

7. Shvartsev S.L. *Gidrogeokhimiya zony gipergeneza*. – M.: Nedra, 1998.
8. SanPiN 2.1.4.1074-01.
9. Nikanorov A.M. *Gidrokhimiya: ucheb-nik*. – 2-e izd., pererab. i dop. – SPb.: Gidrometeoizdat, 2001. – 444 s.
10. Panitskiy A.V., Magasheva R.Yu., Lukashenko S.N. *Kharakternye osobennosti radioaktivnogo zagryazneniya komponentov prirodnoy sredy ekosistem vodotokov shtolen gornogo massiva «Degelen» [Sbornik trudov Instituta radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii za 2007-2009 gg.] / pod ruk. S.N. Lukashenko*. – Pavlodar: Dom pečati, 2010. – 528 s.
11. Markert B., Fresenius J. *Inorganic chemical fingerprinting of the environment: "reference freshwater" – a useful tool for comparison and harmonization of analytical data in freshwater chemistry // J. Anal. Chem.* – 1994. – 349:697-702.
12. Samarina V.S. *Gidrogeokhimiya: uchebnoe posobie*. – L.: Izd-vo Leningrad, 1977. – 360 s.
13. Pimenova E.V. *Khimicheskie metody analiza v monitoringe vodnykh ob"ektov*. – Perm': FGBOU VPO Permskaya GSKhA, 2011. – 138 s.
14. Alekin O.A. *Osnovy gidrokhimii*. – L.: Gidrometeoizdat, 1970. – 444 s.
15. GOST R 51592-2000. *Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob.* – M.: Izd-vo standartov, 2000. – 8 s.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантового финансирования Министерства образования науки Республики Казахстан (5032/ГФ4 «Выявление механизмов формирования уровня загрязнения химическими токсикантами объектов водопользования бывшего Семипалатинского испытательного полигона»).



УДК 504.4.054:546:539.16

**Н.Ж. Мухамедияров, С.Н. Лукашенко,
М.Т. Койгельдинова, С.В. Макарычев, Т.Г. Кириллова
N.Zh. Mukamediyarov, S.N. Lukashenko,
M.T. Koygeldinova, S.V. Makarychev, T.G. Kirillova**

**ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РУЧЬЯ УЗЫНБУЛАК
ELEMENTAL COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS IN UZYNBULAK CREEK**

Ключевые слова: бериллий, уран, элемент, тяжелые металлы, кларк, донные отложения.

Keywords: beryllium, uranium, element, heavy metals, clarke, bottom sediments.

Приведены результаты исследования элементного состава компонентов экосистемы ручья Узынбулак в разные сезоны одного года. В донных отложениях выявлены превышения средних содержаний в сравнении с кларковыми значениями в почвах мира таких элементов, как Be, Mg, Al, Cr, Zn, Cd, Pb и U. Представлены данные исследований по содержанию форм нахождения химических элементов в донных отложениях на наиболее загрязненном участке ручья Узынбулак с 9 по 11,5 км.

The findings of the study of elemental composition in ecosystem components in the Uzynbulak creek in different seasons of the same year are discussed. Bottom sediments have revealed the excess of mean concentrations of such elements as Be, Mg, Al, Cr, Zn, Cd, Pb and U as compared to clarke values in soils worldwide. Study data are presented on the concentrations of chemical elements in bottom sediments in the most contaminated areas of the Uzynbulak creek in the section kilometer 9 to 11.5.

Мухамедияров Нурлан Жумагазыевич, инженер, лаб. элементного анализа, Институт радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра РК, г. Курчатов, Республика Казахстан. E-mail: mukhamediyarov@nnc.kz.

Mukamediyarov Nurlan Zhumagazyevich, Engineer, Elemental Analysis Lab., Institute of Radiation Safety and Ecology, Natl. Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Republic of Kazakhstan. E-mail: mukhamediyarov@nnc.kz.

Лукашенко Сергей Николаевич, к.б.н., зам. ген. директора по радиэкологии, Институт радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра РК, г. Курчатов, Республика Казахстан. E-mail: lukashenko@nnc.kz.

