

**С.Г. ПЛАТОНОВА<sup>1</sup>, О.И. КАЛЬНАЯ<sup>2</sup>, В.В. СКРИПКО<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Институт водных и экологических проблем СО РАН (Барнаул, Россия)*

<sup>2</sup> *Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)*

<sup>3</sup> *Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)*

## **ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В БАССЕЙНЕ ЛОГА ХОВУ-АКСЫ**

На примере лога Хову-Аксы (Тыва) (на основе бассейнового анализа, полевых морфометрических исследований и гидрохимического опробования) представлена зависимость между химическим составом подземных вод и бассейновой организацией территории. Выявленная транзитная специализация интегрального звена водосборного бассейна определяет практически отсутствие в подземных водах рудообразующих тяжёлых металлов (никель, кобальт, медь) и мышьяка Хову-Аксынское месторождения. Установлено, что по мере удаления от источников загрязнения в подземных водах делювиально-пролювиального горизонта уменьшаются значения минерализации от 0,68 до 0,3 г/л и общей жёсткости от 7,1 до 3,2 мг-экв/л.

*Ключевые слова:* бассейн лога Хову-Аксы, бассейновый анализ, подземные воды, гидрохимический состав, Хову-Аксынское арсенидно-кобальтовое месторождение.

Табл. 2. Библ. 7. назв. С. 20–26.

*Работа выполнена в рамках государственных заданий ИВЭП СО РАН: Проект № ААА-А17-117041210243-8; ТувИКОПР СО РАН: Проект № АААА-А17-117072710021-1 и при частичной поддержке РФФИ: Грант № 17-45-170588-р\_а «Экогидрохимическая модель трансформации вещества Со-Ni-Си-арсенидных отходов обогащения руд месторождения Хову-Аксы (комбинат «Тувакобальт», Республика Тыва) с разработкой схемы рекультивации территорий»*

**S.G. PLATONOVA<sup>1</sup>, O.I. KALNAYA<sup>2</sup>, V.V. SKRIPKO<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Institute for Water and Environmental problems SB RAS (Barnaul, Russia)*

<sup>2</sup> *Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS (Kyzyl, Russia)*

<sup>3</sup> *Altai State University (Barnaul, Russia)*

### **SPATIAL DIFFERENTIATION OF THE HYDROCHEMICAL COMPOSITION OF GROUNDWATER IN THE KHOVU-AKSY BASIN**

An analysis of the Khovu-Aksy basin (Tuva), together with field morphometric studies and hydrogeological sampling, revealed that the chemical composition of groundwater largely depends on the basin organization of the territory. The practical absence of water pollution by ore-forming heavy metals (nickel, cobalt, copper) and arsenic that typical for the deposit is explained by the transit specialization of integrated link of the catchment basin. With increasing distance from the pollution sources in underground waters of the deluvial-proluvial horizon, the mineralization values decrease from 0,68 to 0,3 g/l and the total hardness from 7,1 to 3,2 mg-EQ/l.

*Keywords:* Khovu-Aksy basin, basin analysis, underground water, hydrogeochemical composition, Khovu-Aksy arsenide-cobalt deposit.

Tables 2. References 7. P. 20–26.

**ВВЕДЕНИЕ.** Разработка Хову-Аксынское арсенидно-кобальтового месторождения (Республика Тыва), обогащение руд и складирование в отстойниках-картах отходов гидрометаллургического передела в 1970–1991 гг. сопровождалось значительным

загрязнением всех компонентов ландшафтов в пределах одноимённого лога. Количественные и качественные показатели этого воздействия отражены в результатах многочисленных экологических исследований (Лебедев, 2015; и др.). При этом наименее подверженными воздействию от деятельности рудника оказались подземные воды. Для характеристики их современного состояния в настоящей работе наряду с гидрогеохимическим опробованием предложено использовать бассейновый анализ.

