

УДК 556.114.6(571.53)

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПИТЬЕВЫХ ВОД БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Соктоев Булат Ринчинович,

аспирант кафедры геозкологии и геохимии
Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050,
г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: bulatsoktoev@gmail.com

Рихванов Леонид Петрович,

д-р геол.-минерал. наук, профессор кафедры геозкологии и геохимии
Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050,
г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: rikhvanov@tpu.ru

Тайсаев Трофим Табанович,

д-р геогр. наук, профессор кафедры физической географии
биолого-географического факультета Бурятского государственного универ-
ситета, Россия, 670000, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а.
E-mail: taisaev@bsu.ru

Барановская Наталья Владимировна,

д-р биол. наук, профессор кафедры геозкологии и геохимии
Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050,
г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: natalya.baranovs@mail.ru

Актуальность работы обусловлена слабой изученностью объекта исследования и возможностью его применения в практике экологических и геохимических исследований.

Цель работы: оценка содержания 27 химических элементов, в том числе редких, редкоземельных и радиоактивных, и выявление их индикаторного значения в солевых отложениях питьевых вод (накипи), формирующихся в процессе многократного кипячения и остывания в теплообменной аппаратуре, на территории Байкальского региона.

Методы исследования: метод инструментального нейтронно-активационного анализа (определение элементного состава); рентгеновская дифрактометрия (ДРОН-ЗМ, D8 Advance Bruker), электронная микроскопия (вещественный анализ).

Результаты: На основе большого фактического материала показано, что элементный состав солевых отложений отражает особенности влияния природных и техногенных факторов на формирование химического состава вод, используемых для питьевого водоснабжения. Выявлена специфика накопления химических элементов в накипи на территории изученных районов, обусловленная особенностями геологического строения и степенью техногенной нагрузки. Выделены возможные индикаторные ассоциации элементов процессов рифтогенеза на территории Усть-Баргузинской впадины и Тункинской котловины. По показателям накопления урана в солевых образованиях определены потенциальные ураноносные районы. Выделены геохимические типы накипи по уровням концентрирования элементов и их ассоциациям.

Ключевые слова:

Солевые отложения (образования), накипь, геохимическая специализация, типизация, Байкальский регион, рифтогенез, техногенез, золото, серебро, редкие земли, уран.

Постановка вопроса

Природные ландшафтные комплексы Байкальского региона характеризуются разнообразием типов, зависящих от природно-климатических, геолого-геохимических особенностей и техногенных факторов. Расположение его на стыке двух крупных геологических структур: Сибирской платформы и обрамляющего его складчатого пояса, так называемой Саяно-Байкальской горной области, обусловило специфику развития на данной территории структурно-формационных зон с различной геохимической специализацией слагающих пород и, соответственно, различными металлогеническими особенностями [1]. Немаловажным фактором, оказывающим влияние на геохимию природных ландшафтов региона, является

Байкальская рифтовая зона. Техногенная нагрузка на данной территории является достаточно сильной, но носит локальный характер и наиболее полно отмечается в районах Иркутско-Черемховского промышленного узла и г. Улан-Удэ. Широкое развитие горнодобывающей и перерабатывающей промышленности привело к повсеместному загрязнению природных сред территорий, прилегающих к месторождениям, комбинатам, фабрикам, например, Байкальскому целлюлозно-бумажному комбинату, Джидинскому вольфрамомолибденовому комбинату, Хиагдинскому месторождению урана и другим. Исследование особенностей геохимии окружающей среды включает в себя изучение максимального количества природных сред: коренных пород, подземных и поверх-

ностных вод, донных отложений, почв, растительности и других [1–10].

Нами предлагается к изучению новая, сравнительно малоизученная среда – солевые отложения (образования) питьевых вод (накипь), на наш взгляд, дающая новую дополнительную эколого-геохимическую информацию. Существует классическое определение термина «накипь», приведенное в Большой советской энциклопедии: «Накипь – твердые отложения, образующиеся на внутренних стенках паровых котлов, водяных экономайзеров, пароперегревателей, испарителей и других теплообменных аппаратов, в которых происходит испарение или нагревание воды, содержащей те или иные соли» [11]. В наших исследованиях изучается накипь, образующаяся в теплообменной аппаратуре из вод, используемых для питьевого водоснабжения. Необходимо отметить, что понятия «солевые отложения», «солевые образования» и «накипь» в данном случае являются синонимами.

Исследование элементного и вещественного состава солевых отложений как индикатора качества питьевых вод и эколого-геохимического состояния территорий с различной антропогенной нагрузкой было начато в процессе реализации программ «Радиационный мониторинг» и «Оценка качества среды обитания человека с целью выделения возможного воздействия радиационного фактора заболеваемости» на территории юга Томской области [12, 13].

Как показывают исследования, элементный состав солевых отложений отражает смену геохимических обстановок, обусловленную факторами природно-техногенного характера, наследуя химический состав воды [12, 14–16]. Уровень содержания макро- и микроэлементов в накипи зависит от геохимических особенностей территории. Сильное влияние на формирование ее состава оказывают природные (месторождения, рудопроявления) и техногенные (промышленные предприятия, урбанизированные образования) источники.

Преимущество используемого нами такого объекта исследования, как накипь, состоит в том, что эта среда, являясь депонирующей, отражает длительный временной интервал ее накопления из воды (месяцы, годы), тем самым она дает не одномоментный показатель состава воды, который достаточно изменчив, а представляет долговременную картину химического состава питьевых вод [17].

Элементный состав накипи отражает качество питьевых вод, употребляемых каждый день и являющихся одним из основных поставщиков химических элементов в организм человека. На примере урана была доказана закономерность: чем выше его содержание в воде, тем больше радионуклида в накипи [18]. Также исследованиями показана сходность элементного состава солевых отложений и крови человека [19].

Целью данного исследования является показать возможность использования солевых отложений питьевых вод для оценки эколого-геохимической обстановки и качества питьевых вод на терри-

тории Байкальского региона, характеризующегося сложными геологическими условиями, различными металлогеническими особенностями, разной степенью техногенной нагрузки и трансформации природной среды. Ранее подобные исследования проводились лишь на территории Боханского и Осинского районов Усть-Ордынского Бурятского округа Иркутской области [6, 20].

Материалы и методы исследования

Объектом исследования явились солевые отложения (накипь) из бытовой посуды, используемой для кипячения питьевой воды. *Предметом исследования* является ее элементный и вещественный состав.

Работы проводились в период с 2009 по 2012 гг. на территории Байкальского региона, в шести районах: правобережье и левобережье р. Ангара (Усть-Ордынский Бурятский округ Иркутской области), в том числе из населенных пунктов, расположенных в зоне возможного влияния подземного ядерного взрыва «Рифт-3»; Закаменский район, в том числе на территории влияния хвостохранилищ бывшего Джидинского вольфрамо-молибденового комбината; Боргойская впадина; Усть-Баргузинская впадина, Тункинская котловина, пригород г. Улан-Удэ (все – Республика Бурятия). Общее количество населенных пунктов, в которых были отобраны пробы накипи, составляет 67, общее количество проб – 152 (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1. Изученность районов исследования

Район исследования	Количество проб
Иркутская область	
Правобережье р. Ангара	64
Левобережье р. Ангара	21
Республика Бурятия	
Закаменский район	30
Боргойская впадина	8
Усть-Баргузинская впадина	11
Тункинская котловина	2
Пригород г. Улан-Удэ	16
Всего	152

На сегодняшний день отсутствуют ГОСТы или методические указания, регламентирующие отбор, пробоподготовку и анализ проб накипи, поэтому авторы при исследовании руководствовались методикой, изложенной в патенте [13].

