

УДК 556.114.6

**ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОД ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ
ГИДРОЗОЛОТОВАЛА ЧИТИНСКОЙ ТЭЦ-1****Усманова Л.И.***ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии» Сибирского отделения
Российской академии наук, Чита, e-mail: larisaum@mail.ru*

На основе данных химико-аналитических исследований водных проб за период 2002–2018 гг. из пруда-отстойника гидрозоловала (ГЗО) Читинской ТЭЦ-1 и источников подземных вод (родник, скважины), расположенных в зоне его влияния, дана характеристика их химического состава. Воды отстойника сульфатные, щелочные с величиной pH 8.16–9.33, с высокими содержаниями фторидов, кремния, бора, ванадия, мышьяка, лития, вольфрама. Максимальное значение минерализации превышает 1 г/л, общей жесткости – 20 мг-экв./л. В результате фильтрации техногенных вод золоотвала в водоносный горизонт произошла смена природного гидрокарбонатного и сульфатно-гидрокарбонатного состава подземных вод на сульфатный и гидрокарбонатно-сульфатный. ореол загрязнения вод сульфатами развивается от золоотвала в сторону р. Кадалинка и оз. Кенон, его площадь в настоящее время составляет около 9,5 км². Наряду с сульфат-ионом в подземных водах превышены ПДК по фторидам, общей жесткости, величине минерализации. Отмечается уменьшение содержания кальция, при этом наблюдается рост концентраций магния и гидрокарбонатных ионов. Содержание кремния в водоносном горизонте близко к допустимому нормативу или превышает его. Превышение ПДК установлено по бору, марганцу, железу, литию, бериллию. Повышены содержания никеля, кобальта, цинка в воде одной из скважин. Вне зоны влияния гидрозоловала содержания компонентов-загрязнителей в подземных водах ниже ПДК. Разгрузка загрязненных подземных вод в оз. Кенон изменила гидрохимические характеристики озерной воды. Основными показателями загрязнения являются рост концентраций сульфатов, общей минерализации, а из микрокомпонентов – фтора.

Ключевые слова: пруд-отстойник, подземные воды, ореол загрязнения, компоненты-загрязнители, разгрузка

**HYDROGEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE WATERS
OF INFLUENCED ZONE OF THE CHITA TPP-1 ASH DUMP****Usmanova L.I.***Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences, Chita, e-mail: larisaum@mail.ru*

Based on data from chemical and analytical studies of water samples for the period 2002–2018. from the settling pond of the Chita CHPP-1 ash dump and groundwater sources (spring, wells) located in the zone of its influence, their chemical composition is described. The sump waters are sulfate, alkaline with a pH value of 8.16–9.33, with high contents of fluorides, silicon, boron, vanadium, arsenic, lithium, and tungsten. The maximum value of mineralization exceeds 1 g / l, total hardness – 20 mEq. / L. As a result of the filtration of man-caused ash dump waters into the aquifer, the natural hydrocarbonate and sulfate-hydrocarbonate composition of groundwater changed to sulfate and hydrocarbonate-sulfate. The aureole of water pollution by sulfates develops from the ash dump towards the river. Kadalinka and Lake Kenon, its area is currently about 9.5 km². Along with the sulfate ion in groundwater, MPC for fluorides, total hardness, and mineralization are exceeded. A decrease in the calcium content is noted, while there is an increase in the concentrations of magnesium and bicarbonate ions. The silicon content in the aquifer is close to the acceptable standard or exceeds it. For trace elements, excess MPC is established for boron, manganese, iron, lithium, beryllium. The content of nickel, cobalt, zinc in the water of one of the wells is increased. Outside the zone of influence of the ash dump, the content of pollutant components in groundwater is below the MPC. Unloading of polluted groundwater in the lake. Kenon changed the hydrochemical characteristics of lake water. The main indicators of pollution are the growth of sulfate concentrations, total mineralization, and of the microcomponents – fluorine.

Keywords: settling pond, groundwater, aureole of pollution, pollutant components, discharge

Объекты теплоэнергетики, важные составляющие инфраструктуры города, вместе с тем являются источниками химического и физического загрязнения окружающей среды, в особенности фильтрационные воды золоотвалов, в которых накапливаются негоревшие продукты сжигания твердого топлива. Золы и шлаки могут содержать значительное количество микрокомпонентов, в том числе токсичных тяжелых металлов. В результате выщелачивания и последующей водной миграции химические элемен-

ты поступают в подземные воды, изменяя их природные характеристики и создавая при высоких концентрациях потенциальную опасность загрязнения питьевых вод.