Lukashenko Sergey Nikolayevich, Cand. Bio. Sci., Deputy General Director for Radioecology, Institute of Radiation Safety and Ecology, Natl. Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Republic of Kazakhstan. E-mail: lukashenko@nnc.kz.

Койгельдина Мадина Талгатовна, к.б.н., руководитель лаб. элементного анализа, Институт радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра РК, г. Курчатов, Республика Казахстан. E-mail: koigeldinova@nnc.kz.

Макарычев Сергей Владимирович, д.б.н., проф., зав. каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Кириллова Татьяна Гайнановна, инженер, лаб. элементного анализа, Институт радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра РК, г. Курчатов, Республика Казахстан. E-mail: kirillova@nnc.kz.

Koigeldinova Madina Talgatovna, Cand. Bio. Sci., Head, Elemental Analysis Lab., Institute of Radiation Safety and Ecology, Natl. Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Republic of Kazakhstan. E-mail: koigeldinova@nnc.kz.

Makarychev Sergey Vladimirovich, Dr. Bio. Sci., Prof., Head, Physics Dept., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Kirillova Tatyana Gaynanovna, Engineer, Elemental Analysis Lab., Institute of Radiation Safety and Ecology, Natl. Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Republic of Kazakhstan. E-mail: kirillova@nnc.kz.

Введение

Горный массив Дегелен входит в состав региональной гидрогеологической системы левобережья реки Иртыш и занимает площадь около 220 км², где берут начало поверхностные водные системы, имеющие сток преимущественно в северном и восточном направлениях. Основные ручьи – Узынбулак, Карабулак, Байтлес и Токтакушик [1].

Для исследования механизмов формирования элементного состава был выбран наиболее протяженный ручей Узынбулак, поверхностные воды которого могут быть потенциальным источником выноса ТМ и токсичных элементов за пределы горного массива. Пресные воды ручья используются местным населением для водопоя скота. Поэтому одной из проблем является выяснение, происходит ли постепенное накопление ТМ и других токсичных элементов в русле ручья, находятся ли они в связанной форме или способны легко мигрировать по пищевой цепи.

Для природных вод литосфера является первоисточником многих химических элементов. Так, вода, фильтруясь через почву, выщелачивает растворимые ее части, изменяя свой состав в направлении: 1) увеличения содержания ионов; 2) изменения содержания растворенных газов; 3) увеличение содержания органического вещества.

На формирование состава природных вод также влияют биохимические процессы. К ним относятся минерализация органического вещества; фотосинтез; биохимические процессы с участием неорганических соединений, например, образование аммиака, нитритов, сероводорода и др.

Объекты и методы

С целью оценки химического состава донных отложений ручья Узынбулак в 2015 г. были отобраны пробы от места выхода водотока на дневную поверхность через каждые 500 м до 9 км.

Пробы донных отложений отбирались согласно ГОСТ 17.1.5.01-80 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность» [3, 4].

Определение содержания ХЭ проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7700x фирмы «Agilent Technologies» и «Elan 9000» фирмы «Perkin Elmer SCIEX», а также атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой «iCAP 6300 Duo» фирмы Thermo Scientific.

Результаты исследований и их обсуждение

Донные отложения, аккумулируя загрязнители, поступающие с водосборов в течение длительного промежутка времени, являются интегральным показателем уровня загрязненности, а также могут быть источником вторичного загрязнения. Поэтому процессы взаимодействия поверхностных вод с донными отложениями играют важную роль в формировании экологического состояния ручья Узынбулак.

В таблице 1 представлены среднее содержание и пределы колебаний исследуемых химических элементов в донных отложениях ручья, а также данные выщелатов донных отложений (7 М HNO₃), которые не дают представление о валовом содержании элементов. Поскольку утвержденные экологические нормативы содержания микроэлементов в донных отложениях отсутствуют, при анализе полученных результатов были использованы ПДК для почв, а также кларки данных элементов в почве по Виноградову.