Солевые образования в виде накипи отбирались из различной посуды, в которой многократно кипятилась питьевая вода (эмалированные и электрические чайники, кастрюли, котлы, самовары), постукиванием. В случае если накипь была прочно закреплена на стенках посуды, отбор выполнялся с помощью ножа, изготовленного из нержавеющей стали: накипь осторожно снималась со стенок бытовой теплообменной посуды. В каждом случае фиксировался тип посуды, в которой кипятилась вода, и глубина залегания водоносного горизонта. В тех случаях, когда было возможно в одном и том

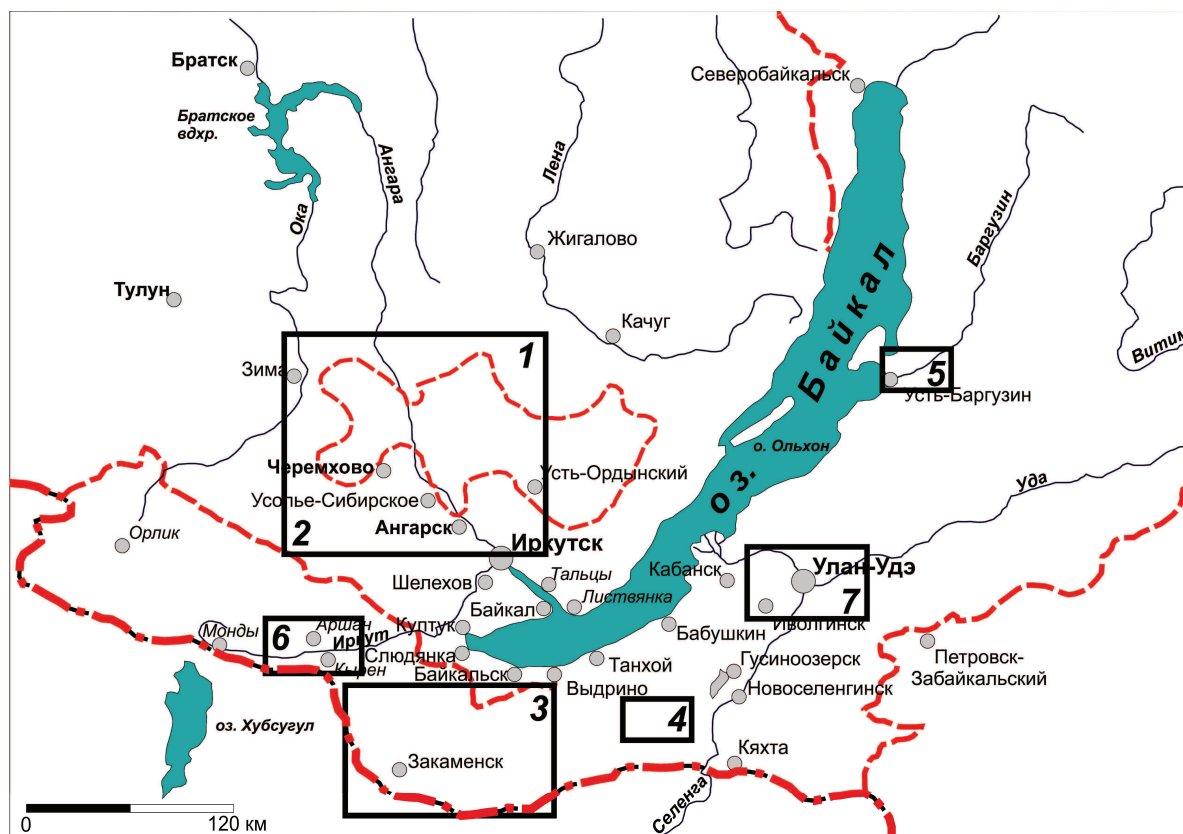


Рис. 1. Карта размещения изученных районов: 1 – правобережье р. Ангары; 2 – левобережье р. Ангары (Иркутская область); 3 – Закаменский район; 4 – Боргойская впадина; 5 – Усть-Баргузинская впадина; 6 – Тункинская котловина; 7 – пригород г. Улан-Удэ (все – Республика Бурятия)

же дворе отобрать накипь из разной по типу посуды (пластмассовые чайники, металлические чайники и самовары), то это в обязательном порядке выполнялось. После получения результатов анализа проводилось сопоставление данных, чтобы увидеть эффект влияния состава материала теплообменной аппаратуры на химический состав накипи. Результаты сравнения, как правило, свидетельствуют об отсутствии эффекта влияния как на химический, так и на минеральный состав накипи (рис. 2).

Во всех полученных пробах использовалась водопроводная или колодезная вода, которая идет на питьевое водоснабжение. Подготовка проб накипи к анализу включала в себя следующие стадии: 1) высушивание образца при комнатной температуре; 2) истирание в агатовой ступке до состояния пудры; 3) развешивание по 100 мг и упаковка в пакетики из алюминиевой фольги. Элементный состав солевых отложений определялся методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА), выполненного в аккредитованной ядерно-геохимической лаборатории (ЯГЛ) Томского политехнического университета по аттестованным методикам (аналитики – с.н.с. Судыко А.Ф., Богутская Л.Ф.), определялось содержание 27 химических элементов. Пределы обнаружения элементов методом ИНАА приведены в табл. 2. В каче-

стве контроля использовался стандартный образец (ГСО 7126–94) состава байкальского ила БИЛ-1.

Таблица 2. Сравнительная оценка результатов элементного анализа, полученного методом ИНАА, с паспортными данными БИЛ-1 (Россия)

Элемент, мг/кг	БИЛ-1		Предел обнаружения, мг/кг	Элемент, мг/кг	БИЛ-1		Предел обнаружения, мг/кг
	Паспорт	ЯГЛ			Паспорт	ЯГЛ	
Na, %	1,93	1,74	0,001	Va	670	864	10
Ca, %	1,86	6,76	0,03	La	51	40	0,01
Sc	13	16	0,02	Ce	81,5	70	0,06
Cr	67	69	0,2	Sm	7,9	6,79	0,01
Fe, %	7,01	7,13	0,01	Eu	1,65	1,96	0,004
Co	18,5	17	0,1	Tb	0,95	0,94	0,005
Zn	–	–	10	Yb	3	2,44	0,009
As	–	–	0,3	Lu	0,44	0,46	0,001
Br	–	–	1	Ta	0,9	0,9	0,01
Rb	96	118	0,5	Au	–	–	0,005
Sr	–	–	100	Hf	4,1	5,13	0,009
Ag	–	–	0,3	Th	12	12,5	0,01
Sb	1,5	1,52	0,05	U	12	10,7	0,06
Cs	5,9	6,7	0,01				

Проведенный внутренний контроль позволяет говорить об удовлетворительной сходимости (рис. 3).