Хову-Аксынское арсенидно-кобальтовое месторождение расположено в Республике Тыва на северном макросклоне хр. Западный Танну-Ола. Месторождение представлено рудами цветных металлов, содержащих в составе сульфидных, окисных и арсенидных минералов такие элементы как железо, кобальт, медь, никель, сурьма, цинк и мышьяк (Лебедев, 2015). В районе преобладает низкогорный резко расчленённый мелкосопочный тип рельефа с абсолютными высотами от 800 до 1500 м и относительными превышениями от 50 до 300 м (Геологическая карта..., 1961). Гребневая линия водоразделов расчленена, склоны крутые с мелким и густым эрозионным расчленением. Хову-Аксынский лог ориентирован с северо-запада на юго-восток и выходит к р. Элегест на её субширотном участке. Лог характеризуется ассиметричным поперечным профилем. Склоны и днище лога выполнены осадками делювиально-пролювиального шлейфа, образующего наклонную поверхность с углом наклона 6-8°, расчленённую многочисленными эрозионными формами. В условиях аридного климата большую часть времени русла в пределах лога являются сухими.

Верхняя часть геологического разреза, наиболее подверженная загрязнению, сложена преимущественно дресвяно-щебнистыми с суглинистым заполнителем делювиально-пролювиальными отложениями позднеплейстоцен-голоценового возраста) и валунно-галечными с песчаным заполнителем аллювиальными образованиями голоцена поймы р. Элегест, которые являются водовмещающими, соответственно для делювиально-пролювиального и аллювиального водоносных горизонтов. Состав делювиально-пролювиальных осадков значительно варьирует в зависимости от уровня относительно днища лога. На верхнем уровне высока доля красноцветных глин — переотложенных продуктов коры выветривания (источника трёхвалентного железа, кальция и магния). На нижнем и среднем уровнях преобладают бурочетные образования преимущественно песчано-щебнистого состава, содержащие оловый материал песчано-алевритовой размерности.

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.** *Бассейновый анализ.* Важным фактором формирования потоков миграции загрязняющих элементов и полей загрязнения в почвенном покрове и водных объектах является рельеф и эрозионно-аккумулятивные процессы, протекающие в условиях водосборного бассейна (Хортон, 1948; Симонов, Симонова, 1997). Процессы накопления/выноса вещества (в т. ч. загрязняющего) отражены в элементах структуры бассейновой системы, характеристики которых можно по методике Ю.Г. Симонова (1997, 2008) переводятся в закодированный вид с помощью структурных индексов: площадей (ИСП), длин (ИСД), уклонов (ИСУ) и бифуркации (ИСБ). Масштаб исследования выбирается эмпирически с тем расчётом, чтобы водосборный бассейн исследуемого лога имел удобный для анализа 3-й порядок. При анализе Хову-Аксынского лога оптимальным оказался масштаб 1 : 500 000.

*Отбор гидрогеохимических проб.* Основные выводы бассейнового анализа были сравнены с данными гидрогеохимического исследования подземных вод в зоне влияния отстойников-карт месторождения Хову-Аксы. Опробование проведено зимой (20 января) и летом (3 июня) 2018 г. в нижней части Хову-Аксынского лога в пос. Сайлыг из делювиально-пролювиального (6 скважин) и аллювиального (1 колодец) водоносных горизонтов. Скважины были пробурены для водоснабжения населения пос. Сайлыг. Кроме того, в качестве фоновой была отобрана проба воды из абиссинского колодца по улице Болотной, расположенной на правом берегу р. Элегест вне воздействия Хову-Аксынского рудного узла.

Химический анализ водных проб, отобранных в январе, выполнялся М.В. Трефиловой и А.Ф. Задолинной в Аналитической лаборатории ООО «Тувинской

ГРЭ», отобранных в июне Ю.Г. Копыловой и А.А. Хвощевской в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Национального исследовательского Томского политехнического университета. Полученные результаты сравнивались с требованиями к питьевым водам в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 (2010).