Главными составляющими золошлаков являются оксиды SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, в меньшем количестве присутствуют сульфаты CaSO₄, MgSO₄, FeSO₄, еще меньше содержания фосфатов и соединений щелочных металлов K₂O и Na₂O [1]. Минеральный состав золы зависит от состава минералов, входящих в уголь, которые представлены

главным образом (в среднем 80–60%) глинистыми минералами: иллитом, серицитом, монтмориллонитом, каолинитом, реже галлуазитом; сульфидами железа: пиритом, марказитом и мельковитом; карбонатами: кальцитом, сидеритом, доломитом, анкеритом, а также и кварцем. В меньших количествах встречаются полевые шпаты, фосфаты, нитраты, сульфаты, оксалаты, ванадаты, вольфраматы [2]. На разных стадиях технологического процесса в минеральном составе зол преобладают алюминаты, силикаты, частично или полностью дегидратированные формы глинистых минералов (муллит), оксиды кремния, гидрооксиды кальция (портландит), алюминия (гиббсит), сульфатсодержащие разности (бассанит, этtringит) и др. [3].

Состав раствора, поступающего в золоотвал, во многом определяется взаимодействием воды с золошлаковой смесью, зависит он и от степени смешения оборотных и подкачиваемых вод, отсутствия или наличия разбавления атмосферными осадками. В пруде-отстойнике происходит осаждение взвешенных частиц, состав вод усредняется и изменяется в результате физико-химических процессов – сорбции донными отложениями химических компонентов, возможного вторичного минералообразования и др. Основное значение во взаимодействии золошлаков с водой имеет реакция гидратации свободного оксида кальция, формирующая щелочную реакцию водной среды [4].

В большинстве вод прудов-отстойников основа солевого состава представлена преимущественно кальциевыми соединениями. Микроэлементный состав золоотвальных вод определяется солевым и кислотно-основным фоном осветленной от золы воды. Наиболее универсальными загрязнителями практически всех зольных вод являются фториды и ванадий, концентрации которых могут заметно превышать санитарные нормы для природных водных объектов [5]. Подвижность микроэлементов в большей степени зависит от кислотности среды. С увеличением щелочности миграционная способность катионов снижается, а микроэлементов В, Мо, Аs,

W, входящих в состав анионов, возрастает, что может приводить к формированию вокруг золоотвалов техногенных геохимических ореолов [3]. Наличие двух мощных геохимических барьеров: щелочного и сульфатного – ограничивает подвижность в водной среде золошлаковой толщи таких экологически активных элементов, как барий, стронций, хром, медь, цинк, марганец и другие [6]. Это приводит к высокому обогащению микроэлементами техногенных вод на границе контакта зол и подстилающих грунтов, которые являются источником загрязнения подземных вод [7].

Цель исследования: характеристика гидрогеохимической ситуации в зоне влияния ГЗО Читинской ТЭЦ-1.

Материалы и методы исследования

На территории Читы эксплуатируются две крупнейшие ТЭЦ топливно-энергетического комплекса (ТЭК) Восточного Забайкалья. Одна из них, Читинская ТЭЦ-1, расположенная на северном берегу оз. Кенон, в течение 50 лет использует его в качестве источника технического водоснабжения и водоема-охладителя. Золоотвал Читинской ТЭЦ-1 находится по гипсометрическим отметкам выше ее площадки, в 3 км к северо-западу. ГЗО введен в эксплуатацию в 1973 г. без противодиффузионного экрана. ТЭЦ-1 работает на смеси уруйского, харанорского и татауровского бурых углей (табл. 1).

Объекты исследования – пруд-отстойник ГЗО (рис. 1), разгрузка, появившаяся приблизительно в 1 км южнее ГЗО вследствие фильтрационных потерь из него; самоизливающаяся скважина глубиной 70 м в левом борту долины реки Кадалинки, пробурена для выяснения причин подтопления взлетной полосы аэропорта, возникшего после начала заполнения золоотвала; скважины наблюдательной сети за гидродинамическим и гидрохимическим режимом подземных вод водоносного комплекса нижнемеловых отложений на участке золоотвала: скв. 241 глубиной 60 м, скв. 26 кн глубиной 100 м, скв. 24 кн глубиной 77,2 м.