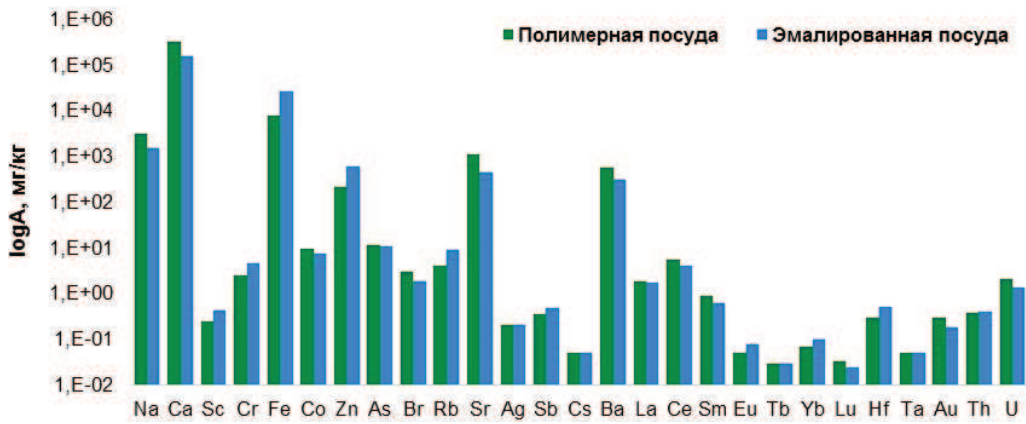


Рис. 2. Сравнительный анализ содержания химических элементов в накипи, образующейся в разной посуде [18]

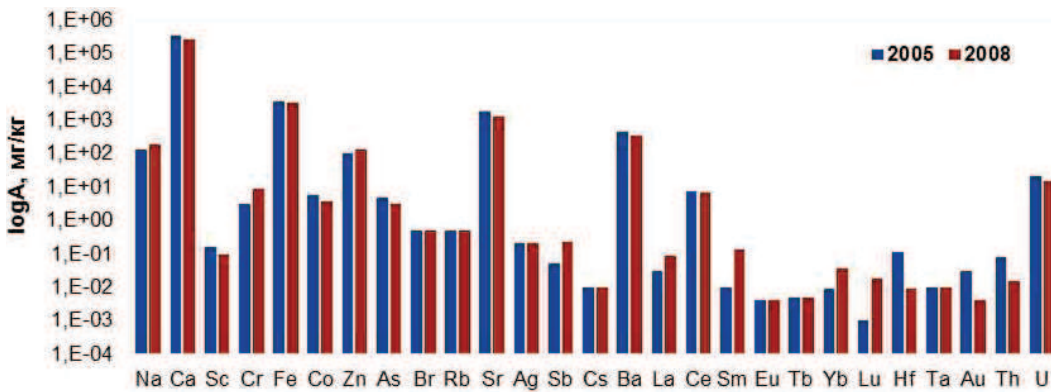


Рис. 3. Внутренний контроль инструментального нейтронно-активационного анализа

Результаты и их обсуждение

Вещество накипи в большинстве случаев, как показывают данные рентгенофазового анализа, представлено кальцитом и арагонитом с незначительной примесью железистой и магниевой разновидностей, присутствует примесь глинистых минералов и гидроксидов железа. По своему мине-

ральному составу они соответствуют составу травертинов из различных регионов мира – карбонатной породы, образовавшихся в результате осаждения карбонатов Ca, Mg, Fe, Na из термальных или холодных углекислых источников. Это видно, например, при сравнительном анализе вещества травертина Паммукале и образцов накипи (рис. 4) [18].

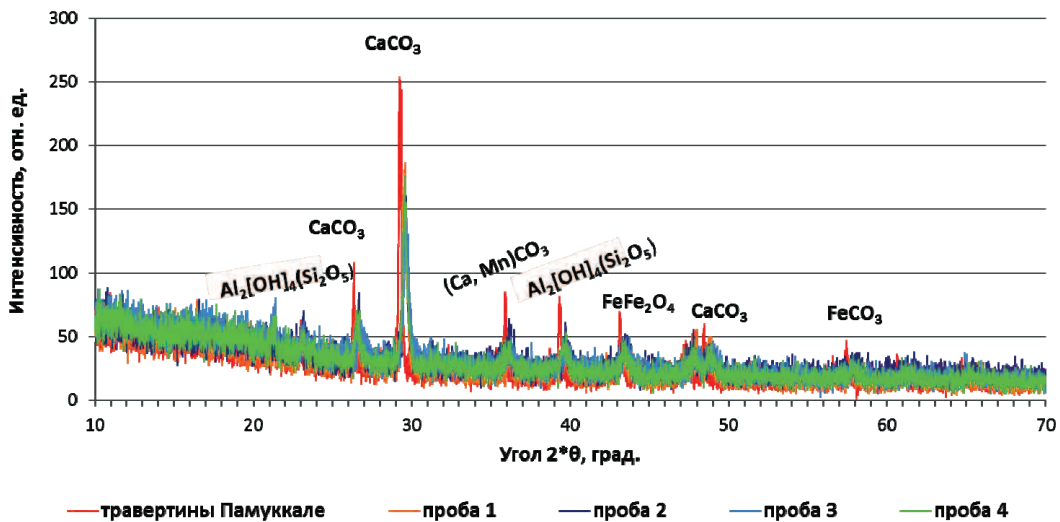


Рис. 4. Данные рентгенофазового анализа проб травертина Паммукале (Турция) и накипи питьевых вод [18]

Таблица 3. Содержание элементов в солевых отложениях питьевых вод (накипи) Байкальского региона, мг/кг

