УДК 550.47

Мониторинговые исследования ландшафтов Северо-Кавказской геохимической провинции

В.А.АЛЕКСЕЕВКО¹, Н.В.ШВЫДКАЯ², А.В.ПУЗАНОВ³, А.В.НАСТАВКИН¹,

¹ Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

² Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т.Трубилина, Краснодар, Россия

³ Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

Приводятся данные о геохимических особенностях почвообразующих горных пород и почв провинции. Значительное внимание уделено региональным (местным) кларкам, а также кларкам концентрации и рассеяния химических элементов в ландшафтах. На примере Северного Кавказа показано, что по таким показателям как фитомасса, геологические, геоморфологические и геоботанические особенности, можно провести предварительное выделение региональных структур, соответствующих геохимическим провинциям. При этом необходимо обязательное последующее геохимическое изучение этих структур. Оно позволяет установить определенные геохимические ассоциации, на основании которых в основном и выделяются геохимические провинции; в значительной мере, в зависимости от геохимических свойств данных аккумулярованных и рассеянных ассоциаций элементов, формируются геохимические особенности почв. Результаты многолетних мониторинговых исследований ландшафтов Северо-Кавказской геохимической провинции показали, что ключевые особенности ландшафтов региона обусловлены составом коренных горных пород и наличием большого числа рудных месторождений и проявлений. Полученные сведения являются основой для оценки состояния окружающей среды в условиях возрастающего техногенного воздействия, а установленные региональные кларки могут применяться для оценки степени загрязнения в аграрных, селитебных и горнопромышленных ландшафтах.

Ключевые слова: распространенность и распределение элементов; миграция вещества; геохимические ассоциации; фитомасса; кларки концентрации и рассеяния

Как цитировать эту статью: Мониторинговые исследования ландшафтов Северо-Кавказской геохимической провинции / В.А.Алексеевко, Н.В.Швыдкая, А.В.Пузанов, А.В.Наставкин // Записки Горного института. 2020. Т. 243. С. 371-378. DOI: 10.31897/PMI.2020.3.371

Введение. Геохимическая неоднородность поверхности Земли потребовала для различных научных и хозяйственных целей обособления отдельных крупных территорий, отличающихся от соседних по целому ряду геохимических, а впоследствии и экологических признаков. Первоначально такое обособление должно было способствовать изучению развития различных тектономагматических процессов и поиску месторождений полезных ископаемых. Так, еще в позапрошлом веке было обосновано выделение металлогенических и петрографических провинций. Позднее, в основном, после работ А.Е.Ферсмана, стал использоваться термин «геохимическая провинция». Она обычно включает в себя две ранее упоминавшихся провинции (металлогеническую и петрографическую) и характеризуется определенными ассоциациями химических элементов, находящихся в повышенных или пониженных содержаниях в горных породах, а также, соответственно, в почвах и в организмах. Последнее, в определенной мере, позволяет включать в геохимическую провинцию биогеохимические провинции.

Таким образом, при выделении геохимической провинции учитываются, кроме основополагающих геохимических особенностей горных пород, климатические, геоморфологические, биогеохимические (а, следовательно, и геоботанические) и почвенно-геохимические особенности обособляемых территорий. Перечисленное выше позволяет при предварительном обособлении геохимических провинций во многом ориентироваться на особенности рельефа и растительные ассоциации. Они часто определяют особенности процессов почвообразования и миграции химических элементов, а иногда – даже основные формы их нахождения в различных составных частях геохимических ландшафтов рассматриваемой провинции. Проведя предварительное обособление потенциальных геохимических провинций, следует переходить к собственно геохимическим исследованиям с обязательным установлением геохимических особенностей обособляемых территорий и анализом развития в их пределах определенных месторождений полезных ископаемых, в первую очередь – рудных.