Среднее содержание таких элементов, как Be, Mg, Al, Cr, Zn, Cd, Pb и U в несколько раз выше их кларковых содержаний в почвах мира, что может указывать на то, что породы, слагающие долину ручья Узынбулак, обогащены данными хими-

ческими элементами. Для редкоземельных элементов превышение над уровнем кларка наблюдалось только у истока ручья.

Проведен сравнительный анализ данных содержания химических элементов в донных отложениях ручья Узынбулак в различные периоды. В летний и осенний периоды по сравнению с весенним наблюдается четкая тенденция увеличения концентраций

следующих элементов: Li, Mg, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Mo, Cd, Cs, Ba, Pb, Th и РЗЭ. Среднее содержание таких элементов, как Be, Mg, Al, Cr, Zn, Cd, Pb и U в несколько раз выше их кларковых содержаний в почвах мира, что может указывать на то, что породы, слагающие долину ручья Узынбулак, обогащены данными химическими элементами.

Таблица 1

Медиана и пределы колебаний химических элементов в донных отложениях ручья Узынбулак, мг/кг

Элемент	Ме (весна) min-max	Ме (лето) min-max	Ме (осень) min-max	Кларк в почвах мира [7]	ПДК [7]
1	2	3	4	5	6
Li	4,9* 0,01-23	22 9,2-30	32 21-49	32	-
Be	10 0,9-55	24 1,7-52	10 2,8-46	6	50
Na	76 37-120	1100 610-2100	78 52-320	25000	-
Mg	2800 250-5900	4600 2100-7600	4800 860-13000	1200	-
Al	14000 2000-26000	18000 7200-29000	15000 5500-41000	4800	-
K	3200 990-5900	6600 3700-11000	4600 2400-9500	25000	-
Ca	7100 410-78000	13000 4300-57000	16000 3100-130000	29600	-
Ti	360 110-720	590 250-1200	520 220-1500	-	-
V	18 3,6-32	43 24-72	35 16-94	90	150
Cr	58 17-110	100 2-500	120 36-340	83	-
Mn	290 82-27000	480 120-5700	650 250-9000	1000	1500
Fe	13000 3600-46000	17000 9300-37000	19000 11000-45000	46500	-
Co	3,4 0,9-15	8 3,6-16	7,2 3,5-13	18	100
Ni	12 3,5-18	23 14-39	22 10-31	58	100
Cu	14 3,1-48	24 15-41	26 12-44	47	100
Zn	85 23-1000	220 47-2100	130 58-920	83	300
Ga	14 4,4-63	9 5,9-15	14 6,1-25	19	-
Rb	14 4,4-26	35 14-51	32 16-62	150	-
Sr	46 4,3-230	120 23-280	120 21-490	340	-
Nb	1,5 0,8-4,1	2 0,9-4,8	1,6 0,5-4,5	4500	-
Mo	3,8 1,6-33	6,7 1,5-23	6,4 2,2-42	20	-
Cd	0,5 0,008-4,1	1,1 0,35-6,7	0,8 0,21-4,9	0,13	3
Cs	1,2 0,1-3,1	2,8 1,5-4,5	3,4 2-5	3,7	-
Ba	80 24-990	200 74-400	160 49-310	500	-
La	14 4,3-66	28 8,2-73	26 5,6-110	29	-