Элемент	Правобережье р. Ангара		Левобережье р. Ангара (21)	Закаменский район (30)	Боргойская впадина (8)	Усть-Баргузинская впадина (11)	Пригород г. Улан-Удэ (16)	Тункинская котловина (2)	Среднее по региону	Накипь оз. Байкал
	Боханский район (28)	Осинский район (36)								
Na, %	0,04±0,005 0,006..1,0	0,03±0,005 0,004..0,091	0,007±0,001 0,0006..0,0212	0,01±0,002 0,0014..0,032	0,05±0,009 0,0187..0,5353	0,18±0,05 0,01..0,535	0,03±0,006 0,007..0,09	0,03..0,221	0,046	1,3
Ca, %	36,9±1,56 27,08..64,95	<u>33,8±0,91</u> 23,73..43,8	<u>26,14±0,42</u> 22,8..30,4	<u>25,98±0,92</u> 0,7..29,0	<u>25,0±0,51</u> 23,6..27,1	<u>16,08±2,6</u> 0,8..27,98	<u>22,65±1,57</u> 1,5..30,6	13..27,87	28,8	24,2
Sc	<u>0,06±0,02</u> 0,002..0,399	<u>0,16±0,03</u> 0,004..0,6	<u>0,09±0,01</u> 0,02..0,27	<u>0,09±0,02</u> 0,008..0,561	<u>0,13±0,03</u> 0,04..0,236	0,6±0,1 0,142..3,669	<u>0,16±0,03</u> 0,014..0,401	0,05..0,099	0,15	0,45
Cr	<u>2,2±0,5</u> 0,02..164,47	<u>3,3±0,6</u> 0,02..2212,8	<u>1,3±0,3</u> 0,3..5,3	<u>2,9±0,7</u> 0,14..17,84	<u>1,8±0,5</u> 0,49..212,6	15,3±5,0 3,51..413,65	<u>3,1±0,44</u> 0,4..63,23	0,44	3,4	8,3
Fe, %	<u>0,12±0,02</u> 0,006..0,463	<u>0,14±0,02</u> 0,001..4,432	<u>0,12±0,03</u> 0,004..0,546	<u>0,17±0,05</u> 0,003..1,332	<u>0,21±0,09</u> 0,032..1,169	0,83±0,25 0,12..33,55	<u>0,23±0,06</u> 0,03..1,19	0,81..0,83	0,2	0,15
Co	<u>3,5±1,3</u> 0,04..29,56	<u>5,6±2,8</u> 0,27..100,66	<u>4,2±0,8</u> 0,45..9,3	<u>4,8±2,1</u> 0,14..52,55	<u>1,2±0,3</u> 0,27..2,84	366,3±193,0 1,06..4610	<u>2,0±0,5</u> 0,27..6,76	0,11..2,45	28	17,3
Zn	<u>928±267</u> 60..3135	<u>1782±254</u> 64..6632	<u>3216±566</u> 10,3..6454,6	<u>846±327</u> 0,6..40588,3	<u>67±15</u> 4..118,4	14211±3376 293..31290	<u>3277±1138</u> 25..23669	2..219,8	2641	16,1
As	<u>1,2±0,3</u> 0,6..38,5	<u>0,9±0,03</u> 0,6..1	<u>0,9±0,12</u> 0,05..1,91	<u>0,4±0,07</u> 0,07..12,96	<u>0,3±0,07</u> 0,06..0,63	1,5±0,42 0,3..4,93	<u>0,6±0,09</u> 0,032..6,893	0,196..0,3	0,8	4,2
Br	<u>5,1±0,7</u> 0,3..16,5	<u>8,9±0,9</u> 2,3..21	<u>4,6±0,38</u> 2,5..8,6	<u>4,4±0,27</u> 1..7	<u>5,8±0,6</u> 3,9..7,7	5,4±1,5 1..16,8	<u>8,8±1,7</u> 1,65..29,08	2,06..2,35	6,2	18,7
Rb	<u>1,9±0,24</u> 1..7	<u>2,1±0,22</u> 1..8	<u>0,5±0,15</u> 0,1..2,9	<u>0,6±0,09</u> 0,16..2,64	<u>0,6±0,25</u> 0,08..2,25	1,5±0,57 0,4..4,8	<u>1,2±0,35</u> 0,34..4,6	0,4	1,3	5,4
Sr	<u>6561±981</u> 1934..12851	<u>4719±1453</u> 667..10734	<u>3088±376</u> 668..5318	<u>2849±519</u> 20..13824	<u>13476±2551</u> 3336..25683	464±190 20..1653	<u>3705±837</u> 60..10724	703..1066	4187	1642
Ag	<u>0,3±0,04</u> 0,1..11,4	<u>0,5±0,08</u> 0,1..3,1	<u>0,1±0,003</u> 0,1..0,17	<u>0,5±0,02</u> 0,05..0,5	<u>0,6±0,29</u> 0,1..2,6	1,1±0,6 0,16..60,6	<u>0,7±0,22</u> 0,17..3,25	0,3..56,67	0,5	0,07
Sb	<u>0,13±0,03</u> 0,05..0,63	<u>0,24±0,06</u> 0,05..1,87	<u>0,07±0,01</u> 0,002..0,23	<u>0,18±0,06</u> 0,002..1,322	<u>0,03±0,01</u> 0,001..0,094	1,8±0,77 0,025..45,17	<u>0,1±0,02</u> 0,011..1,253	0,044..0,07	0,3	0,44
Cs	<u>0,08±0,005</u> 0,05..0,1	<u>0,1±0,01</u> 0,05..0,4	<u>0,009±0,003</u> 0,001..0,042	<u>0,02±0,006</u> 0,001..0,17	<u>0,06±0,03</u> 0,01..1,21	0,02±0,008 0,008..0,29	<u>0,05±0,02</u> 0,008..0,251	0,008..0,136	0,05	0,4
Ba	<u>238±34</u> 30..988	<u>414±36</u> 173..952	<u>67±3</u> 42,6..84,8	<u>79±8</u> 26..245	<u>203±47</u> 86..499	2271±908 10..7652	<u>71±17</u> 4..245	286..456	354	200
La	<u>0,5±0,09</u> 0,02..1,55	<u>0,4±0,07</u> 0,02..1,53	<u>0,4±0,04</u> 0,15..0,85	<u>0,9±0,08</u> 0,25..1,86	<u>2,2±0,9</u> 0,64..8,3	5,4±1,26 2,18..38,49	<u>1,9±0,39</u> 0,14..6,16	0,12..0,52	1,12	1,9
Ce	<u>3,1±0,38</u> 0,11..8,09	<u>4,1±0,37</u> 1,37..9,12	<u>1,7±0,16</u> 0,64..3,2	<u>2,4±0,23</u> 0,1..4,9	<u>5,1±1,0</u> 1,9..26,1	<u>14,9±3,5</u> 5,4..71,45	27,9±6,4 1,76..83,43	0,12..0,35	6,5	5,1
Sm	<u>0,02±0,005</u> 0,01..0,16	<u>0,08±0,02</u> 0,01..0,53	<u>0,03±0,009</u> 0,006..0,149	<u>0,03±0,009</u> 0,001..0,217	<u>0,09±0,03</u> 0,006..0,292	0,46±0,15 0,009..1,534	<u>0,11±0,03</u> 0,009..0,743	0,04..0,047	0,08	0,15
Eu	<u>0,01±0,001</u> 0,01..0,033	<u>0,02±0,004</u> 0,01..0,1	<u>0,009±0,001</u> 0,001..0,02	<u>0,008±0,002</u> 0,001..0,044	<u>0,008±0,001</u> 0,001..0,014	0,1±0,04 0,004..0,918	<u>0,02±0,004</u> 0,003..0,054	0,005..0,01	0,02	0,008
Tb	0,03±0,001 0,02..0,03	<u>0,02±0,002</u> 0,02..0,09	<u>0,02±0,001</u> 0,014..0,04	<u>0,01±0,002</u> 0,001..0,054	<u>0,02±0,004</u> 0,005..0,037	<u>0,007±0,0005</u> 0,005..0,009	<u>0,02±0,005</u> 0,001..0,013	0,008..0,009	0,02	0,02
Yb	<u>0,05±0,000</u> 4 0,05..0,06	<u>0,06±0,005</u> 0,05..0,19	<u>0,03±0,007</u> 0,003..0,139	<u>0,03±0,006</u> 0,009..0,123	<u>0,03±0,005</u> 0,009..0,051	0,44±0,14 0,009..1,328	<u>0,04±0,01</u> 0,001..0,902	0,009..0,04	0,07	0,14
Lu	<u>0,01±0,002</u> 0,001..0,05	<u>0,02±0,002</u> 0,001..0,05	<u>0,02±0,002</u> 0,006..0,049	<u>0,03±0,002</u> 0,002..0,056	<u>0,06±0,01</u> 0,012..0,119	0,08±0,03 0,002..0,263	<u>0,03±0,009</u> 0,005..0,237	0,006..0,073	0,03	0,02
Hf	<u>0,03±0,007</u> 0,01..0,143	<u>0,06±0,02</u> 0,01..0,56	<u>0,04±0,01</u> 0,01..0,18	<u>0,03±0,006</u> 0,002..0,125	<u>0,05±0,01</u> 0,009..0,118	0,3±0,09 0,009..3,275	<u>0,06±0,01</u> 0,001..0,324	0,01..0,087	0,06	0,17
Ta	<u>0,07±0,008</u> 0,05..0,27	0,08±0,008 0,05..1,1	<u>0,01±0,003</u> 0,01..0,06	<u>0,02±0,005</u> 0,003..0,159	<u>0,01±0,003</u> 0,01..0,035	<u>0,02±0,009</u> 0,01..5,993	<u>0,015±0,004</u> 0,01..0,172	0,01	0,04	0,014
Au	0,04±0,02 0,001..0,375	<u>0,008±0,001</u> 0,001..0,031	<u>0,002±0,0004</u> 0,001..0,121	<u>0,005±0,0003</u> 0,004..0,014	<u>0,004±0,0005</u> 0,002..0,005	<u>0,005±0,001</u> 0,001..0,011	<u>0,005±0,003</u> 0,0003..0,04	0,0043..7,438	0,01	0,16
Th	<u>0,05±0,01</u> 0,02..0,352	<u>0,08±0,02</u> 0,005..0,35	<u>0,04±0,01</u> 0,01..0,21	<u>0,04±0,01</u> 0,001..0,281	<u>0,08±0,03</u> 0,02..0,231	0,46±0,07 0,165..4,016	<u>0,23±0,06</u> 0,01..0,616	0,01	0,1	0,4
U	<u>9,6±1,35</u> 2,3..32,91	<u>10,2±0,99</u> 1,8..22,5	<u>4,4±0,4</u> 1,6..8,9	<u>6,5±0,7</u> 1,2..14,8	<u>13,3±3,3</u> 2,6..93,2	<u>30,0±10,6</u> 0,816..119,9	95±24 10..305,2	0,05..0,615	14	4,5
Th/U	0,005	0,008	0,009	0,006	0,006	0,015	0,002	–	0,007	0,09
La/Ce	0,18	0,11	0,22	0,36	0,43	0,36	0,07	–	0,17	0,37
La+Ce/Yb+Lu	57	56	39	55	81	39	426	–	76	44
Na/Br	78	34	15	29	89	333	34	–	74	695
Ba/Sr	0,03	0,09	0,02	0,03	0,02	4,9	0,02	–	0,08	0,12
Fe/Zn	1,3	0,8	0,4	2,0	31,3	0,6	0,7	–	0,8	93
U/ΣREE	2,6	2,2	2,0	1,9	1,8	1,4	3,2	–	1,8	0,6

