

УДК 502.5 (204)

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭКОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ



Л.И. Усманова, Л.В. Замана

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия

На основании результатов химико-аналитических работ, проведенных в рамках мониторинга геологической среды на участках размещения гидрозолоотвалов теплоэлектростанций Восточного Забайкалья, дана гидрохимическая характеристика прудов-отстойников. Для выполнения анализов водных проб использовались общепринятые нормированные методы определений компонентов. Химический состав объектов исследования различается по основным гидрохимическим показателям, степени минерализации и жесткости.

**Ключевые слова:** теплоэнергетика, пруд-отстойник, золошлаковые отложения, инфильтрация, химический состав

### Введение

Взаимодействие теплоэнергетики и окружающей среды происходит на всех стадиях трансформации (добыча, переработка, транспортировка и т.д.) первичных энергоресурсов [Целюк, 2009; Pokale, 2012]. Использование поверхностных водных объектов или водоносных горизонтов, связанных с ними, в качестве источников водоснабжения для нужд теплоэнергетики – один из основных факторов взаимодействия теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) и теплоэлектростанций (ТЭС) с водной средой [Вега, 2016]. Основная часть забираемой воды расходуется на охлаждение конденсаторов паровых турбин; системы золо- и шлакоудаления, химводоочистки, охлаждения и промывки оборудования потребляют 7 % общего расхода воды, являясь при этом основным источником примесного загрязнения.

Теплоэнергетика является основным водопользователем в Забайкальском крае. Читинская ТЭЦ-1 имеет наибольшие объемы забора воды (46–50 % от суммарного водозабора края) и сброса сточных вод [Абакумова, 2009], но самый маленький процент экономии (4,6 %) свежей воды за счет оборотных и повторных вод, осуществляя прямоточное водоснабжение из оз. Кенон, на берегу которого она расположена.

Удаленные гидравлическим способом зола и шлаки – отходы угольной теплоэнергетики – поступают в виде пульпы в гидрозолошлакоотвалы (ГЗШО), где происходит осветление воды в прудах-отстойниках в результате осаждения взвешенных частиц. С инфильтрационными водами растворенные формы токсичных компонентов золошлаков поступают в подземные воды [Злобина и др., 2017; Humbarde et al., 2013]. Химический состав пульпы определяется составом золошлаковых отложений (ЗШО), который, в свою очередь, зависит от марки

исходного топлива. Основными компонентами ЗШО являются кислородные соединения кремния, алюминия, железа, кальция, магния [Алексеева и др., 2004]. Содержание некоторых из них может существенно превосходить значения их концентраций в земной коре: CaO в 4–12 раз, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – примерно в 2 раза, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – в 1,5–3 раза, MgO – в 2–3 раза. Кроме того, в золошлаках содержится большое количество микроэлементов; концентрации отдельных из них могут существенно превышать их кларковые значения в земной коре и предельно допустимые концентрации (ПДК) в почве. Их относят к потенциально токсичным элементам. Наиболее часто ЗШО угольных ТЭС России содержат такие потенциально токсичные микроэлементы, как свинец, цинк, никель, медь, кобальт, хром, молибден, стронций, ртуть и др. Их содержание в золошлаках может превышать уровень ПДК (в почве) в 2–40 раз [Делицын и др., 2012].

В данной работе дана характеристика химического состава прудов-отстойников ГЗШО некоторых ТЭЦ Восточного Забайкалья: Читинских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, Шерловогорской и Приаргунской ТЭЦ (рис. 1), эксплуатирующих бурые угли местных угледобывающих предприятий – Харанорского и Восточного угольных разрезов. Наибольший объем потребления топлива имеет Читинская ТЭЦ-1.

Цель исследования – эколого-гидрохимическая оценка отстойников ГЗШО ТЭЦ, которые являются потенциальными источниками загрязнения природных вод на территории их размещения.

### Материалы и методы исследования

Данное исследование основано на результатах химико-аналитических работ, проведенных Институтом природных ресурсов, экологии и криологии

СО РАН (ИПРЭК СО РАН) в 2018–2020 гг. в рамках мониторинга геологической среды на участках размещения гидрозолоотвалов Читинских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 и Шерловогорской ТЭЦ. Дополнительно ис-

пользованы материалы ГУП «Забайкалгеомониторинг» за 2017 г., полученные при ведении мониторинга геологической среды в пределах территории влияния исследуемых золоотвалов.

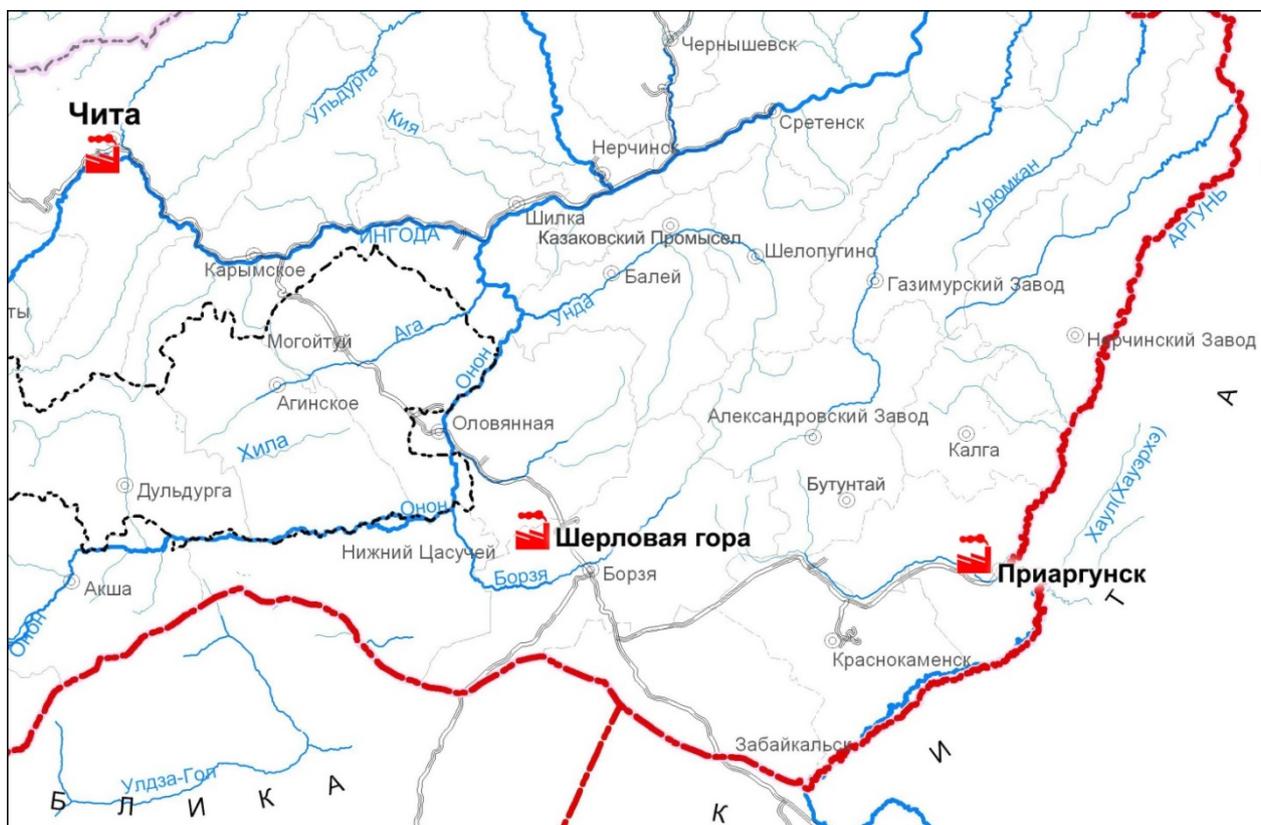


Рис. 1. Карта-схема места расположения тепловых электростанций на территории Восточного Забайкалья