Таблица 1

Химический состав минеральной части исходных углей и продуктов их сжигания на Читинской ТЭЦ-1 [1]

Материал	Компоненты, % мас. на золу									
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	MnO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O
Уголь	52,5	6,3	20,9	11,9	1,3	0,7	–	1,1	3,1	3,5
Золошлак	56,9	7,5	15,9	8,3	3,2	0,7	0,2	0,3	0,9	0,6



Местоположение объектов исследования: 1 – гидрозолоотвал; 2 – разгрузка; 3 – скважина в долине р. Кадалинки; 4 – скважина 241; 5 – скв. 26 кн; 6 – скв. 24 кн. Стрелками показано направление движения вод

В зоне влияния фильтрационных вод ГЗО развиты трещинно-пластовые воды водоносного комплекса доронинской свиты раннемелового возраста. Водовмещающие породы представлены песчаниками на карбонатном цементе с прослоями аргиллитов и алевролитов. Воды пресные с отдельными участками слабосоленых вод (1,36–1,50 г/л) гидрокарбонатного кальциевого или магниевого типа. В верхней гидродинамической зоне (на первом водоупоре) они грунтовые, с глубиной становятся напорными. Сульфатные воды прослеживаются от золоотвала на юго-восток.

В работе использованы данные химико-аналитических исследований лаборатории гидрогеохимии и геоэкологии ИПРЭК СО РАН за 2002–2018 гг. и ГУП «Забайкалгеомониторинг» за 2004–2017 г. Микрокомпонентный состав (за исключением фторид-иона) описан по результатам масс-спектрометрического анализа единичных проб за 2015 и 2018 гг., выполненного в Институте геохимии СО РАН. Наименование химического типа воды дано от 20 экв.-% по возрастанию содержания основ-

ных ионов согласно отраслевому стандарту ОСТ 41-05-263-86.

Химико-аналитические исследования выполнены по стандартным методикам в лаборатории, аттестованной на выполнение анализов природных вод. Применялись титриметрический (CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-}), турбидиметрический (SO_4^{2-}), потенциометрический (pH, Cl^- , F^-), фотометрический (Si, P, перманганатная окисляемость), атомно-абсорбционный (основные катионы, стронций, другие металлы) и другие методы анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

Воды пруда-отстойника ГЗО Читинской ТЭЦ-1 сульфатные магниево-кальциевые, в период 2008–2015 гг. хлоридно-сульфатные трехкомпонентные по катионному составу с величиной минерализации за исследуемый период 0,77–1,36 г/л (среднее 1,06 г/л), щелочные со значением pH 8,16–9,33. Основные гидрохимические характеристики вод отстойника приведены в табл. 2. Источником высоких содержаний сульфат-иона является сульфидная сера,

содержащаяся в сжигаемом топливе и минералах, образующихся в результате геохимического преобразования первичного вещества углей при их сжигании, отчасти серная кислота, используемая для чистки котлов от накипи. Геохимических барьеров, ограничивающих накопление в водах ГЗО сульфатов, практически не существует. Насыщение по гипсу, наименее растворимому сульфатному минералу, не достигается [8].

золотшляковые отложения фтор удаляется из фильтрующихся вод, что обусловлено процессом образования флюорита, по которому воды отстойника пересыщены [8]. В сравнении с водами отстойника в подземных водах уменьшается содержание кальция, но растут концентрации магния, за счет которого увеличивается жесткость воды [10]. Высокие содержания гидрокарбонатных ионов соответствуют естественному гидрогеохимическому фону.

Таблица 2
Макрокомпонентный состав вод пруда-отстойника ГЗО Читинской ТЭЦ-1

Компоненты	Содержание, мг/л		
	Сред.	Мин.	Макс.
CO ₃ ⁻²	14,1	5,04	33,0
HCO ₃ ⁻	79,6	18,9	126,8
SO ₄ ⁻²	540,3	291,0	730,0
Cl ⁻	99,4	70,8	122,6
F ⁻	14,6	8,68	18,1
Ca ⁺²	183,3	91,3	299,6
Mg ⁺²	48,6	19,8	89,3
Na ⁺	73,1	27,6	93,5
K ⁺	6,74	2,86	11,1
Si	10,6	4,04	20,8
Жесткость общ., мг-экв./л	12,7	9,33	22,4

Для воды разгрузки характерна переменность состава – сульфатно-гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-сульфатные по анионам, магниевые-кальциевые, кальциево-магниевые по катионам. Вода скважин гидрокарбонатно-сульфатная, кальциево-магниевая, за исключением скважины 24 кн, находящейся на периферии ореола загрязнения, где она имеет гидрокарбонатный натриево-магниевый состав. Данные по химическому составу подземных вод (табл. 3) свидетельствуют о превышении ПДК по сульфатам, фтору, общей жесткости, величине минерализации, за исключением той же скважины. Близко к допустимой норме или превышает ее в отдельных случаях содержание в подземных водах кремния, источником которого могут являться как инфильтрационные воды золоотвала, так и, скорее всего, он может накапливаться в водоносном комплексе в результате выщелачивания его из вмещающих пород [10]. Содержание Si в скважине, расположенной наиболее близко к золоотвалу (т. 4, табл. 3), ниже 10 мг/л.