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ.** *Определение структурных индексов бассейновой организации Хову-Аксынского лога.* Основу бассейнового анализа составило выявление внутренней структуры исследуемого бассейна, т. е. разделение русел и опирающихся на них склонов на порядки в соответствии с системой Стралера-Философова (Философов, 1959). Все рассчитанные структурные индексы Хову-Аксынского лога рассмотрены в сравнении с индексами модального бассейна, выделенного Ю.Г. Симоновым и Т.Ю. Симоновой (1997).

Индекс структуры бифуркации (ИСБ), отражающий степень дренированности разных звеньев единого бассейна, составил для Хову-Аксынского лога 155. Сравнение его с модальным (ИСБ = 134) показывает, что исследуемый бассейн характеризуется большей расчленённостью в среднем и, особенно, в верхнем звене — приводо-раздельной части лога. Иначе говоря, согласно Ю.Г. Симонову (2008), в условиях благоприятной водности эти звенья быстрее и полнее дренирует водосбор, отводя с её поверхности воду.

Индекс структуры площадей (ИСП) составил 442. Для его определения были выделены порядки тальвегов временных водотоков и измерена площадь их водосборов. Значение индекса указывает на то, что примерно 40 % от общей площади лога дренируют элементарные водотоки, что в 1,3 раза меньше, чем у модального (ИСП = 532) бассейна. За счёт того, что увеличена доля площади водосбора 2-го порядка, составившая 40 %. Нижнее интегральное звено проявляет себя в этом отношении как модальный бассейн и дренирует 20 % поверхности лога.

Индекс структуры длин (ИСД) разнопорядковых тальвегов составил 145 и мало отличается от значений модального бассейна (ИСД = 136). Средняя длина элементарного тальвега (I-порядка) в бассейне Хову-Аксынского лога составляет около 10 % от общей длины. Средняя длина водотоков 2-го порядка — около 40 %, а третьего — 50 %. Это свидетельствует о том, что большая роль в перемещении потоков веществ принадлежит нижнему интегральному звену.

Значение индекса структуры уклонов (ИСУ) (631) полностью совпадает со значением модального бассейна. Поскольку уклоны продольного профиля характеризуют распределение энергии флювиальных процессов по разнопорядковым звеньям бассейна (Симонов, 2008), то ИСУ показывает, что на тальвеги первого порядка приходится 60 % энергии флювиальных процессов, на долю тальвегов второго порядка 30 %, а на долю третьего порядка 10 %.

*Результаты гидрогеохимического опробования.* Гидрогеохимическое опробование было проведено в нижнем интегральном звене Хову-Аксынского лога для подземных вод делювиально-пролювиального горизонта, расположенного в зоне загрязняющего влияния карт-накопителей. Кроме того, для сравнения были опробованы воды аллювиального горизонта на левом (в полосе возможного загрязняющего воздействия) и правом (вне этого воздействия) берегах р. Элегест. Результаты химического анализа подземных вод приведены в *таблице 1*.

Из делювиально-пролювиального водоносного горизонта взяты пробы воды №№ 1–3, 6–8 (зима) и №№ 16–18, 21–23 (лето), анализ которых выявил в них (по пробам зимнего периода) повышенную минерализацию (0,3–0,68 г/л), а также достаточно высокую жёсткость (3,2–7,1 мг-экв/л, воды от умеренно жёстких до жёстких) за счёт повышенного содержания ионов магния и кальция. По гидрохимическому составу подземные воды преимущественно гидрокарбонатные кальциево-магниевые и смешанного катионного состава с преобладанием или большим содержанием ионов магния. Обобщённая формула солевого состава имеет вид:

$$M_{0,3-0,68} \frac{HCO_3(40-85)SO_4(3-30)Cl(7-28)CO_3(0-6)NO_3(0-6)}{Ca(23-48)Mg(23-47)(Na+K)(15-45)}$$