Средние содержания химических элементов в таких геохимических системах, как горные породы, почвы и живые организмы геохимических провинций, получили название соответст-

вующих региональных или местных кларков. Величины их отношений, соответственно к кларкам литосферы (определенных типов горных пород), почв Земли и живого вещества, В.И.Вернадский предложил именовать кларками концентраций КК [8]. Если эти величины меньше единицы, рассчитываются отношения кларков Земли к местным кларкам. Полученное значение обычно называют кларком рассеяния КР.

Постановка проблемы. Так как на содержания химических элементов в перечисленных геохимических системах провинции влияет большое число равновероятных случайных, независимых друг от друга факторов, то обычно распределение содержаний элементов аппроксимируется нормальным распределением. Это делает наиболее вероятным использование для мониторинговых исследований рассматриваемых геохимических систем среднего арифметического содержания. Оно, в таких случаях, обычно совпадает с модой и медианой. Важными показателями, но уже характеризующими разброс химических элементов в пределах ландшафтов Северо-Кавказской геохимической провинции, являются средние квадратическое отклонение и абсолютный разброс содержаний. В системах более мелких, чем геохимическая провинция, число равновероятных факторов распределения элементов не столь велико. В этом случае распределение чаще подчиняется логарифмически нормальному закону, что должно учитываться при проведении экологического мониторинга состояния ландшафтов.

Методы и материалы исследования. При подготовке работы использовались результаты ландшафтно-геохимического картографирования, проводимого при участии и под руководством авторов. Мониторинговые исследования ландшафтов Северо-Кавказской геохимической провинции 2000-2016 гг., охватывающие территорию от Средне-Русской возвышенности до Черного, Азовского и Каспийского морей, проводились в масштабе 1:500 000 и включали опробование почв, основных растений и, по возможности, коренных горных пород по сетке $5 \times 5 - 5 \times 7$ км. Для этого бурились специальные скважины и проходились шурфы.

Кроме того, практически ежегодно, включая 2019 г., авторами на отдельных, сравнительно небольших участках, проводилось площадное опробование почв и растений. Такие мониторинговые исследования были проведены на участках оработанных месторождений Hg, Cu, Zn, Pb, природных и строительных материалов, а также населенных пунктов и различных сельскохозяйственных угодий [19, 20]. Результаты обширных эколого-геохимических изысканий показывают, что горнопромышленные, аграрные и селитебные ландшафты необходимо рассматривать в более крупном масштабе [1, 9, 10, 12-18, 21, 23]. В этих случаях шаг отбора проб менялся от 2-5 до 200 м. Подробно методика исследований изложена в монографиях [2, 3, 5]. Всего при подготовке работы использовано более 30 000 проб, подверженных спектральному анализу в аттестованной и аккредитованной лаборатории. В части проб дополнительно проводились количественные химические, рентгенофлуоресцентные и нейтронно-активационные анализы. Внутрिलाбораторный и внешний контроль составлял каждый по 3-5 % от числа рядовых проб. Для внешнего контроля были выбраны лаборатории НИИ геохимии биосферы (Новороссийск), Магадангеологии (Магадан), Института геологии рудных месторождений (Москва), НИИ физической и органической химии Южного федерального университета (Ростов-на-Дону) и кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Южного федерального университета (Ростов-на-Дону).

Результаты и обсуждение. Горная территория Северного Кавказа обычно довольно четко обособляется от соседних территорий (рис.1). Граница между этими территориями подтверждается, особенно в западной части региона, четкой сменой растительных ассоциаций (рис.2) и биомассой живого вещества. Так, в биогенных ландшафтах при переходе от степных к лесным запас фитомассы изменяется от 11-13 до 180-300 т/га. Анализ структуры живой фитомассы растительных сообществ показал значительную роль подземных органов во всех травяных экосистемах. Для степей юга России установлены показатели надземной фитомассы растений, варьирующие в пределах 1,5-7,2 т/га, тогда как подземная фитомасса в данных фитоценозах составила 10,6-28 т/га. В лесных экосистемах 50-75 % фитомассы древостоя приходится на стволую древесину [6, 7].