Взаимодействие техногенных вод с золошлаками, почвами и породами приводит к понижению их кислотно-основных свойств [9]. В результате фильтрации через

Таблица 3
Макрокомпонентный состав подземных вод зоны влияния ГЗО (мг/л, кроме рН)

Компоненты	Объекты опробования					ПДК
	2002–2018 гг.		2017–2018 гг.			
	2	3	4	5	6	
рН	$\frac{6,64 - 8,27}{7,07}$	$\frac{6,86 - 7,58}{7,14}$	$\frac{6,09 - 7,20}{6,90}$	$\frac{6,70 - 7,20}{6,90}$	$\frac{7,53 - 7,80}{7,66}$	6–9
Жесткость общая	$\frac{11,1 - 20,2}{15,5}$	$\frac{11,5 - 16,0}{13,7}$	$\frac{16,0 - 21,5}{18,0}$	$\frac{15,0 - 17,4}{15,9}$	$\frac{7,02 - 7,97}{7,58}$	7,0
HCO ₃ ⁻	$\frac{259,8 - 678,3}{512,9}$	$\frac{226,3 - 281,1}{254,3}$	$\frac{237,9 - 571,1}{392,4}$	$\frac{230,3 - 237,9}{234,7}$	$\frac{420,9 - 443,8}{433,0}$	–
CO ₂	$\frac{18,5 - 1265}{247,5}$	$\frac{11,1 - 76,6}{35,4}$	$\frac{33,9 - 95,9}{67,8}$	$\frac{51,0 - 67,3}{58,2}$	$\frac{15,2 - 24,6}{20,5}$	–
SO ₄ ⁻²	$\frac{160,0 - 637,8}{421,3}$	$\frac{397,0 - 590,0}{502,3}$	$\frac{492,0 - 762,0}{656,2}$	$\frac{612,0 - 660,0}{640,2}$	$\frac{64,8 - 85,8}{79,0}$	500

Окончание табл. 3						
Компоненты	Объекты опробования					ПДК
	2002–2018 гг.		2017–2018 гг.			
	2	3	4	5	6	
Cl ⁻	$\frac{30,2-82,2}{50,8}$	$\frac{50,2-67,6}{57,6}$	$\frac{67,4-93,4}{84,3}$	$\frac{57,6-60,5}{58,7}$	$\frac{46,8-56,6}{52,1}$	350
F ⁻	$\frac{0,36-0,91}{0,58}$	$\frac{1,12-2,23}{1,90}$	$\frac{1,75-3,46}{2,63}$	$\frac{1,65-1,70}{1,66}$	$\frac{1,31-1,85}{1,55}$	1,2–1,5
Ca ²⁺	$\frac{136,3-195,0}{164,9}$	$\frac{87,3-166,8}{137,4}$	$\frac{119,9-155,1}{144,4}$	$\frac{105,3-140,9}{126,4}$	$\frac{83,0-97,5}{88,8}$	–
Mg ²⁺	$\frac{56,2-124,9}{96,7}$	$\frac{48,4-99,8}{77,1}$	$\frac{111,8-175,7}{141,7}$	$\frac{96,3-129,3}{119,2}$	$\frac{35,0-40,2}{38,1}$	–
Na ⁺	$\frac{4,16-93,3}{45,5}$	$\frac{52,8-77,8}{66,8}$	$\frac{26,2-67,5}{43,1}$	$\frac{43,4-65,8}{55,0}$	$\frac{51,2-63,2}{58,3}$	200
K ⁺	$\frac{1,63-9,20}{4,98}$	$\frac{1,88-8,50}{4,76}$	$\frac{4,34-7,68}{5,84}$	$\frac{6,32-7,56}{6,87}$	$\frac{6,15-7,09}{6,54}$	–
M, г/л	$\frac{0,99-1,77}{1,30}$	$\frac{0,97-1,20}{1,10}$	$\frac{1,31-1,48}{1,41}$	$\frac{1,21-1,27}{1,25}$	$\frac{0,73-0,78}{0,76}$	1,00
Si	$\frac{6,68-12,3}{9,79}$	$\frac{4,81-11,5}{8,99}$	$\frac{5,61-7,18}{6,15}$	$\frac{10,5-11,4}{11,1}$	$\frac{9,20-9,65}{9,37}$	10,0

Примечания: М – минерализация; в числителе минимальное – максимальное, в знаменателе – среднее значения; ПДК по СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения» (с изменениями на 2 апреля 2018 года)».