Таблица 1. Гидрохимический состав подземных вод в пос. Сайлыг

№ проб	Общ. минерализ. г/л	рН	Жёсткость общ., мг-экв/л	Содержание макрокомпонентов, мг/л											Дата опробования	Место взятия проб	
				HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sub>общ.</sub>	SiO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Аллювиальный водоносный горизонт																	
4	0,41	7,62	4,00	268,48	6,00	15,95	25,28	–	52,10	17,01	0,10	18,0	0,04	0,01	8,15	20.01.18	ул. Матросова
19	0,43	7,32	3,85	299,00	16,95	10,71	28,20	2,97	53,42	14,48	0,046	–	0,06	0,03	11,4	03.06.18	
5	0,14	7,84	1,60	91,53	5,00	5,32	3,44	–	24,05	4,86	0,09	6,0	0,03	0,01	0,12	20.01.18	ул. Болотная
20	0,17	8,08	1,36	120,00	2,81	1,48	3,55	0,75	22,91	2,60	0,032	–	≤0,05	≤0,02	3,30	03.06.18	
Делювиально-пролювиальный водоносный горизонт																	
1	0,61	7,73	6,30	286,78	77,00	78,0	0,81	–	44,09	49,83	0,200	18,0	0,15	0,03	1,50	20.01.18	ул. Пролетарская
16	0,67	7,52	6,10	283,00	128,6	64,13	0,70	2,39	51,96	43,14	0,045	–	≤0,05	≤0,02	8,40	03.06.18	
2	0,42	7,81	4,30	262,37	7,50	28,36	6,91	–	36,07	30,38	0,220	16,0	0,15	0,01	14,50	20.01.18	ул. Горького
17	0,42	8,23	3,50	261,00	24,42	15,07	4,37	1,63	35,87	20,96	0,041	–	≤0,05	≤0,02	12,90	03.06.18	
3	0,30	7,89	3,20	195,26	6,50	14,18	2,76	–	36,07	17,01	0,340*	16,0	0,03	0,01	2,44	20.01.18	ул. Горная
18	0,29	7,27	2,65	195,00	13,54	8,79	26,22	1,11	36,28	10,28	0,036	–	0,17	≤0,02	3,01	03.06.18	
6	0,68	6,92	7,10	250,17	142,00	99,27	3,80	–	50,10	55,90	0,070	12,0	0,13	0,01	1,74	20.01.18	ул. Маяковского
21	0,65	8,04	6,00	244,00	141,00	79,56	0,20	2,25	52,93	40,71	0,00073	–	≤0,05	0,16	37,30	03.06.18	
7	0,65	7,72	6,80	256,27	96,00	99,27	7,60	–	52,10	51,04	0,210	16,0	0,40	0,01	21,00	20.01.18	ул. Терешковой
22	0,66	7,64	6,10	272,00	125,40	77,94	0,17	2,25	54,63	41,16	0,0009	–	0,06	0,09	20,60	03.06.18	
8	0,54	7,84	5,40	311,20	24,00	42,54	0,82	–	40,08	41,32	0,140	12,0	0,15	0,02	24,20	20.01.18	ул. Степная
23	0,55	8,09	4,50	285,00	72,37	28,88	2,50	2,27	38,00	31,68	0,033	–	≤0,05	≤0,02	26,50	03.06.18	

Из делювиально-пролювиального водоносного горизонта взяты пробы воды №№ 1–3, 6–8 (зима) и №№ 16–18, 21–23 (лето), анализ которых выявил в них (по пробам зимнего периода) повышенную минерализацию (0,3–0,68 г/л), а также достаточно высокую жёсткость (3,2–7,1 мг-экв/л, воды от умеренно жёстких до жёстких) за счёт повышенного содержания ионов магния и кальция. По гидрохимическому составу подземные воды преимущественно гидрокарбонатные кальциево-магниевые и смешанного катионного состава с преобладанием или большим содержанием ионов магния. Обобщённая формула солевого состава имеет вид:

$$M_{0,3-0,68} \frac{HCO_3(40-85)SO_4(3-30)Cl(7-28)CO_3(0-6)NO_3(0-6)}{Ca(23-48)Mg(23-47)(Na+K)(15-45)}$$

Опробование из аллювиального горизонта проведено на ул. Матросова из открытого колодца глубиной около 5 м зимой (проба 4) и летом (проба 19) 2018 г. Колодец расположен в пойме р. Элегест, под террасовидным уступом в устье лога, в 280 м от реки. По данным лабораторных исследований содержание анионов и катионов не превышает норм для питьевых вод. Железо общее составляет 0,10 мг/л (проба 4) и 0,046 мг/л (проба 19) при ПДК=0,3 мг/л.