Таким образом, по целому ряду показателей, характеризующих большую часть живого растительного вещества регионов, горные территории Северного Кавказа весьма существенно отличаются от соседних территорий. Однако отметим, что с увеличением масштаба исследований в пределах самого Северного Кавказа выделяются довольно многочисленные ландшафты, отличающиеся один от другого, в том числе и развитием различных растительных сообществ.

Рис.1. Схема расположения участков детальных исследований месторождений в пределах Северо-Кавказской геохимической провинции

- 1 – телетермальные ртутные (Краснодарский край: 1а – месторождение Сахалинское, 1б – месторождение Перевальное);
2 – колчеданное медно-цинковое (Карачаево-Черкесская республика, месторождение Уруп); 3 – Бурон из группы гидротермальных
свинцово-цинковых (Республика Северная Осетия – Алания); 4 – строительные материалы
(Краснодарский край: 4а – окр. г. Новороссийска; 4б – окр. г. Крымска, 4в – окр. с. Азербиевка; 4г – Ставропольский край,
Минераловодский р-н, г. Кинжал); 5 – вольфрамо-молибденовое (Кабардино-Балкарская республика, окр. г. Тырныауз)

Интенсивная антропогенная деятельность привела в рассматриваемом регионе к образованию довольно многочисленных, хотя и небольших по занимаемой площади, техногенных геохимических барьеров и ландшафтов. Наибольшую территорию занимают сельскохозяйственные ландшафты. Среди оказавших наибольшее воздействие на трансформацию биогенных ландшафтов выделяются виноградники. Однако, даже в случае их культивации на границе Северо-Кавказской геохимической провинции, эта граница остается довольно четко выделяемой по геоморфологическим и геоботаническим особенностям сопредельных провинций (рис.3). Таким образом, предварительные геологические, геоморфологические и ботанические исследования позволяют довольно уверенно обособить территорию Северного Кавказа.

Рассмотрим основные геохимические особенности изученной территории. Постоянным источником химических элементов, поступающих в верхние горизонты ландшафтов, являются почвоподстилающие и почвообразующие горные породы. Детальными исследованиями в конкретных условиях западной части Северного Кавказа была установлена довольно четкая связь содержаний практически всех элементов в горных породах, почвах и древесной растительности. Она иллюстрируется результатами мониторинговых исследований, по результатам которых были оценены распределение и распространенность ряда химических элементов, к примеру, Mn (рис.4-6). Территория Северного Кавказа, потенциально обособляемая как геохимическая провинция, сложена горными породами, отличающимися как по возрасту, так и по геохимическим особенностям от почвоподстилающих пород Предкавказья [4].

Рис.2. Природные геохимические ландшафты на границе Северо-Кавказской геохимической провинции. На переднем плане представлены лугово-степные сообщества, далее – разреженные фрагменты дубово-грабового леса, на заднем плане – дубово-грабовые и грабовые леса низкогорного лесного пояса

Рис.3. Сельскохозяйственный ландшафт виноградников на границе Северо-Кавказской геохимической провинции

АЗОВСКОЕ МОРЕ

Рис.4. Карта фоновых содержаний Mn ($n \cdot 10^{-3}\%$) в горных породах Западной части Северного Кавказа

1 – 53,0 в терригенных породах; 2 – 64,2 в кислых магматических породах; 3 – 75,6 в терригенных породах; 4 – 78,2 в карбонатно-терригенных; 5 – достоверных данных о фоновом содержании Mn в метаморфических породах протерозойского возраста нет; 6 – населенные пункты; 7 – лиманы Таманского п-ва

АЗОВСКОЕ МОРЕ

Рис.5. Карта фоновых содержаний Mn ($n \cdot 10^{-3}\%$) в почвах Западной части Северного Кавказа

1 – более 114; 2 – 85-114; 3 – 50-84; 4 – среднее содержание

АЗОВСКОЕ МОРЕ

Рис.6. Карта фоновых содержаний Mn ($n \cdot 10^{-3}\%$) в золе листьев граба

1 – 725-850; 2 – 552-724; 3 – 80-551; 4 – среднее содержание; 5 – ландшафты с растительными сообществами без граба

Так как геохимические особенности коренных горных пород в значительной или даже решающей мере определяют и ландшафтно-геохимическое, и эколого-геохимическое своеобразие отдельных участков биосферы, геохимии горных пород региона уделено особое внимание при проведении мониторинговых исследований.