Fig. 1. Schematic map of the location of thermal power plants on the territory of Eastern Transbaikalia

В рамках мониторинга проводился отбор водных проб из отстойников, скважин и поверхностных водных объектов, находящихся в зоне влияния ГЗШО. Сроки опробования: июнь, сентябрь и ноябрь 2018 г., июнь и ноябрь 2019 г. (за исключением золоотвала Шерловогорской ТЭЦ), июнь, сентябрь и октябрь 2020 г. Золоотвал Приаргунской ТЭЦ при выезде на опробование был сухим, поэтому водные пробы не отбирались. Для характеристики химического состава ГЗШО Приаргунской ТЭЦ использованы материалы научно-исследовательских работ по оценке состояния окружающей среды и воздействия на нее золоотвала Приаргунской ТЭЦ, выполненных ИПРЭК СО РАН в 2001–2002 гг.

Анализ проб на общий химический состав и некоторые микроэлементы выполнялся в лаборатории геоэкологии и гидрогеохимии ИПРЭК СО РАН, аттестованной на производство анализов природных вод. Использовались общепринятые нормированные методы определений компонентов. Микроэлементный состав

определялся методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в аналитических центрах Лимнологического института СО РАН и Института геохимии СО РАН (г. Иркутск).

Наименование химического типа воды дано от 20 %-экв согласно ОСТ 41-05-263-86.

Эколого-гидрохимическая оценка золоотвалов проводилась на основе сравнения содержания токсиканта в пруде-отстойнике с ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ГН 2.1.5.1315-03).

### Результаты и обсуждение

**Читинская ТЭЦ-1** – самая крупная тепловая электростанция в Забайкальском крае, введена в эксплуатацию в 1965 г. Станция работает на харанорском и татауровском бурых углях; микроэлементный состав их приведен в табл. 1 (по [Мязина, 2004]).

Золоотвал Читинской ТЭЦ-1 (рис. 2) расположен в 3 км к северо-западу от ее площадки и занимает площадь около 115 га. Он размещен в естественном понижении рельефа в днище Читино-Ингодинской впадины и по гипсометрическим отметкам находится выше промплощадки ТЭЦ. Сооружение введено в эксплуатацию в марте 1973 г. без противοfiltrационного экрана. Подача золосодержащей пульпы осуществляется по напорному трубопроводу. Осветленная вода используется для оборотного водоснабжения. В качестве водоема-охладителя и источника воды для техно-

логических нужд станции используется оз. Кенон, на берегу которого она расположена.

С 1973 по 1977 г. в окрестностях золоотвала наблюдался интенсивный подъем уровня подземных вод вследствие инфильтрации техногенных вод. С 1997 по 2008 г. уровень относительно стабилизировался; это было обусловлено постоянным напором и постоянным объемом разгрузки фильтрующихся из гидрозолоотвала вод. С 2009 г. до настоящего времени в районе золоотвала ТЭЦ-1 фиксируется незначительный, но устойчивый рост уровня подземных вод.

Таблица 1

**Микроэлементный состав углей Харанорского и Татауровского месторождений и золошлаковых отложений Читинских ТЭЦ**

Table 1

**The microelement composition of the Kharanor and Tataurovo deposit coals and ash and slag deposits of the Chitinskaya TPPs**

Химический элемент	Средний кларк в бурых углях, г/т	Средний кларк в ЗШО от бурых углей, г/т	Кларк элемента в земной коре, мг/кг	Содержание в золе углей, мг/кг		Содержание в ЗШО, мг/кг	
				Месторождение угля		Читинских	
				Харанорское	Татауровское	ТЭЦ-1	ТЭЦ-2
Ba	130–170	830–970	628	1580	1380	–	–
B	53–59	380–440	34	–	3,5	–	–
Be	1,1–1,3	6,2–7,2	2,3	8,7	5,4	3,7	1,9
V	20–24	130–150	106	550	363	81,8	35,9
Bi	0,75–0,93	3,5–5,1	0,23	2,2	3,4	–	–
W	1,0–1,4	4,3–6,7	2,03	7,5	–	12,6	18,5
Ga	5,2–5,8	28–30	–	32,4	20,8	18,0	11,0
Ge	1,9–2,1	10–12	1,3	1,6	2,0	2,4	2,2
Yb	0,95–1,05	5,3–5,7	–	7,5	2,6	–	–
Y	8,2–9,0	41–47	–	42,3	14,7	–	–
Co	3,9–4,5	26–28	15	25,4	33,4	17,6	5,7
La	9,5–10,5	58–64	32	63,4	49,8	–	–
Li	9–11	45–53	–	–	–	39,4	16,1
Mn	95–105	490–550	770	950	2 500	–	–
Cu	13–15	68–76	27	110	83,4	29,5	21,2
Mo	1,9–2,3	13–15	1,1	53	20,4	9,4	22,6
As	6,0–8,8	41–57	5,6	55,2	196	36,7	14,7
Ni	8,1–9,9	48–58	50	57,3	84,2	35,4	18,2
Rb	9,1–10,9	45–55	–	99,6	70,6	–	–
Pb	6,3–7,1	37–41	17	77,3	134	52,9	22,6
Se	0,95–1,25	8,6–10	–	35,2	25	–	–
Sr	110–130	670–810	270	1112,5	517	890	599
Sb	0,76–0,88	4,0–4,8	0,81	2,0	2,0	2,3	1,0
Cr	14–16	77–87	92	215	52	35,4	24,2
Zn	17–19	100–120	75	870	–	58,6	27,5
Tl	0,61–0,75	4,6–5,6	0,75	–	–	–	–
U	2,4–3,0	14–16	–	–	–	25	6,8

*Примечание.* Кларк элементов – из [Касимов, Власов, 2015]; кларк бурых углей и ЗШО – из [Юдович, Кетрис, 2005], «–» – нет данных.

*Note.* Clark elements from [Kasimov, Vlasov, 2015]; clark of coal and ash and slag deposits [Yudovich, Ketris, 2005]; «–» – no data.



Рис. 2. Золоотвал Читинской ТЭЦ-1

a – пруд-отстойник; b – сброс гидрозолошлака

Fig. 1. The ash dump of the Chitinskaya TPP-1

a – settling pond; b – discharge water solution of ash and slag

На территории размещения исследуемого объекта распространены порово-пластовые воды четвертичных отложений и трещинно-пластовые воды нижнемеловых пород. Водовмещающие породы представлены песчано-супесчаным материалом, песчаниками, трещиноватыми аргиллитами и алевролитами. Направление движения потока подземных вод направлено в сторону оз. Кенон и впадающей в него р. Кадалинки [Усманова, 2019].