1	2	3	4	5	6
Ce	<u>27</u> 9-59	<u>50</u> 16-120	<u>56</u> 11-95	70	-
Pr	<u>3,2</u> 1-16	<u>6,4</u> 1,9-15	<u>5,7</u> 1,3-19	9	-
Nd	<u>12</u> 4,1-60	<u>22</u> 6,8-51	<u>24</u> 6,1-87	37	-
Sm	<u>2,2</u> 0,9-12	<u>4,6</u> 1,8-10	<u>4,6</u> 1,2-17	8	-
Eu	<u>0,34</u> 0,01-6,6	<u>0,68</u> 0,26-1,1	<u>0,64</u> 0,24-2	1,3	-
Gd	<u>2,3</u> 0,8-12	<u>4,4</u> 1,4-10	<u>4,4</u> 1,2-17	8	-
Dy	<u>1,3</u> 0,01-8,7	<u>3,4</u> 1,1-9,3	<u>3,5</u> 0,9-15	5	-
Ho	<u>0,3</u> 0,01-3,2	<u>0,7</u> 0,24-2	<u>0,6</u> 0,13-2,6	1,7	-
Lu	<u>0,8</u> 0,01-5,5	<u>0,3</u> 0,11-0,85	<u>0,3</u> 0,06-1,1	0,8	-
Pb	<u>0,03</u> 0,01-0,43	<u>22</u> 12-33	<u>21</u> 11-35	16	32
Th	<u>4</u> 1,1-7,8	<u>7</u> 2,1-39	<u>12</u> 1,8-22	13	-
U	<u>16</u> 0,9-210	<u>14</u> 2,8-540	<u>7</u> 1,8-520	2,5	-

Примечание. Для каждого элемента подсчитывались основные параметры распределения химических элементов: медиана (Me), минимальное (min) и максимальное (max) значения (для всех сезонов года в общем); - – отсутствие литературных данных, * – среднее значение.

Для прогнозирования возможных процессов миграции и аккумуляции элементов в донных отложениях ручья Узынбулак кроме валового содержания элементов были определены легкоподвижные и кислоторастворимые формы. Состав химических элементов определялся в донных отложениях, отобранных в летний период с 9 по 11,5 км от истока ручья, участок, характеризующийся максимальной концентрацией большинства исследуемых химических в системе «вода-донные отложения».

Производили параллельную экстракцию ХЭ из отдельных навесок донных отложений с использованием разных экстрагентов. При этом считают, что более «сильный» экстрагент извлекает из пробы также и те формы соединений ХЭ, которые извлекаются более «слабыми» экстрагентами. В таблице 2 представлены валовое содержание и формы соединений, исследуемых ХЭ в донных отложениях ручья Узынбулак.

Исходя из данных таблицы 2, формы соединений элементов в донных отложениях ручья Узынбулак относительно процента от валового содержания располагаются в следующем убывающем ряду: кислоторастворимая > обменная > водорастворимая.

Исключение – для молибдена: для него следующий ряд: обменная > кислоторастворимая > водорастворимая.

Среднее содержание изученных элементов в формах не превышало кларковое значение. Однако в кислоторастворимой форме отмечено превышение для бериллия (в 3 раза), кадмия (в 5 раз), цинка (в 4 раза), свинца (в 1,5 раза) и урана (в 5 раз).

Для вытяжек водной фазы отмечено незначительное содержание большинства элементов (не более 1%). В водной вытяжке содержание изученных элементов мало, но это не означает, что их мало и в твердых фазах, что объясняется низкой растворимостью преобладающих соединений [13]. Достаточно высокий процент выщелачивания (в % валового содержания) наблюдается для натрия, магния, марганца, лития, стронция и молибдена – от 2 до 14%. Причина – перечисленные элементы довольно подвижны в водах аридного климата. Построен убывающий ряд водорастворимой формы (% от валового содержания) изученных элементов: Sr>Mg>Mo> Mn>Na> Li>K>Ba>Ni=Co>Be=Cu>U>Al=V=Zn>Cd =Th>Cr=Fe.

Валовое содержание и формы соединений химических элементов в донных отложениях р. Узынбулак (n=6), мг/кг