Подавляющая площадь рассматриваемой территории Северного Кавказа сложена осадочными породами. Среди них выделяются глины, сланцы, песчаники, мергели, известняки, доломиты. Однако обособление всех этих разновидностей осадочных пород становится возможным только при специально проводимых детальном исследованиях на отдельных, обычно небольших по площади, участках. Проведение таких исследований показало, что соотношение в регионе глинистых, песчаных и карбонатных пород такое же, как было установлено Л.Б.Рухиным для осадочных пород литосферы – 5:3:2. Из-за частого переслаивания сравнительно маломощных горизонтов всех перечисленных пород, а также учитывая значительное содержание терригенного материала в карбонатных прослоях, нами при проведении указанных выше работ все осадочные породы были объединены в две важнейших группы: терригенные и карбонатно-терригенные. Средние содержания ряда химических элементов в основных группах горных пород региона, установленные по результатам анализов отобранных нами проб на Северном Кавказе, приведены в таблице. Эти содержания можно предварительно считать местными кларковыми содержаниями для данных типов горных пород Северо-Кавказской геохимической провинции.

С определенной долей условности, учитывая данные К.Х.Ведеполя и К.К.Турекяна [22], и приведенное выше соотношение между глинистыми, песчаными и карбонатными породами, были также рассчитаны средние (кларковые) содержания элементов в терригенных и карбонатно-терригенных породах литосферы (см. таблицу). Сравнивая с ними средние содержания химических элементов в горных породах Северного Кавказа, постараемся выявить геохимическую специализацию пород региона. Также в таблице приведены сведения о содержаниях ряда элементов в кислых магматических породах, встречающихся на сравнительно небольшой территории на востоке провинции. Для сравнения с кларками литосферы для аналогичных пород использованы КК и КР.

Некоторые закономерности распространенности ($n \cdot 10^{-3} \%$) ряда химических элементов в преобладающих горных породах Северо-Кавказской геохимической провинции

Элемент	Номер элемента	Горные породы											
		Карбонатно-терригенные				Терригенные				Кислые магматические			
		Кларк				Кларк				Кларк			
		Лито-сферы	Сев. Кавказа	Концен-трации	Рас-сеяния	Лито-сферы	Сев. Кавказа	Концен-трации	Рас-сеяния	Лито-сферы	Сев. Кав-каза	Концен-трации	Рас-сеяния
Ag	47	0,008	0,006		1,37	0,008	0,0075		1,07	0,0051	0,008	1,57	
Ba	56	41,7	57,5	1,37		51,9	58,6	1,13		42	58,5	1,4	
Be	4	0,18	0,20	1,11		0,20	0,27	1,35		0,2	0,4	2	
Co	27	1,01	1,0		1,01	1,26	1,328	1,05		0,7	0,8	1,14	
Cr	24	6,27	6,5	1,04		7,6	10	1,31		2,2	8,4	3,81	
Cu	29	4,43	3,8		1,16	5,44	5,0		1,09	3	3,6	1,2	
Ga	31	1,94	0,03		3,08	2,32	1,59		1,46	1,7	2,04	1,2	
Ge	32	0,13	0,11		1,18	0,16	0,17	1,06		0,13	0,15	1,2	
Li	3	3,6	2,9		1,24	4,3	4,65	1,08		2,4	3,9	1,6	
Mn	25	57	80	1,40		43,75	71,9	1,64		54	53		1,01
Mo	42	0,11	0,18	1,64		0,13	0,28	2,15		0,1	0,22	2,2	
Nb	41	1,01	0,70		1,43	1,25	1,50	1,2		2	1,5		1,3
Ni	28	5,21	2,12		2,46	6,01	3,87		1,55	1,5	2,3	1,5	
P	15	13,1	30,2	2,30		54,5	63,8	1,17		92			
Pb	82	1,39	1,8	1,3		1,5	2,64	1,76		1,5	3,3	2,2	
Sc	21	0,55	0,53		1,04	0,66	0,81	1,22		1,4	2,0	1,4	
Sn	50	0,53	0,35		1,51	0,64	0,47		1,36	0,15	0,45	3	
Sr	38	35,3	57,1	1,62		28,9	30	1,03		44	2,4		1,6
Ti	22	278	247		1,13	338	408	1,2		340	360	1,05	
V	23	7,5	3,8		1,97	3,88	10,6	2,73		8,8	8,0		1,1
W	74	0,16	0,14		1,14	0,19	0,19	1		0,13	0,17	1,3	
Y	39	3,3	1,2		2,75	3,38	1,64		2,06	3,5	2		1,7
Yb	70	0,28	0,1		2,8	0,34	0,18		1,88	0,35	0,2		1,7
Zn	30	4,85	5,3	1,09		5,56	7,86	1,41		6	6,4	1,06	
Zr	40	16,9	89,0	5,26		20,8	14,4	1,44		14	10		1,4

