mg²⁺ — 2.9 (ПО < 0.00169), Na⁺ — 0.85 (ПО < 0.00362), K⁺ — 0.33 (ПО < 0.00333), HCO₃⁻ — 50.8 (ПО < 6.1) и на основании формулы Курлова относится к ультрапресной гидрокарбонатной магниевно-кальциевой.

Некоторые микроэлементы (Be, B, Ge, Nb, Ag, Ta) присутствуют в воде в количествах, не обнаруживаемых методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (табл. 2). Среди этих элементов не только те, которые являются слабыми водными мигрантами (Ge, Nb, Ta), но также элементы с высокой миграционной способностью (B). Содержание остальных элементов (кроме Si и Cu) также низкое по сравнению с водой истока реки Ангары в 2011 г. и р. Ия, что может быть связано с особенностью питания реки (преимущественно снеговое в горном районе), местом отбора пробы, а также с низкой миграционной способностью главных рудных элементов (Nb, Ta, Th и др.). Рассчитанный нами коэффициент миграции для них (Перельман, 1961) составил менее 0.001. Высокой подвижностью обладают Cu, Na, K (K_{миг} 1–10), Ca, Mg, Sr (K_{миг} 0.1–1) и некоторые другие элементы.

Коэффициенты водной миграции отражают миграцию элементов лишь в растворенном виде, и не отражают других форм миграции, например, в составе взвесей. Представление о миграции элементов в составе взвесей дает нам химический состав донных отложений. По гранулометрическому

составу они суглинистые. Химический состав пробы показывает, что они характеризуются повышенным содержанием (мас. %) CaO — 4.45, MgO — 3.45 и микроэлементов (мг/кг): Zn — 230, V — 180, Nb — 450, Pb — 46, La — 310, Ce — 620, Th — 42, т.е. тех же элементов, которые были нами отмечены в повышенных содержаниях в породах и почвах, что указывает на их взаимосвязь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, экологическая ситуация на территории месторождения характеризуется как неблагоприятная. Химический состав изученных компонентов окружающей среды, кроме поверхностных вод р. Белой Зимы характеризуется высоким содержанием рудных и сопутствующих элементов.

Высокое содержание микроэлементов в почвах связано с наследованием ими химического состава почвообразующих пород и является фактором, обуславливающим неблагоприятную экологическую ситуацию, вследствие возможного вовлечения элементов в биологический круговорот. Радиоактивные торий, уран в почвах и породах в повышенной концентрации, а также продукты их распада обуславливают на территории поселка высокий радиоактивный фон.

Низкое содержание микроэлементов в природных водах связано с особенностями питания реки, местом отбора пробы и слабой миграцион-

ной способностью рудных элементов, входящих в состав пород и почв. Основным путем их миграции, по-видимому, является миграция в составе взвесей.

Процесс обогащения руд сопровождался концентрированием рудных элементов не только в полезном продукте обогащения, но и в пылевых отходах, которые могут оседать в производственных помещениях, выделяться в окружающую среду, представлять опасность для персонала. В соответствии с этим разработка месторождения требует применения более совершенных технологий добычи и переработки, исключая проживание персонала на территории, а также выделение в окружающую среду продуктов обогащения руды. Полученные результаты исследований химического состава компонентов окружающей среды могут быть использованы как исходные данные для проведения экологического мониторинга в случае разработки месторождения.

Авторы благодарны сотрудникам ИГХ СО РАН, принимавшим участие в исследованиях.