Элемент	Me* (H ₂ O) min-max	Me* (CH ₃ COOCH ₃) min-max	Me* (HCl) min-max	Me*(валовое) min-max	Кларк в почвах мира [7]
Li	0,31 0,15-0,49 (2,2%)	0,75 0,38-1,10 (4,6%)	1,1 0,8-2,4 (6,8%)	16 7-20	32
Be	0,15 0,01-0,73 (0,4%)	0,54 0,02-1,20 (1,5%)	27 1-37 (76,4%)	35 4-44	6
Na	150 62-340 (3,5%)	220 92-370 (4,9%)	220 79-400 (5%)	4400 1800-9100	25000
Mg	190 40-420 (10,0%)	700 310-1000 (38%)	1000 320-2300 (57%)	1800 900-4400	1200
Al	14 0,61-44,0 (0,2%)	7,6 0,01-22 (0,1%)	4300 1000-6900 (55%)	7900 4400-14000	4800
K	190 94-390 (1,5%)	620 370-870 (5%)	680 400-1000 (5,4%)	13000 4500-24000	25000
V	0,09 0,016-0,15 (0,2%)	0,07 0,04-0,21 (0,1%)	10 6,8-36,0 (18,0%)	57 33-68	90
Cr	0,019 0,007-0,033 (0,01%)	0,69 0,68-0,73 (0,4%)	22 16-64 (12,5%)	180 88-280	83
Mn	31 0,37-110,0 (4,2%)	290 64-550 (40%)	490 80-1100 (66%)	730 180-2200	1000
Fe	3,6 1,3-6,4 (0,01%)	3,4 0,01-16,0 (0,01%)	6200 2600-16000 (28%)	22000 13000-29000	46500
Co	0,05 0,024-0,17 (0,6%)	0,25 0,17-0,54 (3,1%)	2,4 1,8-3,9 (30,7%)	8,0 5,4-9,8	18
Ni	0,17 0,06-0,33 (0,6%)	0,45 0,21-0,87 (2,1%)	8,5 4,1-20,0 (32,6%)	26 17-35	58
Cu	0,096 0,023-0,150 (0,4%)	0,16 0,04-0,21 (0,6%)	9,8 5,1-18,0 (37,4%)	26 15-40	47
Zn	1,42 0,19-17,00 (0,2%)	46,0 3,6-120,0 (5,7%)	570 31-2700 (71,3%)	800 130-2500	83
Sr	8,4 1,5-30,0 (14,4%)	49 16-100 (84,5%)	57 12-110 (98,3%)	58 22-200	340
Mo	0,59 0,16-1,23 (5,6%)	1,4 1,1-2,6 (13,0%)	0,37 0,17-0,85 (3,5%)	10 6,4-18,0	20
Cd	0,0014 0,0009-0,0038 (0,05%)	0,02 0,003-0,089 (0,6%)	2,6 0,22-6,20 (89,6%)	3,0 0,8-6,7	0,13
Ba	0,85 0,29-1,70 (0,7%)	22 13-37 (18%)	49 26-65 (40%)	120 77-150	500
Pb	< п.о.	< п.о.	28 22-34 (86,9%)	32 27-53	16
Th	0,0014 0,0006-0,0094 (0,05%)	0,0047 0,004-0,011 (0,2%)	0,23 0,12-0,52 (8,4%)	2,7 2,3-4,2	13
U	0,28 0,024-0,36 (0,3%)	2,1 0,2-9,2 (2,5%)	63 3-320 (75,1%)	84 8-440	2,5

Примечание. Для каждого элемента подсчитывались основные параметры распределения химических элементов: медиана (Me), минимальное (min) и максимальное (max) значения (для всех сезонов года в общем); в скобках – % от валового содержания.

Микроэлементы и тяжелые металлы, извлекаемые раствором ацетата аммония, разные авторы [14-16] называют обменными, доступными и легкоподвижными. При его использовании извлекаются наиболее мобильные подвижные формы элементов, доступные для растений. В ацетатно-аммонийном буферном растворе прослеживается увеличение содержания большинства изученных элементов (% от валового), особенно значительно для марганца (40%), стронция (84,5%), молибдена (13%), цинка (5,7%), кобальта (3,1%), никеля (2,1%), и урана (2,5%). Ниже представлен убывающий ряд обменной формы (в % от валового содержания) изученных элементов:

Sr > Mn > Mg > Ba > Mo > Zn > K > Na > Co > Li > U > Ni > Be > Cu = Cd > Cr > Th > Al = V > Fe.