За исследуемый период вода отстойника сульфатная магниевая-кальциевая (рис. 3) с величиной общей жесткости 11,5–23,2 мг-экв/л и величиной минерализации более 1 г/л (табл. 2; рис. 4, b). По величине pH воды щелочные (табл. 2). В составе вод отмечаются высокие концентрации сульфатов и фторидов (табл. 2), характерные для ГЗО. Источником кремния, содержание которого в водах отстойника достигает 20,8 мг/л, являются алюмосиликатные зольные компоненты исходного угля. В воде оз. Кенон, из которого производится забор, содержания кремния за тот же период опробования составили 0,8–2,07 мг/л.

Результаты проведенных в рамках мониторинга исследований подземных вод, находящихся в зоне влияния техногенного объекта, указывают на поступление широкого спектра химических элементов в результате фильтрации из него в водоносный горизонт, что подтверждается превышением нормативов для питьевых вод по сульфатам, фтору, бору, литию и другим показателям [Усманова, 2019; Замана и др., 2020].

**Читинская ТЭЦ-2** – старейшая теплоэлектростанция Забайкальского края, запущена в эксплуатацию в 1936 г. Станция для работы использует уголь Харанорского бурого угольного месторождения. В настоящее время для технологического водо-

снабжения ТЭЦ-2 используется подрусовой горизонтальный однолучевой водозабор и групповой водозабор, состоящий из четырех скважин глубиной 170–200 м.

Гидрозолоотвал ТЭЦ-2 (рис. 5) находится у тыловой закраины первой правобережной надпойменной террасы р. Ингоды. Он состоит из трех небольших секций, длина каждой около 400 м и ширина 150 м.

Отстойник золоотвала Читинской ТЭЦ-2 характеризуется наиболее низкой минерализацией (см. табл. 3; рис. 4, b) из всех исследуемых здесь, что можно объяснить использованием наименее минерализованной воды для золоудаления. Обогащение воды сульфатом и фтором, наиболее показательных для взаимодействия воды со свежей золой, в ходе транспортировки пульпы здесь существенно ниже (табл. 3), на что могут влиять как геохимические характеристики углей, так и технологии их сжигания и удаления золы. Содержание кремния ниже, чем в осветленной воде отстойника Читинской ТЭЦ-1, но выше, чем в отстойнике Шерловогорской ТЭЦ-1 (рис. 4, a). Воды отстойника за исследуемый период по анионному составу гидрокарбонатно-сульфатные (рис. 3), по катионному – натриево-кальциевые с величиной общей жесткости 1,88–7,40 мг-экв/л (табл. 3). Воды характеризуются слабощелочной или щелочной реакцией среды.

В пределах размещения золоотвала выделяются порово-пластовые воды голоценовых аллювиальных отложений и трещинно-пластовые воды нижнемеловых пород. Порово-пластовые воды приурочены к отложениям русловой и пойменной фаций аллювия, трещинно-пластовые воды – к песчаникам и трещиноватым песчаным алевролитам.

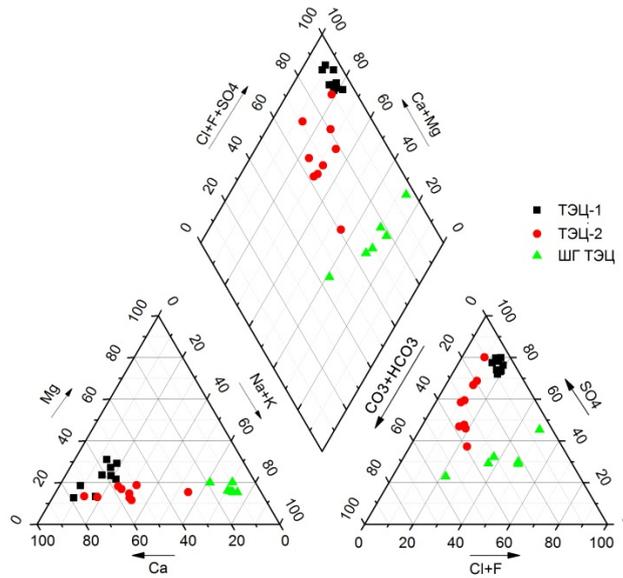


Рис. 3. Пайпер-диаграмма состава вод прудов-отстойников Читинской ТЭЦ-1, Читинской ТЭЦ-2 и Шерловогорской ТЭЦ

Fig. 3. Piper-diagram of the water composition of the settling ponds of the Chitinskaya TPP-1, Chitinskaya TPP-2 and Sherlovogorskaya TPP

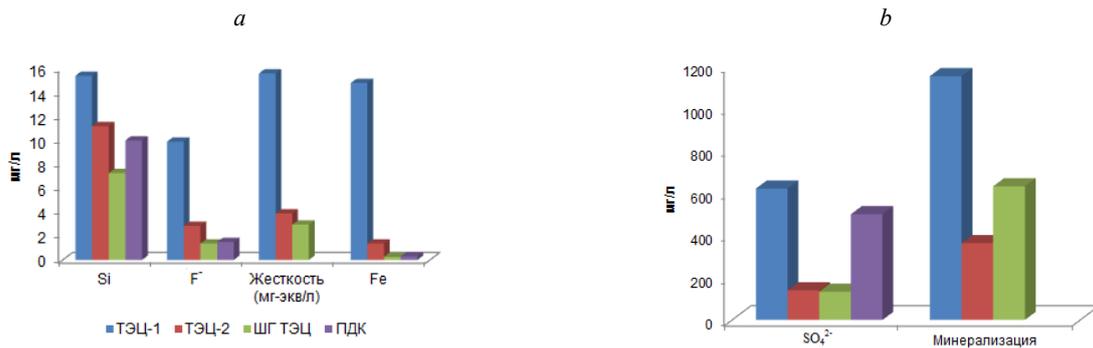


Рис. 4. Соотношение концентрации кремния, фтора, железа и общей жесткости (а); сульфата и величины минерализации (б) в воде прудов-отстойников Читинских ТЭЦ и Шерловогорской ТЭЦ

Fig. 4. Concentration ratio of silicon, fluorine, iron and total hardness (a); sulfate and value of mineralization (b) in the water of the settling ponds of the Chitinskaya TPPs and Sherlovogorskaya TPP

Таблица 2

Химический состав пруда-отстойника золоотвала Читинской ТЭЦ-1

Table 2

The chemical composition of the settling pond of the ash dump of the Chitinskaya TPP-1