Примечание: в скобках – количество проб; числитель – среднее содержание ± ошибка, знаменатель – минимальное и максимальное содержание, жирным выделены максимальные средние значения.

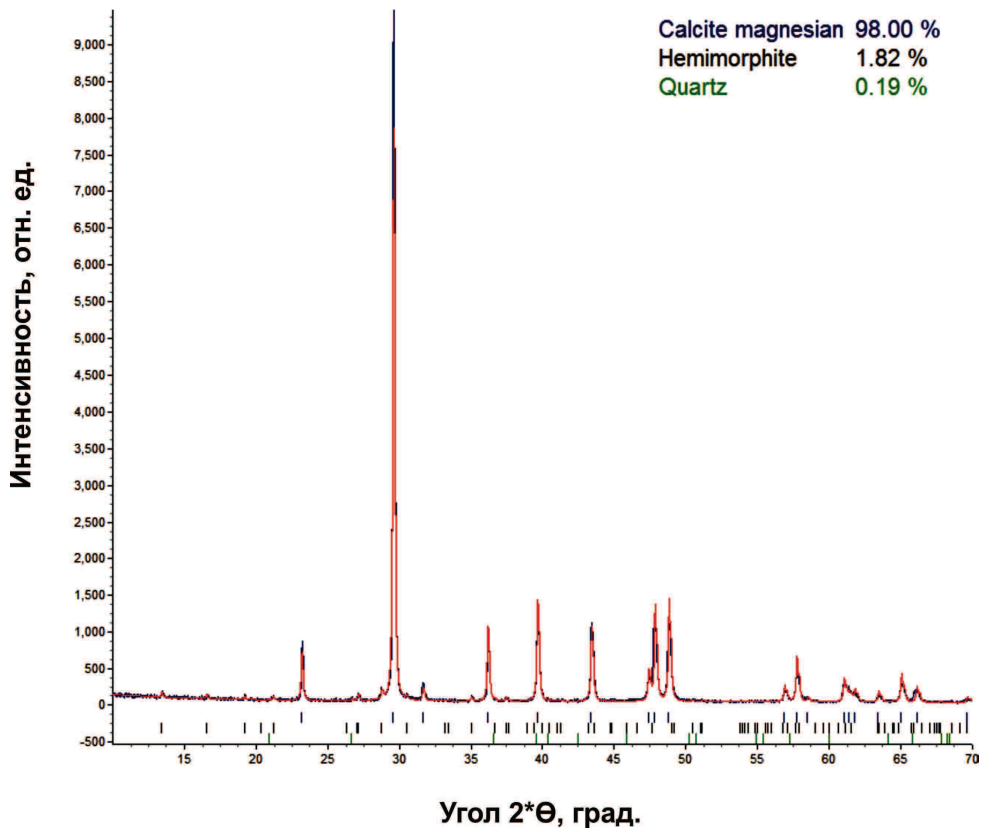


Рис. 5. Дифрактограмма образца накипи с содержанием Zn 2,4 %

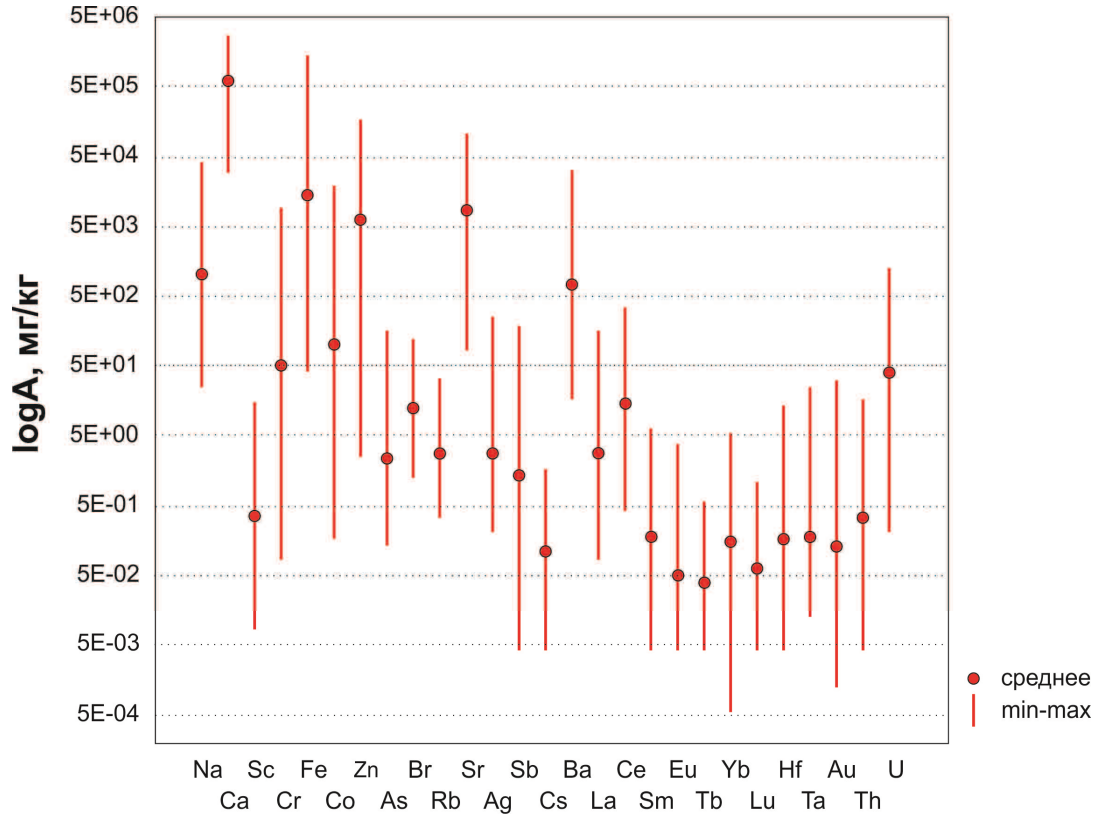


Рис. 6. Интервал разброса и среднее содержание химических элементов в солевых отложениях питьевых вод Байкальского региона, мг/кг

В образцах с высоким содержанием отдельных элементов, например, цинка на уровне 0,5 % и выше, нами с использованием метода рентгеновской дифрактометрии фиксировались отдельные минеральные фазы этих элементов, например гемиморфит $(Zn_4[Si_2O_7](OH)_2 \cdot H_2O)$ – водосодержащий силикат цинка островной структуры (рис. 5).