Как видно из приведенных данных, повышенные более чем в 1,5 раза средние содержания во всех разновидностях пород установлены только для Mo. В карбонатно-терригенных породах повышены средние содержания Zr (5,3), P (2,3), Sr (1,6), Mn (1,4), Ba (1,37), Pb (1,3) (в скобках приведены КК). Лишь незначительно превышают кларк средние содержания Be, Cr, Zn. В терригенных породах КК больше 1,4 установлен для Mo (2,15), V (2,73), Pb (1,76), Mn (1,64), Zn (1,4) и Zr (1,4). В кислых магматических породах КК больше 1,4 характерен для Ag (1,57), Ba (1,4), Be (2), Cr (3,8), Li (1,6), Mn (2,2), Nb (2), Ni (1,5), Pb (2,2), Sn (3).

Приведенные данные позволяют с определенной долей условности представить общую ассоциацию химических элементов, находящихся в повышенных концентрациях в горных породах Северного Кавказа в следующем виде: Mo → Pb → Ba → Cr → Zn → Be. На отдельных участках и в определенных породах часто повышены средние содержания Sr, Zr, Mn, V, Cu, Zn, Ni.

Характеризуя с точки зрения геохимии горные породы Северного Кавказа, следует также выделить ассоциации химических элементов, находящихся в пониженных средних содержаниях по сравнению с содержаниями в аналогичных горных породах литосферы. Как видно из таблицы, для Y и Yb установлены средние содержания во всех разновидностях выделенных горных пород Северного Кавказа, пониженные в 1,5 раза и более. Часто понижены средние содержания Ag, Cu, Ga, Ni. На отдельных участках в осадочных породах понижены концентрации Cu и Sn, а в магматических – Sr.

Можно считать, что описанная геохимическая картина сформировалась в результате особых условий протекания в регионе различных геохимических процессов (от тектоно-магматических до осадочных и процессов выветривания). Именно эта картина во многом способствовала выделению Северо-Кавказской геохимической провинции. Указанные особенности горных пород в последующей геохимической истории регионов несомненно влияли на развитие почвообразования, а также геоботанических и биогеохимических особенностей региона. Наибольшее влияние

могли оказывать химические элементы, находящиеся в существенно повышенных (пониженных) концентрациях в горных породах.

Все шесть указанных выше химических элементов, находящихся в повышенных содержаниях в различных по составу в горных породах региона (Mo, Pb, Ba, Cr, Be, Zn) относятся к водным мигрантам по классификации А.И.Перельмана [11]. Из них для четырех (Mo, Ba, Be, Zn) биогенное накопление играет в истории элемента существенную роль, а Mo, Zn, Pb, Ba, Be подвижны и слабоподвижны в окислительной обстановке. Следовательно, в зоне гипергенеза с окислительной обстановкой эти элементы могут переходить в ионную форму и перемещаться в виде растворов. По величине потенциала ионизации (а следовательно по энергии, необходимой для образования катиона) элементы, наиболее распространенные в породах (по отношению к кларкам литосферы) могут быть сгруппированы таким образом: 1 – Ba (5,19); 2 – Cr (6,74), Mo (7,35), Pb (7,40); 3 – Be (9,50), Zn (9,35).