Параметр	Единица измерения	2017 г.		2018 г.		2019 г.		2020 г.			ПДК
		август	июнь	сентябрь	ноябрь	июнь	ноябрь	июнь	сентябрь	октябрь	
рН		8,90	8,90	8,33	9,30	9,5	10,0	8,50	8,70	8,67	–
Жесткость общая	мг-экв/л	17,4	13,7	11,5	23,2	20,3	12,6	14,5	12,4	14,4	–
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л	50,3	44,2	68,3	37,8	3,95	0,00	70,9	57,9	79,0	–
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>		18,0	12,0	4,80	36,0	39,5	52,2	<6,0	9,18	9,79	–
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		724,5	717,5	513,9	511,7	720,5	556,8	782,5	518,4	547,2	500
Cl <sup>-</sup>		116,5	114,1	65,2	69,8	81,5	73,4	81,5	82,6	86,3	350
Ca <sup>2+</sup>		249,5	199,3	148,2	372,1	262,0	212,8	208,7	167,8	209,5	–
Mg <sup>2+</sup>		60,3	45,7	49,4	56,6	87,8	24,6	49,7	48,9	48,3	50

Параметр	Единица измерения	2017 г.	2018 г.				2019 г.		2020 г.			ПДК
		август	июнь	сентябрь	ноябрь	июнь	ноябрь	июнь	сентябрь	октябрь		
Na <sup>+</sup>		90,3	84,3	56,6	47,1	67,3	59,8	65,7	56,8	58,1	200	
K <sup>+</sup>		6,61	7,47	5,53	6,99	8,13	4,11	2,04	1,59	1,76	–	
M		1 330	1 242	919	1 205	1 392	1 007	1 281,7	955,3	1 052,1	–	
F <sup>-</sup>		13,8	9,97	1,77	10,4	14,8	5,87	11,7	10,4	10,7	1,2–1,5	
Si		20,8	16,0	17,8	17,0	18,6	9,51	12,9	9,98	16,1	10	
Sr		–	5,11	3,03	6,86	9,97	4,73	3,60	3,09	2,41	7,00	
B		–	2,90	–	4,12	3,25	2,93	3,39	2,90	2,14	0,5	
Ba		–	0,24	–	0,73	0,58	0,56	0,19	0,11	0,17	0,7	
Br		–	0,24	–	0,33	0,15	0,16	0,17	0,21	0,17	0,2	
Mn		0,04	0,017	0,074	1,09	5,75	0,18	0,02	0,05	0,03	0,1	
Fe		0,59	0,20	0,56	42,3	83,2	5,90	0,08	0,10	0,03	0,3	
Li		–	72,0	–	97,0	57,0	53,0	43,0	70,0	51,0	30	
Be		–	0,031	–	0,050	0,008	0,020	0,015	0,009	0,007	0,2	
Al		–	380,0	–	293,0	125,0	129,8	27,0	18,0	7,40	200	
Cu		–	2,27	5,44	3,18	1,37	5,35	1,61	1,33	2,10	1 000	
Zn		–	2,40	0,14	6,10	1,23	17,7	5,80	13,8	7,00	1 000	
As		–	58,0	–	152,0	113,0	10,1	156,0	95,0	79,0	10,0	
Se		–	8,0	–	21,0	8,2	8,5	13,7	–	7,0	10,0	
Pb		–	<ПО	0,88	0,96	0,13	0,85	0,13	0,009	0,023	10,0	
Rb		–	15,3	–	18,0	11,9	9,56	10,9	13,1	10,3	–	
Co	мкг/л	–	0,67	<ПО	0,85	0,38	0,27	0,16	0,24	0,13	100	
Ni		–	2,30	5,79	3,70	1,31	1,91	1,83	2,09	3,49	20	
Cr		–	47,0	–	65,0	49,0	48,1	22,0	18,0	17,0	50(Cr <sup>6+</sup> )	
V		–	87,0	–	147,0	98,0	62,0	64,0	69,0	64,0	100	
W		–	76,0	–	53,0	53,0	40,2	69,0	78,0	58,0	50	
Mo		–	102,0	–	69,0	75,0	49,6	94,0	112,0	81,0	70	
Cd		–	0,12	–	0,39	0,46	2,71	1,01	1,21	0,83	1,00	
Sb		–	8,50	–	13,7	9,50	5,30	9,50	7,80	6,90	5,00	
Tl		–	0,060	–	0,066	0,089	0,020	0,024	0,033	0,023	0,10	
U		–	3,70	–	7,10	2,47	0,15	5,10	5,60	4,88	–	

*Примечание.* Здесь и в табл. 3, 4: «–» – не определялось или в графе ПДК – норматив отсутствует; ПО – предел обнаружения; М – минерализация.

*Note.* Here and in the tables 3, 4: «–» – was not determined or in the MPC column – there is no standard; DL – detection limit; M – mineralization.



**Рис. 5. Золоотвал Читинской ТЭЦ-2**

a – пруд-отстойник; b – секция сброса гидрозолошлака

**Fig. 5. The ash dump of the Chitinskaya TPP-2**

a – settling pond; b – discharge water solution of ash and slag section

Таблица 3

## Химический состав пруда-отстойника золоотвала Читинской ТЭЦ-2

Table 3

## The chemical composition of the settling pond of the ash dump of the Chitinskaya TPP-2

Показатель	Единица измерения	2017 г.	2018 г.				2019 г.		2020		
		август	июнь	сентябрь	ноябрь	июнь	ноябрь	июнь	сентябрь	октябрь	
рН		7,88	8,70	9,94	9,25	7,62	8,90	7,90	10,1	9,45	
Жесткость общая	мг-экв/л	3,34	3,06	1,88	3,14	4,02	4,37	7,40	5,00	2,72	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л	163,2	53,4	12,8	86,6	61,3	92,1	89,0	0,00	67,2	
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>		3,52*	9,00	33,6	25,2	–	30,6	<6,0	41,6	13,2	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		122,4	151,3	69,7	110,4	172,5	131,8	143,3	253,1	101,1	
Cl <sup>-</sup>		56,1	11,6	7,12	20,9	11,8	31,1	14,5	14,0	27,5	
Ca <sup>2+</sup>		44,1	50,8	30,7	49,5	62,2	66,6	124,3	84,4	39,6	
Mg <sup>2+</sup>		13,6	6,42	4,20	8,07	11,2	12,7	14,6	9,60	9,00	
Na <sup>+</sup>		91,3	33,5	19,1	31,0	31,9	31,7	26,4	25,8	29,1	
K <sup>+</sup>		1,82	2,74	1,92	1,84	2,20	1,33	<1,0	<1,0	<1,0	
M		493,2	325,1	183,7	341,6	361,6	408,0	416,3	434,7	307,4	
F <sup>-</sup>		0,72	3,97	1,09	3,30	5,48	2,18	3,23	4,28	1,51	
Si		8,35	9,35	9,88	11,1	10,2	15,9	6,04	17,7	11,9	
Sr		0,92	1,68	0,92	1,31	1,94	1,73	1,43	1,72	0,78	
B		–	–	–	1,05	2,72	1,18	2,15	2,16	0,81	
Ba		–	–	–	0,23	0,18	0,19	0,094	0,40	0,15	
Br		–	–	–	0,056	0,059	0,043	0,059	0,082	0,042	
Mn		0,19	0,005	0,078	0,055	0,050	0,12	0,01	0,03	0,04	
Fe		5,52	0,18	1,59	0,69	0,17	3,56	0,16	0,27	0,21	
Li		мкг/л	–	–	–	48,0	39,0	40,4	31,0	41,0	36,0
Be			–	–	–	0,010	0,007	0,010	0,043	0,011	0,005
Al	–		219,6	1958	171,0	52,0	103,0	105,0	106,0	122,0	
Cu	–		4,56	4,58	7,61	0,83	3,18	1,71	0,94	1,06	
Zn	–		<ПО	0,14	4,13	3,03	4,19	14,2	4,24	0,85	
As	–		–	–	56,0	93,0	45,0	84,0	89,0	28,0	
Se	–		–	–	3,23	2,50	1,34	2,03	–	0,48	
Pb	–		0,19	1,49	1,45	0,10	0,74	0,30	0,011	0,044	
Rb	–		–	–	10,9	12,0	7,14	12,6	10,9	6,30	
Co	–		<ПО	<ПО	<ПО	0,10	0,12	0,052	0,038	0,028	
Ni	–		0,72	5,10	4,56	1,09	0,98	1,29	0,76	0,80	
Cr	–		–	–	4,12	7,20	4,17	2,09	8,20	1,64	
V	–		–	–	53,0	69,0	33,9	34,0	65,0	25,0	
W	–		–	–	13,0	20,0	10,8	13,9	14,6	8,80	
Mo	–		–	–	14,1	38,0	12,2	49,0	40,0	11,1	
Cd	–		–	–	0,10	0,37	0,25	0,60	0,43	0,12	
Sb	–		–	–	5,30	6,70	2,47	4,93	4,03	2,40	
Tl	–		–	–	0,009	0,007	0,010	0,007	0,007	0,006	
U	–		–	–	1,74	3,54	1,53	6,10	4,12	1,28	