Таблица 4

Содержание металлов в подземных водах зоны влияния ГЗО (мкг/л)

Компоненты	Объекты					ПДК
	1		2	3	5	
	2015 г.	2018 г.	2015 г.	2015 г.	2018 г.	
Al	73,0	293,0	28	18	25	500
As	11,3	152,0	0,97	6,60	3,76	50
B	5537	4123	230	1194	910	500
Be	0,023	0,050	0,028	1,27	0,73	0,20
Ba	215	725	25	23	8,2	100
Br	137	328	80	104	331	200
V	104,0	147,0	0,57	0,13	0,090	100
Cu	1,34	3,18	0,84	0,79	2,40	1000
Fe	–	185,0	–	–	96	300
Mn	3,06	30,0	540,0	484	1696	100
Ni	1,27	3,70	16,0	0,92	64,0	100
Co	0,29	0,85	0,39	0,22	81	100
Zn	2,87	6,10	74,0	4,54	160,0	5000
Mo	151,0	69,0	1,22	4,93	5,10	250
Li	117,0	97,0	194,0	126	143	30
Sr	6520	5825	2561	1905	820	7000
Se	3,23	21,0	0,056	0,37	0,30	10
Rb	20,0	18	26,0	13,6	32	100

Окончание табл. 4						
Компоненты	Объекты					ПДК
	1		2	3	5	
	2015 г.	2018 г.	2015 г.	2015 г.	2018 г.	
W	55,0	53,0	<ПО	<ПО	0,12	50
Th	0,018	0,067	0,0073	0,0033	0,0038	–
TI	0,060	0,066	0,066	0,016	0,17	10
U	1,90	7,10	3,90	0,032	2,51	–

Примечание: ПО – предел обнаружения; ПДК аналогично табл. 3.

В подземных водах в районе ГЗО вне зоны его влияния концентрации сульфат-иона изменялись от 22,8 до 66,0 мг/л [8]. Анионный состав гидрокарбонатный.

По данным масс-спектрометрического анализа по единичным пробам за 2015 и 2018 гг. из пруда-отстойника (т. 1, табл. 4), разгрузки (т. 2), скважины в долине р. Кадалинки (т. 3) и скв. 26 кн (т. 5) в подземных водах зоны влияния золоотвала отмечаются повышенные, в том числе превышающие ПДК, содержания бора, лития, бериллия, марганца, железа, никеля, кобальта, цинка, рубидия, брома, бария. По результатам атомно-абсорбционного анализа водных проб из скв. 241 за период 2017–2018 гг. содержания железа изменялись в пределах 1,25–9,87 мг/л, марганца – 0,19–1,31 мг/л, никеля – 1,11–12,6 мкг/л, кобальта – 0,99–2,56 мкг/л; из скв. 24кн: железа – 0,65–3,86 мг/л, марганца – 0,08–0,21 мг/л, никеля – 2,44–12,9 мкг/л, кобальта – 0,33–2,28 мкг/л.

Источником высоких содержаний бора является золоотвал, Высокие концентрации марганца и железа определяются физико-химическими условиями водной среды. Источник кобальта и никеля – водовмещающие породы

Выводы

Фильтрационные воды золоотвала сульфатного магниевое-кальциевого состава с высокими содержаниями сульфат-иона, фторидов, максимальной величиной минерализации больше 1 г/л, распространяясь за его пределы и смешиваясь с водами подземного водоносного горизонта, вносят изменения в их гидрохимические характеристики. Природный гидрокарбонатный и сульфатно-гидрокарбонатный состав вод сменился на сульфатный и гидрокарбонатно-сульфатный. ореол загрязнения подземных вод сульфатами развивается от золоотвала в сторону р. Кадалинки и оз. Кенон, его площадь в настоящее время составляет около 10 кв. км. ПДК превыше-

ны по фторидам, величинам минерализации и общей жесткости, кремнию, бору, марганцу, железу, литию.