Для извлечения общего запаса подвижных форм химических элементов применяют более сильный экстрагент – 1 н. HCl. Этот экстрагент определяет тот потенциальный запас химических элементов, который является резервом питания растений. Также 1 н. HCl широко используется для ориентировочной оценки степени техногенного загрязнения почв. В эту вытяжку переходят водорастворимые, обменные, связанные с карбонатами, специфически сорбированные, а также частично связанные с органическим веществом и аморфными оксидами/гидроксидами железа и марганца и более труднорастворимые соединения элементов [13].

Так, доля извлечения 1 н. HCl для бериллия, магния, марганца, кадмия, цинка, свинца и урана выше 50%, а для стронция – свыше 90%. Построен убывающий ряд кислоторастворимой формы (в % от валового содержания) изученных элементов: Sr > Pb > Cd > Be > U > Zn > Mn > Mg > Al > Ba > Cu > Ni > Co > Fe > V > Cr > Th > Li > K > Na > Mo.

Выводы

В донных отложениях среднее содержание таких элементов, как Be, Mg, Al, Cr, Zn, Cd, Pb и U в несколько раз выше их кларковых содержаний в почвах мира, что может указывать на то, что породы, обогащающие долину ручья Узынбулак, обогащены данными химическими элементами. Для редкоземельных элементов превышение над уровнем кларка наблюдалось только у истока ручья.

Получены данные исследований по содержанию форм нахождения химических элементов в донных отложениях на наиболее загрязненном участке ручья Узынбулак

– с 9 по 11,5 км. Для вытяжек водной фазы отмечено незначительное содержание большинства элементов (не более 1%). Достаточно высокий процент выщелачивания (% валового содержания) наблюдается для натрия, магния, марганца, лития, стронция и молибдена – от 2 до 14%.

В ацетатно-аммонийном буферном растворе прослеживается увеличение содержания большинства изученных элементов (% от валового), особенно значительно для марганца (40%), стронция (84,5%), молибдена (13%), цинка (5,7%), кобальта (3,1%), никеля (2,1%) и урана (2,5%). Доля извлечения 1 н. HCl для бериллия, магния, марганца, кадмия, цинка, свинца и урана составила выше 50%, а для стронция – свыше 90%.

Следует отметить эффективность использования подвижных форм ХЭ для определения участков «перегибов», которые характеризуются резкими изменениями физико-химических условий (pH, Eh, t).

Таким образом, в результате исследования химического состава донных отложений ручья Узынбулак было выявлено повышенное содержание ряда элементов. Высокое содержание исследуемых элементов имеет естественное происхождение и обусловлено геохимическим фоном горного массива Дегелен.

Библиографический список

1. Программа работ по гидрогеологическому обследованию горного массива Дегелен после закрытия штолен (договор DTRA 0023/2 от 1 марта 1999 г.).
2. Говенко П.В., Амиров А.А., Лукашенко С.Н., Кириллова Т.Г. Исследование микроэлементного состава воды поверхностных водотоков горного массива Дегелен // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана: сб. тр. Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 гг. / под рук. С.Н. Лукашенко. – Павлодар: Дом печати, 2013. – Вып. 4. – Т. 2. – 474 с.
3. Энерглин У., Брили Л. Аналитическая геохимия. – Л.: НЕДРА, 1975.
4. Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – М.: НЕДРА, 1976.
5. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: НЕДРА, 1998.
6. Никаноров А.М. Гидрохимия: учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 444 с.
7. Kloke A. Richwerte '80, Orientierungsdaten fur tolerierbare Gesamtgehalte einiger

Elemente in Kulturboden, Mitt. VDLUFA, 1980. H. 2, 9-11.

8. Паницкий А.В., Магашева Р.Ю., Лукашенко С.Н. Характерные особенности радиоактивного загрязнения компонентов природной среды экосистем водотоков штолен горного массива «Дегелен» // Сб. тр. Института радиационной безопасности и экологии за 2007-2009 гг. / под рук. С.Н. Лукашенко. – Павлодар: Дом печати, 2010. – 528 с.