Оценочные уровни накопления изученных элементов в солевых отложениях питьевых вод на территории изученных районов приведены в табл. 3 и отражены на рис. 6.

Анализ этих материалов показывает, что все определяемые элементы разделяются на несколько групп по диапазону содержаний: Cr, Fe, Zn, Sb – 6 порядков в значениях; Sc, La, Yb, Au, Th – 5 порядков; Na, As, Sr, Ag, Cs, Ba, Ce, Sm, Eu, Ta, U – 4 порядка; Ca, Br, Rb, Tb, Lu – 3 порядка. Столь широкий разброс содержаний химических элементов, скорее всего, объясняется особенностями геологического строения территорий.

Ведущую группу элементов, минимальные концентрации которых превышают единицы и десятки мг/кг, составляют Na, Ca, Fe, Zn, Sr, Ba. Первые три элемента являются структурообразующими для минералов солевых отложений питьевых вод. Присутствие Zn, Sr, Ba, видимо, обусловлено близкими геохимическими свойствами, позволяющими замещать ионы Na, Ca, Fe в структуре арагонита/кальцита, слагающих основную матрицу минералов накипи.

Для выявления связей между элементами нами были рассчитаны коэффициенты парной и множественной корреляции для всей выборки (N=152).

Проведенный кластерный анализ всей выборки позволил выделить ассоциации химических элементов и характер их накопления (рис. 7). Дендрограмма показала, что существует несколько групп элементов, образующих значимые ассоциации: 1 –

уран, церий, тербий, бром; 2 – сурьма, мышьяк; 3 – цезий, рубидий; 4 – стронций, кальций; 5 – лутеций, иттербий, цинк; 6 – самарий, серебро, европий, лантан, скандий; 7 – торий, кобальт, железо, хром; 8 – барий, тантал, гафний, натрий.

По данным корреляционного анализа видно, что наиболее сильная положительная корреляционная связь отмечается для пары Fe-Co (0,96), а наиболее сильная отрицательная – для пары Ca-Zn (-0,6). Обращают на себя внимание следующие особенности парной корреляции элементов:

- отрицательная корреляционная связь Ca со всеми элементами (кроме Sr), что, по-видимому, указывает на его независимое поступление в накипь;
- антагонизм Ca к макроэлементам: Na, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, Ba (0,34–0,6, вероятность 99 %), что находит свое отражение в минералогическом составе солевых отложений: вероятно, с данным случае имеет место замещение атомов кальция в структуре накипи и образование собственных минеральных форм этих элементов (оксидов, гидроксидов, карбонатов, силикатов, сульфатов);
- находит свое подтверждение геохимия элементов группы железа (Cr, Fe, Co, Zn);
- Sr имеет отрицательную связь со всеми элементами, кроме Na, Ca, Cr, Cs;
- связь целого ряда микроэлементов (Ag, La, Sm, Eu, Yb, Hf, Th) с макроэлементами (Na, Sc, Cr, Fe, Co, Zn) на уровне 0,3–0,9 с вероятностью 99 % (табл. 4).

Геохимические особенности солевых отложений питьевых вод в районах со слабой техногенной нагрузкой

Анализ табл. 4 показывает, что для каждой территории наблюдается своя геохимическая специализация.

Таблица 4. Связи химических элементов в солевых отложениях питьевых вод Байкальского региона

Na	Ca	Sc	Cr	Fe	Co	Zn	As	Br	Rb	Sr	Ag	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	Au	Th	U	
1	0,44	0,42	0,35	0,54	0,48	0,15	0,03	0,08	0,07	0,15	0,16	0,29	0,21	0,38	0,34	0,13	0,53	0,28	0,09	0,35	0,19	0,59	0,52	0,03	0,63	0,00	Na
	1	0,55	0,47	0,57	0,52	0,60	0,18	0,07	0,11	0,17	0,37	0,11	0,22	0,34	0,56	0,34	0,48	0,49	0,24	0,48	0,28	0,42	0,24	0,02	0,58	0,19	Ca
		1	0,63	0,65	0,50	0,51	0,12	0,12	0,15	0,20	0,88	0,23	0,10	0,28	0,94	0,40	0,85	0,94	0,04	0,77	0,51	0,48	0,27	0,01	0,64	0,04	Sc
			1	0,84	0,84	0,33	0,02	0,13	0,05	0,08	0,61	0,01	0,05	0,27	0,58	0,23	0,56	0,51	0,06	0,34	0,22	0,29	0,06	0,01	0,69	0,05	Cr
				1	0,96	0,37	0,01	0,19	0,05	0,15	0,50	0,17	0,05	0,40	0,61	0,21	0,70	0,53	0,06	0,43	0,23	0,64	0,44	0,01	0,93	0,05	Fe
					1	0,31	0,01	0,18	0,07	0,15	0,36	0,10	0,07	0,37	0,44	0,12	0,54	0,35	0,07	0,29	0,15	0,49	0,28	0,00	0,84	0,06	Co
						1	0,02	0,04	0,03	0,27	0,42	0,02	0,06	0,36	0,50	0,25	0,36	0,47	0,15	0,57	0,40	0,25	0,13	0,05	0,35	0,01	Zn
							1	0,33	0,01	0,17	0,12	0,24	0,08	0,06	0,16	0,19	0,03	0,11	0,21	0,10	0,03	0,01	0,03	0,18	0,01	0,16	As
								1	0,05	0,09	0,10	0,03	0,06	0,02	0,05	0,52	0,23	0,13	0,46	0,13	0,15	0,04	0,05	0,17	0,13	0,59	Br
									1	0,12	0,04	0,02	0,62	0,21	0,02	0,07	0,18	0,07	0,06	0,02	0,06	0,07	0,04	0,06	0,12	0,08	Rb
										1	0,09	0,15	0,19	0,13	0,17	0,16	0,12	0,16	0,08	0,24	0,02	0,15	0,09	0,09	0,19	0,10	Sr
											1	0,02	0,03	0,09	0,88	0,42	0,68	0,89	0,03	0,57	0,41	0,18	0,01	0,02	0,36	0,02	Ag
												1	0,05	0,12	0,17	0,03	0,28	0,11	0,09	0,30	0,08	0,38	0,40	0,01	0,31	0,01	Sb
													1	0,26	0,02	0,10	0,12	0,04	0,03	0,02	0,09	0,04	0,03	0,03	0,07	0,09	Cs
														1	0,24	0,11	0,30	0,22	0,09	0,23	0,03	0,48	0,35	0,02	0,48	0,01	Ba
															1	0,55	0,81	0,95	0,01	0,77	0,55	0,48	0,29	0,03	0,58	0,13	La
																1	0,32	0,41	0,38	0,26	0,12	0,20	0,11	0,08	0,21	0,87	Ce
																	1	0,78	0,07	0,65	0,50	0,65	0,49	0,02	0,75	0,06	Sm
																		1	0,06	0,80	0,57	0,48	0,30	0,02	0,52	0,03	Eu
																			1	0,03	0,01	0,01	0,02	0,22	0,08	0,44	Tb
																				1	0,80	0,51	0,39	0,01	0,51	0,07	Yb
																					1	0,24	0,17	0,07	0,26	0,14	Lu
																						1	0,94	0,05	0,81	0,03	Hf
																							1	0,05	0,64	0,03	Ta
																								1	0,01	0,09	Au
																									1	0,02	Th
																										1	U