Большое содержание в воде ионов кальция и магния определяют высокую жёсткость воды, которая под влиянием сезонных факторов может изменяться. Отмечено, что зимой воды характеризуются как умеренно жёсткие (общая жёсткость 4,00 мг-экв/л, при ПДК 7,0 мг-экв/л) и слабощелочные (рН=7,62, при ПДК от 6,5 до 8,5). Летом воды жёсткие (общая жёсткость 3,85 мг-экв/л) и нейтральные (рН=7,32). В целом, воды пресные с минерализацией 0,41 г/л (проба 4) и 0,43 г/л (проба 19) и по химическому составу — гидрокарбонатные смешанного катионного состава с преобладанием ионов кальция.

Из определявшихся тяжёлых металлов свинец, кадмий, никель и кобальт в воде не обнаружены. Содержание цинка, меди и марганца не превышает норм для питьевых вод. Содержание мышьяка определяется на пределе чувствительности прибора и составляет менее 0,005 мг/л (проба 4) и 0,0027 мг/л (проба 19) при ПДК 0,05 мг/л (табл. 2).

Таблица 2. Содержание тяжёлых металлов и мышьяка в водах аллювиального голоценового горизонта

№№ проб	Место отбора	Дата отбора	Содержание тяжёлых металлов и мышьяка, мг/л (в скобках — в единицах ПДК для питьевых вод)							
			As	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Mn	Co
4	Колодец ул. Матросова	20.01.2018	≤0,005 (н. обн.)	0,0079 (0,0079)	0,0068 (0,0068)	≤0,002 (н. обн.)	≤0,001 (н. обн.)	≤0,005 (н. обн.)	0,002 (0,02)	≤0,005 (н. обн.)
9		03.06.2018	0,0027 (0,054)	0,020 (0,2)	0,00072 (0,00072)	0,000064 (0,0021)	0,0000034 (0,00034)	0,00015 (0,0015)	0,0018 (0,018)	0,000041 (0,000041)
5	Колодец ул. Болотная	20.01.2018	≤0,005 (н. обн.)	≤0,001 (н. обн.)	0,0054 (0,0054)	≤0,002 (н. обн.)	≤0,001 (н. обн.)	≤0,005 (н. обн.)	0,0017 (0,017)	≤0,005 (н. обн.)
20		03.06.2018	0,0016 (0,032)	0,0012 (0,0012)	0,00019 (0,00019)	0,000049 (0,0016)	≤0,000001 (не обн.)	0,00002 (0,0002)	0,00025 (0,0025)	0,000012 (0,000012)

Кроме того, опробование аллювиального горизонта проводилось на ул. Болотной зимой (проба 5) и летом (проба 20) 2018 г. из абиссинского колодца, расположенного на правом берегу р. Элегест. По данным лабораторных исследований содержание анионов и катионов не превышает норм для питьевых вод. Железо общее содержится в количестве 0,09 мг/л (проба 5) и 0,032 мг/л (проба 20) при ПДК=0,3 мг/л. Воды мягкие зимой (общая жёсткость 1,60 мг-экв/л) и очень мягкие летом (общая жёсткость 1,36 мг-экв/л) при ПДК 7,0 мг-экв/л. Водная среда слабощелочная (рН=7,84 зимой и 8,08 летом). Воды ультрапресные с минерализацией от 0,14 г/л (проба 5) до 0,17 г/л (проба 20), по химическому составу гидрокарбонатные магниевые-кальциевые (зимой) и карбонат-гидрокарбонатные кальциево-натриевые (летом).