За исключением Ba, такая последовательность элементов в зависимости от потенциала ионизации практически отвечает положению элементов, находящихся в повышенных концентрациях в горных породах. Это позволяет предположить большую роль ионной миграции в формировании современного геохимического облика горных пород региона. При процессах последующего выветривания этих пород для рассматриваемых элементов также велика роль ионной миграции.

Об этом же свидетельствуют величины ионного потенциала Картледжа. Для элементов Ba, Pb, Zn они менее трех, а, следовательно, для них характерна миграция в виде катионов, не образующих комплексные ионы. Размеры радиусов ионов и их энергетические коэффициенты позволяют считать, что дальность миграции этих элементов должна быть примерно одинаковой.

Заключение. Предварительное обособление территорий, относимых к геохимическим провинциям, целесообразно проводить с учетом комплекса общегеологических, геоморфологических и ботанических особенностей при последующем обязательном проведении геохимического изучения горных пород, почв, растений. Геохимические исследования должны включать установление величин кларков концентрации и кларков рассеяния, выделение ассоциации элементов, находящихся в повышенных и пониженных концентрациях, установление величин абсолютного разброса средних содержаний.

Основное своеобразие провинций определяется геохимическим обликом коренных горных пород и наличием большого числа рудных месторождений и проявлений. В значительной мере в зависимости от геохимических свойств элементов, находящихся в ассоциациях повышенных и пониженных содержаний, формируются геохимические особенности почв, а также геоботанические и биогеохимические особенности растительности, вплоть до образования соответствующих провинций.

Публикация выполнена в рамках программы поддержки публикационной активности Южного федерального университета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авессаломова И.А. Структурно-функциональная организация горно-промышленных ландшафтов // Устойчивое развитие горных территорий в условиях глобальных изменений: Материалы VII Международной научной конференции. Владикавказ: Терек, 2010. С. 80-89.
2. Алексеевко В.А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: Логос, 2005. 354 с.
3. Алексеевко В.А. Геоэкология. Экологическая геохимия. Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. 688 с.
4. Алексеевко В.А. Металлы в окружающей среде. Лесные ландшафты Северо-Западного Кавказа / В.А.Алексеевко, А.В.Суворинов, Е.В.Власова. М.: Университетская книга, 2008. 264 с.
5. Алексеевко В.А. Основы экологической геохимии: термины, понятия, законы / В.А.Алексеевко, Т.В.Жуйкова, Н.В.Швыдкая. Нижний Тагил: Изд-во НГСПИ, 2019. 336 с.
6. Базилевич Н.И. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем / Н.И.Базилевич, О.С.Гребенщиков, А.А.Тишков. М.: Наука, 1986. 296 с.
7. Бакаева З.М. Запасы и потоки углерода в лесах Северного Кавказа / З.М.Бакаева, Д.Г.Замолотчиков // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2009. № 5. С. 78-82.
8. Вернадский В.И. Живое вещество и биосфера. М.: Наука, 1994. 672 с.
9. Геоэкологический анализ ландшафтов острова Шкота (Японское море) / К.С.Ганзей, А.Г.Киселева, Н.Ф.Пшеничникова, И.М.Родникова // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2019. № 3. С. 63-74.