Примечание. \* – содержание CO<sub>2</sub>.

Note. \* – CO<sub>2</sub> content.



Рис. 6. Золоотвал Шерловогорской ТЭЦ

а – пруд-отстойник; б – секция сброса гидрозолошлака

Fig. 6. The ash dump of the Sherlovogorskaya TPP

а – settling pond; б – discharge water solution of ash and slag section

Таблица 4

## Химический состав пруда-отстойника золоотвала Шерловогорской ТЭЦ

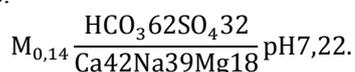
Table 4

## The chemical composition of the settling pond of the ash dump of the Sherlovogorskaya TPP

Показатель	Единица измерения	2017 г.			2018 г.			2020 г.			
		июль	июнь	август	июль	сентябрь	октябрь	июль	сентябрь	октябрь	
рН		9,02	8,90	8,67	9,00	9,00	9,84				
Жесткость общ.	мг-экв/л	4,11	2,33	2,31	3,00	2,95	2,99				
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л	140,3	138,8	155,6	143,4	140,0	104,5				
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>		30,0	18,0	7,80	15,0	17,1	100,4				
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		134,0	130,5	138,3	171,0	162,5	67,5				
Cl <sup>-</sup>		121,4	108,5	106,9	202,5	200,1	46,3				
F <sup>-</sup>		1,20	1,23	2,36	1,29	1,20	0,87				
Ca <sup>2+</sup>		24,8	20,6	20,0	23,3	19,0	29,1				
Mg <sup>2+</sup>		18,2	15,9	16,0	22,3	24,4	18,7				
Na <sup>+</sup>		149,4	137,0	143,2	207,1	163,0	109,3				
K <sup>+</sup>		4,00	4,00	3,75	1,36	1,52	<1,0				
M		623,3	577,0	597,0	787,3	730,2	480,0				
Si		4,18	6,75	2,98	5,00	5,37	19,3				
Sr		0,95	0,84	0,76	0,89	0,89	0,66				
B		–	–	1,74	1,42	1,58	0,89				
Ba		–	–	0,055	0,058	0,063	0,056				
Br		–	–	0,55	0,55	0,50	0,18				
Mn		0,048	0,007	0,001	0,010	0,070	0,070				
Fe		0,64	0,15	0,051	0,030	0,13	0,53				
Li		мкг/л	–	–	60,0	56,0	47,0	45,0			
Be			–	–	0,012	0,010	0,005	0,005			
Al	–		258,4	577,0	121,9	104,0	113				
Cu	–		3,87	10,9	2,77	1,50	2,65				
Zn	–		<ПО	9,10	122,2	4,34	3,75				
As	–		–	39,0	80,5	72,0	27,0				
Se	–		–	2,11	4,26	–	0,35				

Показатель	Единица измерения	2017 г.		2018 г.		2020 г.	
		июль	июнь	август	июль	сентябрь	октябрь
Pb		–	<ПО	1,26	0,59	0,012	0,021
Rb		–	–	15,0	9,34	10,2	4,34
Co		–	<ПО	0,18	0,18	0,10	0,16
Ni		–	2,47	0,73	1,60	1,80	13,4
Cr		–	–	6,80	9,07	3,60	6,70
V		–	–	53,0	52,3	43,0	37,0
W		–	–	25,0	20,8	26,0	13,8
Mo		–	–	43,0	31,8	34,0	113,0
Cd		–	<ПО	0,59	0,55	0,54	0,88
Sb		–	–	3,86	1,44	1,98	1,23
Tl		–	–	0,007	0,004	0,005	0,008
U		–	–	7,00	4,61	5,40	7,60

Подземные воды аллювиальных отложений за исследуемый период имели следующий (усредненный) состав:

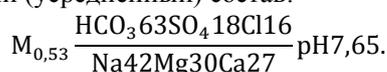


**Шерловогорская ТЭЦ** работает с 1956 г. Основным видом топлива на ТЭЦ является бурый уголь Харанорского угольного разреза. Водоснабжение станции осуществляется из артезианских скважин Харанорского и Северного водозаборов.

Золоотвал (рис. 6, а, б) расположен в Тургино-Харанорской впадине в пределах депрессионной воронки, образованной в процессе эксплуатации нескольких водозаборов Харанорского месторождения подземных вод. Хорошо проницаемые аллювиальные отложения способствуют активной фильтрации загрязненных вод в водоносный горизонт. Летом гидрозолоотвал почти полностью осушается за счет фильтрации и, в меньшей степени, испарения.

По гидрохимическим показателям ГЗШО Шерловогорской ТЭЦ отличается от золоотвалов Читинских ТЭЦ как по катионному, так и по анионному составу (см. рис. 3). Среди анионов преобладают хлориды, основной катион – натрий. Такой состав воды может быть обусловлен использованием ТЭЦ соляной кислоты и едкой щелочи для чистки котлов. Нельзя исключить и некоторую роль состава воды источников водоснабжения ТЭЦ. В 2017–2020 гг. величина общей жесткости составляла 2,31–4,11 мг-экв/л, минерализации – 0,48–0,79 г/л (см. табл. 4). Содержание сульфатов и фтора здесь изменялось в тех же пределах, что и в золоотвале Читинской ТЭЦ-2.

Подземные воды в исследуемый период имели следующий (усредненный) состав:



**Приаргунская ТЭЦ (ПТЭЦ)** введена в эксплуатацию в 1961 г.; работает лишь в период отопительного сезона. Вода на ТЭЦ поступает из четырех ар-

тезианских скважин, расположенных в пойме р. Аргунь в 5 км от поселка.