Работа выполнена в рамках программы ФНИ 127 (проект ИГХ СО РАН № 0350-2016-0027).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Быховский Л.З., Темнов А.В., Тигунов Л.П. (2002) Большеатагинское месторождение ниобия — объект первоочередного освоения в России. *Проблемы окружающей среды и природных ресурсов*. (10), 2-9.
- Горбачев В.Н. (1978) *Почвы Восточного Саяна*. М.: Наука, 199 с.
- ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. Дата введения 01.07.1993, 7 с.
- ГОСТ 31957-2012 Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. Дата введения 01.01.2014, 32 с.
- Государственный доклад (1996) О состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 1995 г. Иркутск, 227 с.
- Гребенщикова В.И., Загоруйко Н.А., Пастухов М.В. (2011) Мониторинговые исследования ионного состава воды истока р. Ангара (ОЗЕРО БАЙКАЛ). *Вода: химия и экология*. (4), 2-8.
- Гребенщикова В.И., Загоруйко Н.А. (2013) Многолетние мониторинговые исследования макро- и микрокомпонентного состава истока р. Ангара. *Вестник ИГХА*. Ч. II. Вып. 57, 88-95.
- Гребенщикова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А., Ломоносов И.С. (2008) Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон). (Под ред. Кузьмина М.И.). Новосибирск: Академическое изд-во "Гео", 234 с.
- Добровольский Г.В., Урусевская И.С. (2004) География почв: Учебник. М.: Изд-во МГУ, Изд-во "КолосС", 460 с.
- Китаев Н.А., Гребенщикова В.И. (2014) *Редкие и рудные элементы в окружающей среде Прибайкалья (коренные породы, донные отложения, почвы): монография / Н.А. Китаев, В.И. Гребенщикова*. Иркутск: Изд-во ИГУ, 123 с.
- Машковцев Г.А., Быховский Л.З., Рогожин А.А., Темнов А.В. (2011) Перспективы рационального освоения комплексных тантал-ниобий-редкоземельных месторождений России. *Разведка и охрана недр*. (7), 9-13.
- Мельник Н.А. (2005) Радиогеоэкологические проблемы эксплуатации редкометалльных месторождений. *Инновационный потенциал Кольской науки*. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 229-233.
- НСАМ-455-РС Определение мышьяка, селена, рубидия, стронция, циркония, ниобия, молибдена, иттрия, тория и урана в горных породах, рудах и продуктах их переработки рентгенофлуоресцентным методом.
- ПНД Ф 14.1:2.3:4.121-97 (2004) Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений pH в водах потенциометрическим методом. Москва, Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов.
- Перельман А.И. (1961) *Геохимия ландшафта*. М.: Географгиз, 496 с.
- Пожарицкая Л.К., Самойлов В.С. (1972) *Петрология, минералогия и геохимия карбонатитов Восточной Сибири*. М.: Наука, 264 с.
- Полевой определитель почв России (2008). М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 182 с.
- Темнов А.В., Пикалова В.С. (2013) Сценарии реализации минерально-сырьевого потенциала комплексных редкометалльных месторождений Зиминского рудного района. *Разведка и охрана недр*. (7), 54-60.
- Фролов А.А., Белов С.В. (2000) Комплексные карбонатитовые месторождения Зиминского рудного района (Восточный Саян, Россия). *Геология рудных месторождений*. 42(1), 109-130.
- Чумакова Н.Л., Смирнова Е.В. (2010) Определение лантана, церия, неодима, иттербия и иттрия в геологических пробах с использованием многоканального анализатора атомно-эмиссионных спектров. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 76(3), 3-8.
- Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. (2004) *Классификация и диагностика почв России*. Смоленск.: Ойкумена, 342 с.
- Kabata-Pendias A. (2011) *Trace Elements in Soils and Plants*. 505 p.
- Scheib A.J., Flight D.M.A., Birke M., Tarvainen T., Locutura J. and GEMAS Project Team. (2012) The geochemistry of niobium and its distribution and relative mobility in agricultural soils of Europe. *GEOCHEM-EXPLOR. ENV. A*. 12(4), 293-302.
- Vasilieva I.E., Shabanova E.V. (2017) Certified reference materials of geological and environmental objects: problems and solutions. *Anal. Chem. J.* 72(2), 129-146.