9. Самарина В.С. Гидрогеохимия: учебное пособие. – Л.: Изд-во Ленинград, 1977. – 360 с.

10. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с., ил.

11. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.

12. Мотузова Г.В. Почвенно-химический экологический мониторинг. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 85 с.

13. Ладонин Д.В. Соединения тяжелых металлов в почвах – проблемы и методы изучения // Почвоведение. – 2002. – № 6. – С. 682-692.

14. Изерская Л.А., Воробьева Т.Е. Формы соединений тяжелых металлов в аллювиальных почвах средней Оби // Почвоведение. – 2000. – № 1. – С. 56-62.

15. Тяжелые металлы в системе почва – растение – удобрение / под общ. ред. М.М. Овчаренко. – М.: ЦИНАО, 1997. – 290 с.

16. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.

References

1. Programma rabot po gidrogeologicheskomu obsledovaniyu gornogo massiva Degelen posle zakrytiya shtolen (dogovor DTRA 0023/2 ot 1 marta 1999 goda).

2. Issledovanie mikroelementnogo sostava vody poverkhnostnykh vodotokov gornogo massiva Degelen. Govenko P.V., Amirov A.A., Lukashenko S.N., Kirillova T.G. Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstana [Sbornik trudov Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan za 2011-2012 gg.] / pod ruk. S.N. Lukashenko. – Pavlodar: Dom pečhati, 2013. – Вып. 4. – Т. 2. – 474 с.

3. Energlin U., Brili L. Analiticheskaya geokhimiya. – L.: Nedra, 1975.

4. Solovov A.P. Geokhimicheskie metody poiskov mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh. – M.: Nedra, 1976.

5. Shvartsev S.L. Hidrogeokhimiya zony gipergeneza. – M.: Nedra, 1998.

6. Nikanorov A.M. Gidrokhimiya: uchebnik. – 2-e izd., pererab. i dop. – SPb.: Gidrometeoizdat, 2001. – 444 s.

7. Kloke A. Richwerte '80, Orientierungsdaten fur tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturboden, Mitt. VDLUFA, 1980. H. 2, 9-11.

8. Panitskiy A.V., Magasheva R.Yu., Lukashenko S.N. Kharakternye osobennosti radioaktivnogo zagryazneniya komponentov prirodnoy sredy ekosistem vodotokov shtolen gornogo massiva «Degelen» [Sbornik trudov Instituta radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii za 2007-2009 gg.] / pod ruk. S.N. Lukashenko. – Pavlodar: Dom pečhati, 2010. – 528 s.

9. Samarina V.S. Hidrogeokhimiya: uchebnoe posobie. – L.: Izd-vo Leningrad, 1977. – 360 с.

10. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh: per. s angl. – M.: Mir, 1989. – 439 с., ил.

11. Il'in V.B. Tyazhelye metally v sisteme pochva – rastenie. – Novosibirsk: Nauka, 1991. – 151 с.

12. Motuzova G.V. Pochvenno-khimicheskiy ekologicheskiy monitoring. – M.: Izd-vo MGU, 2001. – 85 с.

13. Ladonin D.V. Soedineniya tyazhelykh metallov v pochvakh – problemy i metody izucheniya // Pochvovedenie. – 2002. – № 6. – С. 682-692.

14. Izerskaya L.A., Vorob'eva T.E. Formy soedineniy tyazhelykh metallov v allyuvial'nykh pochvakh sredney Obi // Pochvovedenie. – 2000. – № 1. – С. 56-62.

15. Tyazhelye metally v sisteme pochva – rastenie – udobrenie / pod obshch. red. M.M. Ovcharenko. – M.: TsINAО, 1997. – 290 с.

16. Il'in V.B., Syso A.I. Mikroelementy i tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh Novosibirskoy oblasti. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2001. – 229 с.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантового финансирования Министерства образования науки Республики Казахстан (5032/ГФ4 «Выявление механизмов формирования уровня загрязнения химическими токсикантами объектов водопользования бывшего Семипалатинского испытательного полигона»).