Гидрозолоотвал ПТЭЦ (рис. 7) расположен на первой надпойменной левобережной террасе р. Урулюнгуй – левого притока р. Аргунь. Благодаря высокой фильтрационной способности голоценовых аллювиальных грунтов, которыми сложена терраса реки, техногенная вода из золоотвала в теплый период года, когда ТЭЦ не работает, полностью фильтруется. Происходит «пыление» высохшей пульпы на поселок. Для заполнения чаши ГЗШО с целью уменьшения «пыления» увеличивается забор воды.

Вследствие небольшого объема золы и отсутствия воды в чаше золоотвала в теплый период года, её влияние на гидродинамический режим подземных вод практически отсутствует.

В связи с отсутствием аналитических данных за последние годы по составу воды гидрозолоотвала ПТЭЦ, гидрохимическая характеристика приводится по результатам анализов прошлых лет. По единичным пробам в 2001 г. вода отстойника ПТЭЦ гидрокарбонатная натриево-кальциевая, в 2002 г. – сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатная кальциево-магниевая-натриевая с величиной жесткости 6,53 и 6,17 мг-экв/л соответственно. При фильтрации происходит значительный вынос хлорида-иона из накопленной в отвале золы, что видно из сравнения с пробой (табл. 5), отобранной из озера в самом золоотвале. Обогащение золы хлором, вероятно, связано с использованием хлористого натрия в технологии водоподготовки. При фильтрации также происходит значительный вынос железа и марганца. Величина жесткости фильтрационных вод 13,2 мг-экв/л.

Химический состав подземных вод вблизи золоотвала Приаргунской ТЭЦ по результатам, полученным в 2013 г., следующий: рН 7,62–8,83, величина минерализации 0,78–4,58 г/л, величина общей жесткости 2,90–22,4 мг-экв/л, содержание сульфатов, мг/л; 99,4–1 478, гидрокарбонатов 323–

1403, хлоридов 100,6–355,0, фторидов 0,47–3,94, кальция 18–52, магния 24,3–248,1, натрия 116,3–872,4, калия 2,51–79,5, железа 22,3–59,7, марганца 0,15–1,83. Максимальные концентрации сульфатов, хлоридов, гидрокарбонатов, натрия, калия, магния, значения минерализации и жесткости отмечались в скважине 3 (рис. 8), расположенной между золоотвалом (вблизи действующей третьей секции) и р. Урулюнгуй (рис. 8). В 2014 г. отмечалось повышение минерализации и содержания сульфатов в скважине 1 (рис. 8) и некоторое снижение этих показателей в скважине 3 (до 3,10 г/л и 739 мг/л соответственно), что, возможно,

вызвано преимущественным заполнением в 2014 г. первой секции золоотвала, а в 2013 г. – третьей.

Во все сроки опробования за период 2017–2020 гг. в микроэлементном составе всех исследуемых прудов-отстойников (за исключением Приаргунской ТЭЦ) превышали ПДК концентрации бора, лития и мышьяка (рис. 9, а, б, табл. 2). В пруде-отстойнике Читинской ТЭЦ-1 регулярно превышали нормативный уровень концентрации вольфрама, сурьмы, железа, периодически превышали или были близки к значениям ПДК содержания бария, брома, марганца, селена, молибдена, ванадия, стронция, алюминия и хрома (см. табл. 2).



Рис. 7. Золоотвал Приаргунской ТЭЦ

Fig. 7. The ash dump of the Priargunskaya TPP

Таблица 5

Химический состав водных проб с территории размещения золоотвала Приаргунской ТЭЦ

Table 5

The chemical composition of water samples from the territory of the ash dump of the Priargunskaya TPP

Показатель	Единица измерения	2001 г.				2002 г.	
		Номер пробы				1	2
		1	2	3	4		
pH	–	8,60	8,69	8,64	6,60	8,84	8,7
Жесткость общая	мг-экв/л	7,99	5,36	13,2	–	6,17	4,27
HCO <sub>3</sub> <sup>–</sup>	мг/л	632,0	503,0	1081	381,2	319,4	279,1
CO <sub>3</sub> <sup>2–</sup>		14,4	19,8	10,4	–	9,9	9,9
SO <sub>4</sub> <sup>2–</sup>		24,8	16,8	48,0	161,0	124,0	88,0
Cl <sup>–</sup>		60,3	63,1	211,8	166,0	124,2	49,4
F <sup>–</sup>		1,60	0,85	2,68	1,15	1,12	0,83
Ca <sup>2+</sup>		117,6	70,5	170,4	78,8	52,9	27,6
Mg <sup>2+</sup>		25,3	22,0	56,6	58,4	42,3	34,7
Na <sup>+</sup>		91,3	82,4	185,2	205,6	120,5	89,8
K <sup>+</sup>		5,3	3,6	5,2	15,5	5,19	4,16
M		975,0	782,0	1772	–	789,6	573,6
Si		9,4	3,0	3,5	–	7,5	5,6
Sr		0,55	0,28	0,88	–	0,46	0,34

Показатель	Единица измерения	2001 г.				2002 г.	
		Номер пробы					
		1	2	3	4	1	2
Mn		0,14	0,20	1,20	72,2	0,05	0,15
Fe		0,69	0,47	2,18	191,6	0,17	2,06
Li	мкг/л	20,0	10,0	30,0	–	–	–
Cu		6,62	13,8	2,48	2,10	12,0	5,90
Zn		6,90	11,6	15,2	8,10	24,8	6,00
Pb		4,02	0,05	0,84	4,90	1,85	1,18
Co		0,04	0,01	0,03	2,70	1,15	0,67
Ni		14,4	9,13	7,94	4,30	0,86	5,26

Примечание. 1 – золоотвал; 2 – вода системы охлаждения; 3 – разгрузка фильтрационных вод золоотвала в протоку р. Урулюнгуй; 4 – водная вытяжка золы (мг/кг); «–» – не определялось.

Note. 1 – ash dump; 2 – water cooling system; 3 – unloading filtration water ash dump in the river Urulungui; 4 – water extraction of ash (mg/kg); «–» – no determined.



Рис. 8. Схема наблюдательной сети территории золоотвала Приаргунской ТЭЦ

Fig. 8. Scheme of the observation network of the territory of the ash dump of the Priargunskaya TPP