Список литературы / References

1. Мязина В.И. Эколого-технологическая оценка золошлаковых отходов тепловых электростанций Восточного Забайкалья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Чита, 2004. 22 с.
Myazina V.I. Ecological and technological assessment of ash and slag waste from thermal power plants in East Transbaikalia: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Chita, 2004. 22 p. (in Russian).
2. Воробьев А.Е., Мозолькова А.В. Минеральные включения угольных пластов: формы нахождения и основные способы растворения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 3. С. 141–148.
Vorobiev A.E., Mozolkova A.V. Mineral inclusions of coal seams: forms of finding and basic methods of dissolution // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. 2007. № 3. P. 141–148 (in Russian).
3. Огородникова Е.Н., Барабошкина Т.А., Николаева С.К. Особенности минерального состава золошлакоотвалов – продуктов техногенеза // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: экология и безопасность жизнедеятельности. 2011. № 3. С. 20–24.
Ogorodnikova E.N., Baraboshkina T.A., Nikolaeva S.K. Features of the mineral composition ash dump – products technogenesis // Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2011. № 3. P. 20–24 (in Russian).
4. Кузнецов Г.И., Балацкая Н.В., Озерский Д.А. Влияние золошлаковых отложений на фильтрацию из золоотвала // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 1. С. 60–64.
Kuznetsov G.I., Balatskaya N.V., Ozersky D.A. Influence of water permeability of ash slags on the filtration from ash damp // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2015. V. 19. № 1. P. 60–64 (in Russian).
5. Алексеева Т.Е., Гольдина Т.М. Некоторые аспекты мониторинга состояния золошлакоотвалов ТЭС и объектов природной среды в зоне их воздействия // Теплоэнергетика. 2004. № 12. С. 29–33.
Alekseeva T.E., Goldina T.M. Certain aspects of monitoring the state of ash and slag dumps at thermal power stations and of the components of the natural environment in their zone of influence. Thermal Engineering. 2004. Vol. 51. № 12. P. 974–978.
6. Ларионова Н.А. Золоотвалы – источники загрязнения подземных вод // Сергеевские чтения. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (г. Москва, 23–24 марта 2015 г.). М.: Изд-во РУДН, 2015. С. 363–367.
Larionova N.A. Ash dumps – sources of groundwater pollution // Sergeevskie chteniya. Inzhenerno-geologicheskie i geoekologicheskie problemy gorodskih aglomeracij: mate-

rialy godichnoj sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoeologii, inzhenernoj geologii i gidrogeologii (g. Moskva, 23–24 marta 2015 g.). M.: Izd-vo RUDN, 2015. P. 363–367 (in Russian).

7. Целюк Д.И. Особенности минерального состава золовых отложений из золоотвалов Средней Сибири // Разведка и охрана недр. 2010. № 1. С. 67–71.

Tselyuk D.I. Special features of the mineral composition of ash deposits from the ash disposals of average Siberia // Razvedka i ohrana neдр. 2010. № 1. P. 67–71 (in Russian).

8. Усманова Л.И., Замана Л.В., Усманов М.Т. Геохимия подземных и поверхностных вод в зоне влияния золоотвала Читинской ТЭЦ-1 // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: материалы третьей Всероссийской конференции с международным участием (г. Чита, 20–25 августа 2018 г.). Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2018. С. 379–382. DOI: 10.31554/978-5-7925-0536-0-2018-379-382.

Usmanova L.I., Zamana L.V., Usmanov M.T. Geochemistry of underground and surface waters in the zone of influence

of the ash dump of Chita TPP-1 // The geological evolution of the water-rock interaction: proceedings of the third All-Russian scientific conference with international participation (Chita, 20–25 August 2018). Ulan-Ude: BSC SB RAS Publisher, 2018. P. 379–382 (in Russian).

9. Павлов С.Х., Оргильянов А.И., Бадминов П.С., Крюкова И.Г. Фильтрационные утечки из золошлакоотвала и их взаимодействие с геологической средой // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2014. Т. 7. С. 100–115.

Pavlov S.Kh., Orgilynov A.I., Badminov P.S., Krjukova I.G. The filtration leakage from ash dumps and their interaction with the geological environment // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle. 2014. Vol. 7. P. 100–115 (in Russian).

10. Zamana L.V., Usmanova L.I. Transformation of groundwater chemical composition in the zone of influence of the Chita TPP-1 ash dump (Transbaikalia, Russia). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). 2019. Vol. 1. P. 651–655. DOI: 10.2991/isees-19.2019.129.