Из тяжёлых металлов в воде выявлена только медь и марганец в незначительных количествах, не превышающих ПДК для питьевых вод. Содержание мышьяка определяется на пределе чувствительности прибора — менее 0,005 мг/л (проба 5) и 0,0016 мг/л (проба 20).

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Рассматривая формирование делювиально-пролювиального водоносного горизонта в пределах Хову-Аксынского лога с привлечением данных бассейнового анализа, можно сказать, что область питания водоносного горизонта совпадает с площадями бассейнов первого порядка, где залегает маломощный чехол обломочного материала, что способствует интенсивной фильтрации атмосферных осадков.

Область транзита водоносного горизонта совпадает по площади со средним и, частично, нижним геоморфологическими звеньями. На основании проведённого анализа можно предположить, что химизм подземных вод на исследуемой территории в большей степени формируется именно в интегральном нижнем звене бассейна в результате воздействия как природных (состава переотложенных продуктов коры выветривания), так и антропогенных источников (Хову-Аксынского арсенид-кобальтового месторождения). В общей структуре бассейна в верхнем звене эрозионные процессы преобладают над аккумулятивными, и большая часть литогенного материала выносится в среднее звено, которое проявляет себя как накопитель, аккумулируя всё вещество, поступившее с верхних уровней. Поэтому влияние верхнего и среднего звена бассейна на состав подземных вод практически не проявляется. В нижнем интегральном звене эрозионные и аккумулятивные процессы находятся примерно в равных соотношениях, бассейн здесь проявляет себя как транзитный, выполняя функцию переноса вещества. В результате в нижней части лога складывается гидрогеохимическая ситуация, определяемая транзитным характером литопотоков.

Воды делювиально-пролювиального водоносного горизонта, обладают повышенной минерализацией (0,3–0,68 г/л) и высокой жёсткостью (3,2–7,1 мг-экв/л — от умеренно жёстких до жёстких), определяемые высокими концентрациями ионов железа, кальция, магния в продуктах коры выветривания. По мере удаления от источника с

верхних уровней делювиально-пролювиального шлейфа вниз в пробах отмечается уменьшение показателей жёсткости и общей минерализации.

Анализ содержания основных химических компонентов в подземных водах делювиально-пролювиального горизонта в нижней части лога отражает только природные особенности территории. Слабощелочные и щелочные с минерализацией 0,61–0,68 г/л воды в скважинах по ул. Пролетарской (пробы 1/6) и по ул. Маяковского (пробы 16/21) являются типичными представителями вод континентального засоления с отношением  $SO_4/Cl$  около единицы в зимнее время, с некоторым увеличением этого соотношения в летнее время. Близким поведением характеризуется и отношение  $Na^+/Cl^-$  — около единицы в зимнее время (0,9–1), с некоторым повышением значений в летнее время (1,4–2,4).

Увеличение значений отношения  $Na^+/Cl^-$  в летнее время является показательным коэффициентом усиления процессов обогащения вод сульфатами и натрием в слабощелочных с минерализацией 0,30–0,55 г/л водах горизонта: в пробах 3/18 по ул. Горной, пробах 2/17 по ул. Горького, пробах 8/23 по ул. Степной. В этих водах отношение  $SO_4/Cl$  составляет 0,3–0,6 ед. в зимнее время и повышается в летнее время за счёт увеличения сульфатов одновременно с повышением в водах натрия. Возможно, некоторое влияние оказывает процессы окисления сульфидов и гидролиза алюмосиликатов в зоне гипергенеза. В летнее время в этих водах происходит некоторое снижение концентраций хлора при практически не меняющихся концентрациях кальция и магния.