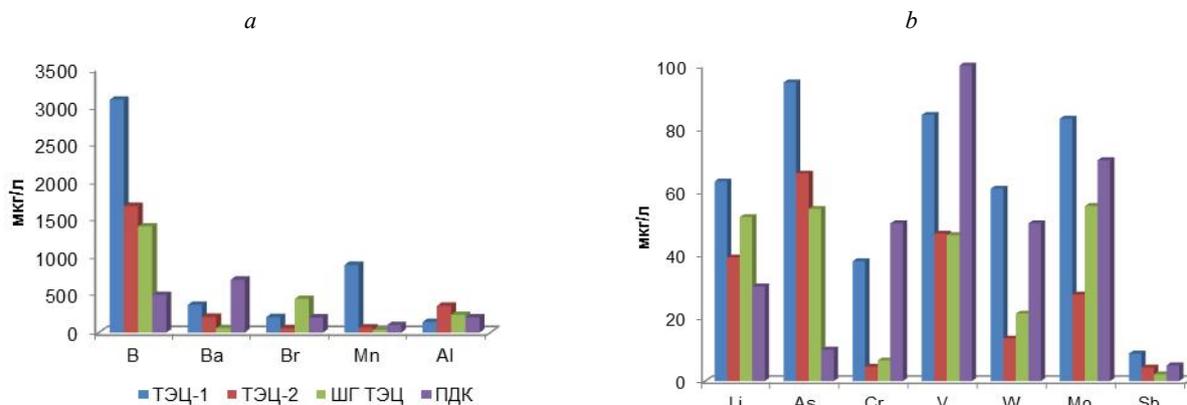


Рис. 9. Соотношение ПДК и концентрации микроэлементов (мкг/л): В, Ва, Вr, Мn, Al (а) и Li, As, Cr, V, W, Мо и Sb (b) в воде прудов-отстойников Читинских ТЭЦ и Шерловогорской ТЭЦ

Fig. 9. Ratio of MPC and concentration of microelements ( $\mu\text{g} / \text{L}$ ): B, Ba, Br, Mn, Al (a) and Li, As, Cr, V, W, Mo and Sb (b) in the water of the settling ponds of the Chitinskaya TPPs and Sherlovogorskaya TPP

В отстойниках Читинской ТЭЦ-2 и Шерловогорской ТЭЦ в отдельные сроки уровни содержания железа, сурьмы и алюминия превышали норматив или были близки к нему (см. рис. 9; табл. 3, 4); кроме того, в первом зафиксировано превышение ПДК по марганцу, во втором – по бромю. Концентрации таких элементов, как ванадий, вольфрам, молибден, находятся в пределах нормы; барием и хромом воды обогащены незначительно. Имеющиеся данные по отстойнику Приаргунской ТЭЦ указывают на превышение ПДК по марганцу и железу.

### Заключение

Воды исследованных золоотвалов слабощелочные, щелочные с величиной рН в диапазоне 7,62–10,0. Наиболее минерализованным является золоотвал Читинской ТЭЦ-1 (минерализация более 1 г/л), наименее – золоотвал Читинской ТЭЦ-2 (менее 0,5 г/л). Анионно-катионный состав осветленной воды определяется составом воды источников водоснабжения и золы, интенсивностью водообмена в системе гидрозолоудаления, соотношением оборотной и свежей воды, использованием тех или иных реагентов для водоподготовки и чистки котлоагрегатов и другими факторами. В зависимости от этого в воде доминирует любой из трех основных анионов, тогда как в составе катионов преобладает кальций или натрий.

Наиболее высокие содержания сульфатов, фторидов и кремния отмечаются в ГЗШО Читинской ТЭЦ-1. Существенно ниже они в других сооружениях, исследуемых здесь, что, вероятно, связано с разным объемом сжигаемого топлива и способом сжигания.

Микрокомпонентный состав золоотвалов характеризуется сходным набором элементов, концентра-

ции которых не соответствуют нормативу. Это бор, литий, мышьяк, железо и марганец. Кроме того, превышают норматив в ГЗШО: Читинских ТЭЦ – сурьма, Читинской ТЭЦ-1 – бром и вольфрам, Шерловогорской ТЭЦ – бром. Повышены, близки к ПДК или в отдельные сроки превышают ее концентрации ванадий, молибден, селен, стронций, алюминий, хром. Содержания этих элементов (кроме алюминия и сурьмы) значительно выше в отстойнике Читинской ТЭЦ-1.

Концентрации таких металлов, как медь, цинк, свинец, никель, кобальт, в водах отстойников низкие, что, вероятно, обусловлено щелочной средой, высокие значения рН которой ограничивают накопление элементов вследствие образования слаборастворимых гидроксидов [Перельман, 1989]. Исключение составляют ванадий, мышьяк, молибден, хром и т.д., проявляющие в условиях щелочной среды анионогенные свойства.

На основании проведенного исследования можно констатировать, что при определенных условиях вследствие большего объема сжигаемого угля и, следовательно, накапливаемых ЗШО, высоких содержаний загрязняющих компонентов в фильтрационных водах, наиболее вероятным источником загрязнения может являться золоотвал Читинской ТЭЦ-1. Учитывая, что степень фильтрации из ГЗШО под воздействием разных факторов (изменение фильтрационных характеристик пород ложа золоотвала в результате деградации многолетней мерзлоты под влиянием высокотемпературных вод или механического нарушения их целостности; смена режима и состава подземных вод близлежащих подземных горизонтов и т.д.) может меняться со временем, поверхностные и подземные водные объекты, находящиеся в зоне влияния таких сооружений, изначально подвержены экологическому риску.

### ЛИТЕРАТУРА

- Абакумова В.Ю.** Влияние водопользования в теплоэнергетике Забайкальского края на водные объекты // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2009. № 2. С. 46–50.
- 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.
- Делицын Л.М., Ежова Н.Н., Власов А.С., Сударева С.В.** Золоотвалы твердотопливных тепловых электростанций как угроза экологической безопасности // Экология промышленного производства. 2012. № 4. С. 15–26.
- Замана Л.В., Аскарлов Ш.А., Усманова Л.И., Усманов М.Т., Чебыкин Е.П.** Загрязнение подземных и поверхностных вод в зоне влияния фильтрационных утечек гидрозолоотвала Читинской ТЭЦ-1 // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов : материалы XX Междунар. науч.-практ. конф. (30 ноября – 04 декабря 2020 года, г. Чита) : в 3 ч. Чита : Забайкальский государственный университет, 2020. С. 78–82.
- Злобина В.Л., Медовар Ю.А., Юшманов И.О.** Трансформация состава и свойств подземных вод при изменении окружающей среды. М. : Мир науки, 2017. 191 с.
- Касимов Н.С., Власов Д.В.** Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2015. № 2. С. 7–17.
- Мязина В.И.** Эколого-технологическая оценка золошлаковых отходов тепловых электростанций Восточного Забайкалья // Дис. ... канд. техн. наук. Чита, 2004. 189 с.
- Перельман А.И.** Геохимия : учебник. М. : Высшая школа, 1989. 528 с.
- Усманова Л.И.** Гидрогеохимическая характеристика вод зоны влияния гидрозолоотвала Читинской ТЭЦ-1 // Успехи современного естествознания. 2019. № 11. С. 166–172.

**Целюк Д.И.** Особенности техногенного воздействия золоотвалов Средней Сибири на подземные воды : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2009. 24 с.

**Юдович Я.Э., Кетрис М.П.** Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. Екатеринбург : Уральское отделение РАН, 2005. 648 с.

**Bera A.** Impact of Bandel Thermal Power Plant (BTPS) on Hugli River, Hugli, West Bengal // International Journal of Scientific Research. 2016. V. 5, is. 4. P. 1–5.

**Humbarde Smita V., Panaskar D.B.F., Pawar R.S.** Impact of Indiscriminate Disposal of Waste from Thermal Power Plant on Groundwater Resources // Universal Journal of Environmental Research and Technology. 2013. V. 3, is. 6. P. 630–640.

**Pokale W.K.** Effects of thermal power plant on environment // Scientific Reviews and Chemical Communications. 2012. V. 2, is. 3. P. 212–215.