Примечание: красным цветом выделена отрицательная корреляционная связь; выделены значимые корреляционные связи химических элементов: полужирным шрифтом – на уровне вероятности 95 %, полужирным курсивом – на уровне вероятности 99 %.

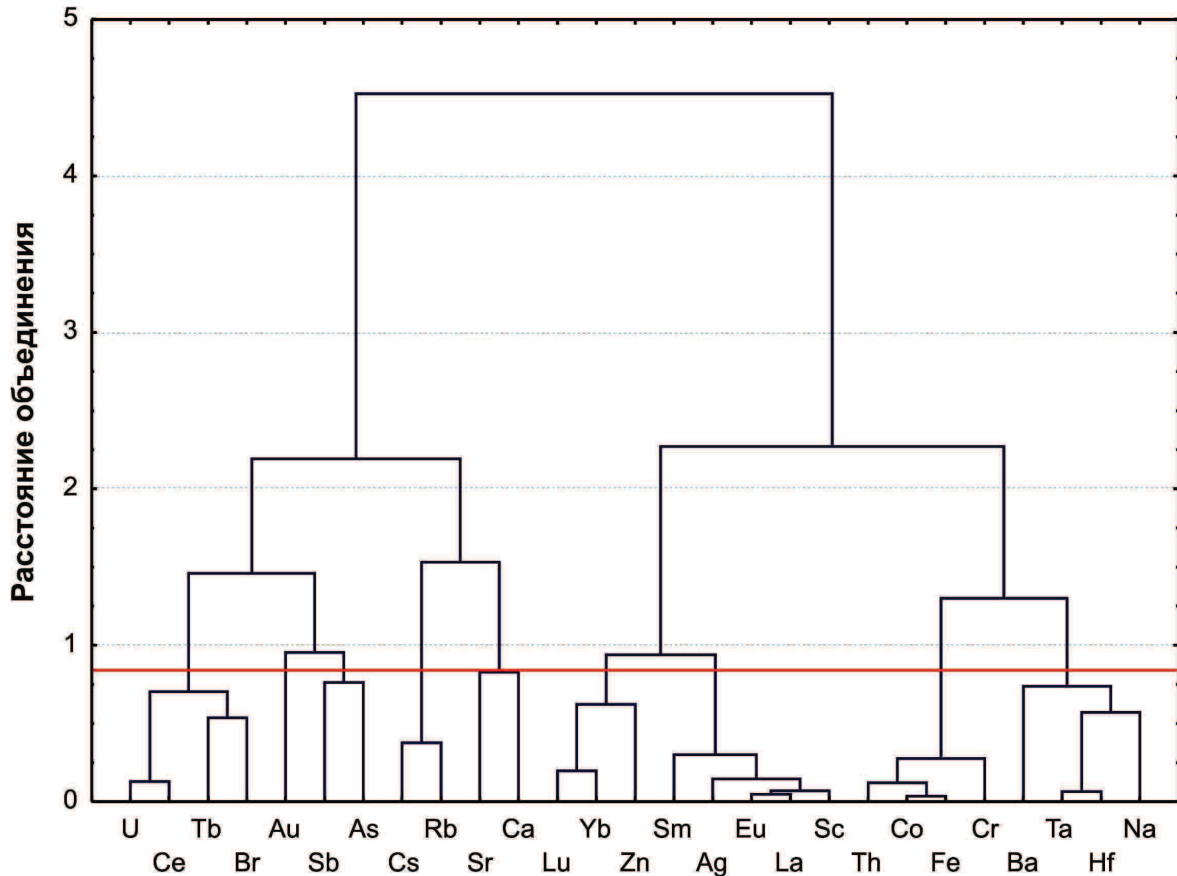


Рис. 7. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра элементов в солевых отложениях питьевых вод Байкальского региона ($1 - \text{Pearson } r(0,05) = 0,84$; объем выборки – 152 пробы)

Для Боханского района Иркутской области характерны наиболее высокие средние значения концентрации Ca, Tb, Au. Здесь отмечается чрезвычайно интересная As-Ag-Au специализация, которая требует дальнейших детальных исследований. Накипь из населенных пунктов находящегося рядом Осинского района выделяется максимальным накоплением 4 элементов: Br, Rb, Cs, Ta. Если первые три элемента можно объяснить с геологической точки зрения наличием на глубине кембрийских соленосных и гипсоносных толщ, вмещающих проявления нефти (отсюда и Br), и наличием рассолов, то природа Ta абсолютно непонятна, например, в с. Ново-Ленино, где в солевых отложениях наблюдается концентрация Ta – 1,1 мг/кг, что выше его кларка для гранитов [21].

В целом на правом берегу р. Ангара отмечаются более высокие концентрации большинства элементов в накипи по сравнению с левобережьем, где наблюдаются наиболее низкие региональные показатели накопления химических элементов в данной среде. Видимо, это обусловлено как особенностями геологического строения – изученные районы расположены в области так называемого Присяянского прогиба, выполненного преимущественно юрскими угленосными отложениями, – так и преимущественно сельскохозяйственной специализацией района, что ведет к отсутствию сильной техно-

ногенной нагрузки на гидросферу. Для данной территории исследования характерно наименьшее количество элементов (8) с коэффициентом концентрации больше 1 относительно солевых отложений из вод оз. Байкала, которые для данного региона могут быть приняты за фоновое значение.