Область разгрузки водоносного горизонта располагается в нижней части геоморфологического нижнего интегрального звена. Здесь происходит перетекание делювиально-пролювиальных подземных вод в аллювиальный водоносный горизонт. Повышенная минерализация (0,41–0,43 г/л) и жёсткость (3,85–4,0 мг-экв/л) аллювиальных вод левобережья свидетельствуют о смешении подземных вод обоих водоносных подразделений. В слабощелочных с минерализацией 0,41–0,43 г/л водах аллювиального горизонта в зоне влияния карт-накопителей в пробах 4/19 отношение  $SO_4/Cl$  в зимнее время составляет около 0,3 из-за преобладания в водах хлора, концентрация которого уменьшается в летнее время и сопровождается повышением концентраций сульфатов, что приводит к увеличению отношения  $SO_4/Cl$  до 1,6. Отношение  $Na^+/Cl^-$  в аллювиальном горизонте в зоне влияния карт-накопителей составляет около 2,4 ед. и существенно увеличивается в водах в летнее время до 4 ед.

Вместе с тем, аллювиальные воды правобережья р. Элегест, формирующиеся в других геоморфологических условиях, вне влияния Хову-Аксынского месторождения (колодец по ул. Болотной), по минерализации характеризуются как ультрапресные (0,14–0,17 г/л), по величине общей жёсткости — очень мягкие и мягкие (1,36–1,60 мг-экв/л).

Крайне незначительное содержание рудообразующих тяжёлых металлов (никель, кобальт, медь) и мышьяка от карт-накопителей также во многом объясняется транзитной специализацией интегрального звена. Так, содержание мышьяка в аллювиальных водах обнаружено только в июле (0,0016–0,0027 мг/л) и значительно ниже предельно-допустимых концентраций (0,05 мг/л) для питьевых вод.

Проведённый опыт бассейнового анализа совместно с полевыми морфометрическими исследованиями и гидрохимическим опробованием позволяет использовать его для моделирования условий накопления и аккумуляции природного и антропогенного загрязнения в различных бассейнах.

*Работа выполнена в рамках государственных заданий ИВЭП СО РАН: Проект № ААА-А17-117041210243-8; ТувИКОПР СО РАН: Проект № АААА-А17-117072710021-1 и при частичной поддержке РФФИ: Грант № 17-45-170588-р\_а «Экогеохимическая модель трансформации вещества Со-Ni-Си-арсенидных отходов обогащения руд месторождения Хову-Аксы (комбинат «Тувакобальт», Республика Тыва) с разработкой схемы рекультивации территорий».*

## ЛИТЕРАТУРА

- Геологическая* карта СССР масштаба 1 : 200 000. Серия Западно-Саянская. Лист М-46-Х. Объясн. зап. / Сост.: Г.Н. Лукашев, О.И. Антонова; ред. В.Г. Богомолов. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во лит-ры по геологии и охране недр, 1961. – 61 с.
- Лебедев В.И.* Арсенидное кобальтовое месторождение Хову-Аксы: проблемы возрождения уникального кобальтового производства в Туве // Уникальные исследования XXI века [Электрон. ресурс]. – 2015. – № 3. – С. 15–25. – Режим доступа: <http://www.docme.ru/download/1560727>, свободный.
- 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: Пост. № 24 от 26.09.2001 г. с изм. 28.06.2010 г. – М., 2010.
- Симонов Ю.Г.* Избранные труды (к 85-летию со дня рождения). – М.: Ритм, 2008. – 384 с.
- Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю.* Структурный анализ типов функционирования и эволюции речных бассейнов // Гидрология и геоморфология речных систем: Материалы и тез. науч. конф., посвящ. 40-летию СО РАН (07–10.10.1997, Иркутск) / Ред.: Б.П. Агафонов и др. – Иркутск: Ин-т географии СО РАН, ИЗК СО РАН, 1997. – С. 13–23.
- Философов В.П.* Порядки долин и их использование при геологических исследованиях // Науч. ежег. Саратовского ун-та за 1955 г. – Саратов, 1959. – Отд. 6. – С. 38–40.
- Хортон Р.* Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. – М.: Гос. изд-во иностранной лит-ры, 1948. – 158 с.