10. Геохимическая трансформация постмелиорированных ландшафтов / И.А.Авессаломова, К.Н.Дьяконов, А.В.Савенко, Т.И.Харитонов // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2014. № 2. С. 17-24.
11. *Перельман А.И.* Геохимия. М.: Высшая школа, 1979. 527 с.
12. Сравнительно-временной анализ содержания тяжелых металлов в аномальных зонах почв Северодвинского промышленного района / Е.Н.Зыкова, С.Б.Зыков, Е.Ю.Яковлев, Н.С.Ларионов // Успехи современного естествознания. 2018. № 8. С. 130-135.
13. Экологическая ситуация и состояние здоровья населения Актюбинской области / К.М.Кибатаев, С.К.Саханова, Г.М.Ургушбаева, А.Н.Жиенгалиева, Ж.М.Абилова, Г.С.Куспангалиева // Современная медицина: новые подходы и актуальные исследования: Сборник статей по материалам XVI международной научно-практической конференции. № 10 (14). М.: «Интернаука», 2018. С. 20-29.
14. Change of elemental composition of soil upper horizon under the influence of oil and gas refining enterprises / V.V.Boev, N.V.Baranovskaya, V.A.Boev, T.S.Shakhova, L.V.Zhornyak // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering. 2019. Vol. 330(11). P. 179-191.
15. Does open-beach ship-breaking affect the mineralogical composition of soil more adversely than typical industrial activities? / I.M.M.Rahman, R.Mutsuddi, N.Jii, B.K.Dey, H.Hasegawa // Journal of Environmental Management. 2019. Vol. 240. P. 374-383.
16. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and heavy metal accumulation of bermudagrass [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.] grown in a lead-zinc mine wasteland / F.Zhan, B.Li, M.Jiang, Y.Li, Y.Wang // International Journal of Phytoremediation. 2019. Vol. 21(9). P. 849-856.
17. Indication by environmental components the pollutant transboundary transfer to Gorny Altai / Y.V.Robertus, V.N.Udachin, L.P.Rikhvanov, A.V.Kivatskaya, R.V.Lyubimov, D.V.Yusupov // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering. 2016. Vol. 327(9). P. 39-48.
18. Human health risk assessment and riskiest heavy metal origin identification in urban soils of Yerevan, Armenia / G.Tepanosyan, L.Sahakyan, O.Belyaeva, N.Maghakyan, A.Saghatelian // Chemosphere. 2017. Vol. 184. P. 1230-1240.
19. Natural Restoration of Mining Influenced Soils in the Northwestern Caucasus, Russia / V.A.Alekseenko, N.V.Shvydkaya, A.V.Alekseenko, S.B.Yashchinin // Assessment, Restoration and Reclamation of Mining Influenced Soils. London: Academic Press, 2017. P. 275-296.
20. Some Geochemical Features of Soils Formed under Conditions of Abandoned Mercury Deposits in Krasnodar Krai / V.A.Alekseenko, A.V.Alekseenko, L.G.Bogatyrev, N.V.Shvydkaya, A.I.Benediktova // Moscow University Soil Science Bulletin. 2017. Vol. 72. № 2. P. 84-91.
21. Sources analysis and health risk assessment of trace elements in urban soils of Hualpen, Chile / P.Tume, E.González, F.Reyes, J.Bech, G.Medina // Catena. 2019. Vol. 175. P. 304-316.
22. *Wedepohl K.H.* The composition of the continental crust // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1995. Vol. 59. № 7. P. 1217-1232.
23. Zero valent iron and goethite nanoparticles as new promising remediation techniques for As-polluted soils / D.Baragaño, J.Alonso, J.R.Gallego, M.C.Lobo, M.Gil-Díaz // Chemosphere. 2020. Vol. 238. P. 124-624.

Авторы: В.А.Алексеевко, д-р геол.-мин. наук, профессор, vl.al.alekseenko@gmail.com (Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия), Н.В.Швыдкая, канд. биол. наук, доцент, pereta@mail.ru (Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т.Трубилина, Краснодар, Россия), А.В.Пузанов, д-р биол. наук, профессор, puzanov@iwer.ru (Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия), А.В.Наставкин, канд. геол.-мин. наук, доцент, geo_alex@mail.ru (Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия).

Статья поступила в редакцию 20.03.2020.

Статья принята к публикации 24.03.2020.