#### Авторы:

**Усманова Лариса Ивановна**, младший научный сотрудник, лаборатория геоэкологии и гидрогеохимии, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

E-mail: larisaum@mail.ru

**Замана Леонид Васильевич**, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория геоэкологии и гидрогеохимии, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

E-mail: l.v.zamana@mail.ru

*Geosphere Research*, 2021, 2, 87–100. DOI: 10.17223/25421379/19/8

L.I. Usmanova, L.V. Zamana

*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia*

### COMPARATIVE ECOLOGICAL AND HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF HYDRAULIC ASH AND SLAG DUMPS OF HEAT POWER STATIONS OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX OF THE EASTERN TRANSBAIKALIA

Based on the results of chemical-analytical work carried out in the framework of monitoring the geological environment at the sites for the disposal of ash dumps at the TPPs of East Transbaikalia, the hydrochemical characteristic of the settling ponds is given, which makes it possible to assess potentially dangerous objects of pollution of natural waters. To perform analyzes of water samples, generally accepted standardized methods for determining the components were used.

The chemical composition of the objects of study varies in basic hydrochemical parameters, degree of mineralization and hardness. The waters of the facilities are alkaline with a pH greater than 7.5. Calcium and sulfate predominate in the cationic-anion composition of ash dumps of the Chitinskaya TPPs, Sherlovogorskaya TPP – chloride and sodium, Priargunskaya TPP – bicarbonate and calcium or sodium. The highest concentrations of sulfates, fluorides, silicon, hardness value and degree of mineralization are noted in the ash dump of the Chitinskaya TPP-1. Maximum values here are: sulfates – 724.5 mg/l, fluorides – 14.8 mg/l, silicon – 20.8 mg/l, hardness – 23.2 mEq/l. The degree of mineralization of the settler waters is more than 1 g/l. The ash dump of the Chitinskaya TPP-2 is the least mineralized of the studied objects. The smallest amount of hardness is noted in the settling pond of the Sherlovogorskaya TPP. In the filtration waters of the ash dump of the Priargunskaya TPP, a significant increase in the chlorine content is noted as a result of the removal from the ash with which it is enriched; during filtration, manganese and iron are also intensively removed. Data on trace elements determined by the method of mass spectrometry with inductively coupled plasma are not available for this object.

In clarified water of ash dumps, concentrations of boron, lithium, iron, manganese, arsenic exceed the maximum permissible standards. In addition, there is an excess of MPC in ash dumps: Chitinskaya TPPs – barium and antimony, Chitinskaya TPP-1 – bromine and tungsten, Sherlovogorskaya TPP – bromine and aluminum. Close to the maximum permissible concentration or in some periods exceed the contents of vanadium, molybdenum, selenium, antimony, strontium, aluminum, tungsten, chromium. Their highest concentrations, with the exception of aluminum, antimony, and uranium, are contained in the settler of the Chitinskaya TPP-1. Alkaline environmental conditions limit the accumulation of heavy metals – copper, lead, nickel, cobalt, etc.

**Keywords:** heat power engineering, settling pond, ash and slag deposits, infiltration, chemical composition

#### References

Abakumova V.Yu. *Vliyaniye vodopol'zovaniya v teploenergetike Zabaykal'skogo kraya na vodnye ob'ekty* [The effect of water use in thermal energy sphere in the Transbaikal region on the local water bodies] // Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya. 2009. No 2. pp. 46–50. In Russian

Alekseeva T.E., Gol'dina 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. V. 51. No 12. pp. 974–978.

Delitzin L.M., Ezhova N.N., Vlasov A.S., Sudareva S.V. *Zolootvaly tverdotoplivnykh teplovykh elektrostantsiy kak ugroza ekologicheskoy bezopasnosti* [Ash disposal areas of coal's power stations as the threat to environmental safety] // Ekologiya promyshlennogo proizvodstva. 2012. No 4. pp. 15–26. In Russian

Zamana L.V., Askarov Sh.A., Usmanova L.I., Usmanov M.T., Chebykin E.P. *Zagryaznenie podzemnykh i poverkhnostnykh vod v zone vliyaniya fil'tratsionnykh utechek gidrozolootvala Chitinskoy TETs-1* [Pollution of underground and surface water in the area of influence of filter leaks of the hydraulic ash dump of Chitinskaya TPP-1] // Kulaginskije chteniya: tekhnika i tekhnologii proizvodstvennykh protsessov: materialy XX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (30 noyabrya – 04 dekabrya 2020 goda, g. Chita). V 3-kh chastyakh. Chita: Izdatel'stvo: Zabaykal'skiy gosudarstvennyy universitet, 2020. pp. 78–82. In Russian

Zlobina V.L., Medovar Yu.A., Yushmanov I.O. *Transformatsiya sostava i svoystv podzemnykh vod pri izmenenii okruzhayushchey sredy: monografiya* [Transformation of the composition and properties of groundwater under environmental changes] Monograph. Moscow: OOO Izdatel'stvo «Mir nauki», 2017. 191 p. In Russian

Kasimov N.S., Vlasov D.V. *Klarki khimicheskikh elementov kak etalony sravneniya v ekogeokhimii* [Clarkes of chemical elements as comparison standards in ecogeochemistry] // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya. 2015. No 2. pp. 7–17. In Russian

Myazina V.I. *Ekologo-tehnologicheskaya otsenka zoloshlakovykh otkhodov teplovykh elektrostantsiy Vostochnogo Zabaykal'ya* [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

Perel'man A.I. *Geokhimiya: Uchebnik*. [Geochemistry: Textbook]. Moscow: Vysshaya shkola, 1989. 528 p. In Russian

Usmanova L.I. *Gidrogeokhimicheskaya kharakteristika vod zony vliyaniya gidrozolootvala Chitinskoy TETS-1* [Hydrogeochemical characteristics of the waters of influenced zone of the Chitinskaya TPP-1 ash dump] // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2019. No 11. pp. 166–172. In Russian

Yudovich Ya.E., Ketris M.P. *Toksichnye jelementy-primesi v iskopaemyh ugljah* [Toxic Trace Elements in Coal]. Ural'skoe otdelenie RAN, 2005. 648 p. In Russian

Bera A. Impact of Bandel Thermal Power Plant (BTPS) on Hugli River, Hugli, West Bengal // International Journal of Scientific Research. 2016. V. 5. Iss. 4. pp. 1–5.

Humbarde Smita V., Panaskar D. B.F., Pawar R.S. Impact of Indiscriminate Disposal of Waste from Thermal Power Plant on Groundwater Resources // Universal Journal of Environmental Research and Technology. 2013. V. 3. Iss. 6. pp. 630–640.

Pokale W. K. Effects of thermal power plant on environment // Scientific Reviews and Chemical Communications. 2012. V. 2. Iss. 3. pp. 212–215.

**Author's:**

**Usmanova Larisa I.**, Junior Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia.

E-mail: [larisaum@mail.ru](mailto:larisaum@mail.ru)

**Zamana Leonid V.**, Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia.

E-mail: [l.v.zamana@mail.ru](mailto:l.v.zamana@mail.ru)