Такой же слабо техногенно трансформированной территорией является Тункинская котловина, которая также является районом с преимущественно сельскохозяйственной специализацией, более того, весь Тункинский район находится в пределах одноименного национального природного парка, где ограничена хозяйственная деятельность человека. Однако для накипи из п. Жемчуг, расположенного в этом районе, нами зафиксирована геохимическая специализация на Ag и Au, концентрации которых достигают в отдельных пробах 57 и 7,4 мг/кг, соответственно. Специализация на эти же элементы нами выявлена и для травертинов, формирующихся на самоизливающейся скважине Г-1 (углекислая), которая функционирует в этом месте: Ag – 174 мг/кг, Au – 8,3 мг/кг. Детальными минералогическими исследованиями с использованием электронной микроскопии (сканирующий электронный микроскоп Hitachi 3400N с энергодисперсионной приставкой фирмы Bruker, лаборатория электронно-оптической диагностики Международного инновационного научно-образова-

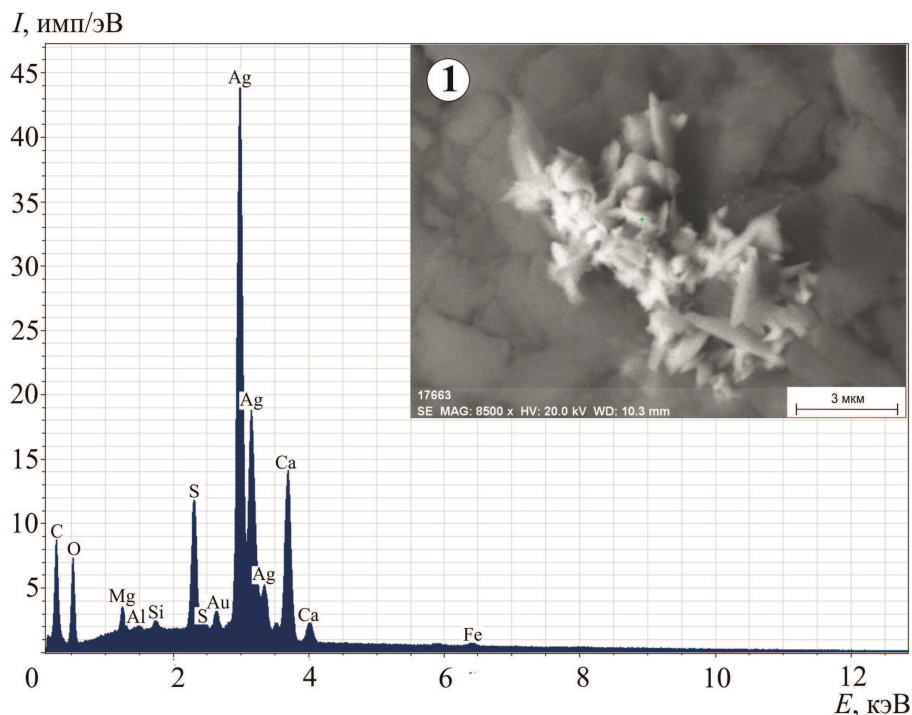


Рис. 8. Общий вид и энергодисперсионный спектр аргентита в образце накипи

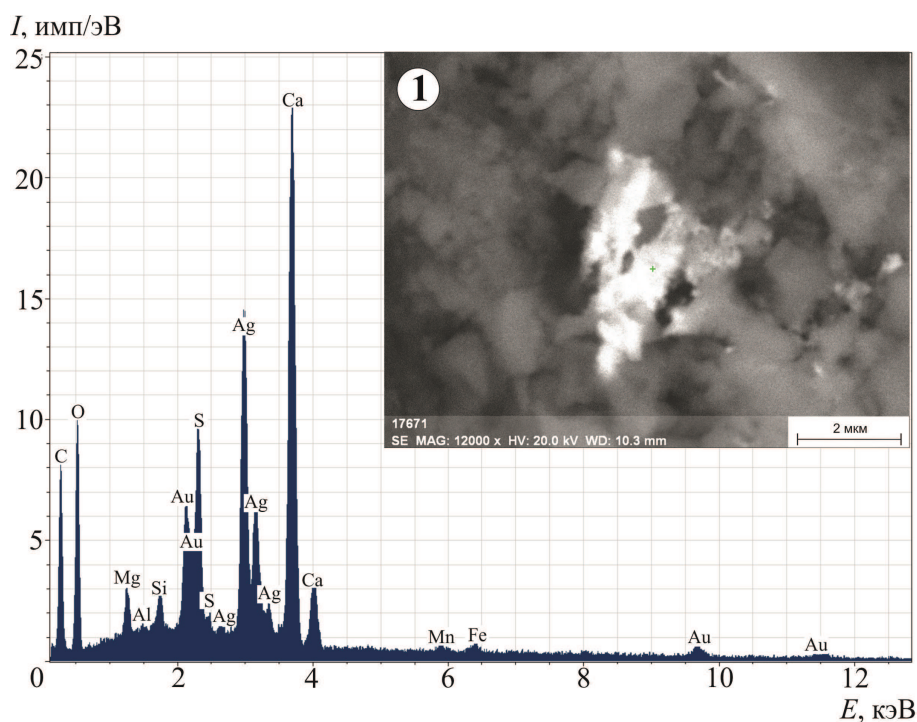


Рис. 9. Общий вид и энергодисперсионный спектр самородного золота с серебром в образце накипи

тельного центра «Урановая геология», аналитик – Ильенок С.С.) были обнаружены собственные минеральные формы этих элементов в виде самородного золота и аргентита как в накипи (рис. 8, 9), так и в травертинах [22].

По-видимому, это геохимическая специализация обусловлена функционированием современ-

ной гидротермальной системы в зоне Байкальско-го рифта (зона Тункинского разлома). Дальнейшие исследования на данной территории будут способствовать решению этой проблемы.

В аналогичной геолого-структурной позиции находится территория Усть-Баргузинской впадины, размещение которой контролируется Баргу-

зинским разломом – одной из крупнейших тектонических структур рифтовой зоны Байкала.

Накипь из населенных пунктов этого района характеризуется максимальным накоплением большинства (16 из 27) рассматриваемых элементов, в том числе: Na, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, Ag, Sb, Ba, La, Sm, Eu, Yb, Lu, Hf, Th. Обращают на себя внимание высокие содержания в солевых отложениях Th, U, Hf, редких земель, а также аномальные концентрации Zn (в среднем 1,4 %), Co (в среднем 0,03 %), Ba (в среднем 0,02 %).

Специализацию на радиоактивные и редкоземельные элементы солевых отложений этого района можно объяснить тем, что питьевые воды, по видимому, формируются при участии химических элементов коры выветривания гранитоидов Баргузинского комплекса, обогащенного этими компонентами ($U > 10$ г/т, $Th > 30$ г/т). Природа Zn, Co и Ba является на данный момент невыясненной.

В качестве рабочей гипотезы можно предположить, что в данном случае имеет место разгрузка термальных вод из глубинных зон, поступающих по системам разрывных нарушений, и их последующее смешение с грунтовыми и поверхностными водами. Подтверждением этого могут служить геохимические данные по анализу большого количества минеральных источников Байкальской рифтовой зоны [2, 7]. В отдельных случаях, как например, в районе Кулиных болот на Баргузино-Чивыркуйском перешейке по существу дела формируется водородная геохимическая аномалия (U, Se, Mo и ряд других элементов) [23], что также подтверждается нашими исследованиями [24].

Ранее нами высказывалось, что элементный состав солевых отложений питьевых вод может быть использован для целей металлогенического прогнозирования. Так, в работе [18] показано, что пространственные ореолы накопления U в солевых отложениях питьевых вод могут свидетельствовать о перспективах выявления уранового оруденения, вероятно, инфильтрационного типа, а наличие Ag и Au позволяет утверждать о возможности выявления благороднометалльного оруденения, вероятно, типа кор выветривания. На территории Байкальского региона нами были исследованы два района: Боргойская впадина и пригород г. Улан-Удэ, в пределах которых, по нашему мнению, имеет место влияние природного фактора в виде геохимически специализированных комплексов горных пород на уран. Оба района выделяются аномальными концентрациями, прежде всего, U, достигающими в отдельных пробах 93 мг/кг (Боргойская впадина) и 305 мг/кг (пригород г. Улан-Удэ).

Как нам представляется, такие значения накопления U в накипи связаны с особенностями геологического строения. Например, в Боргойской впадине при бурении поисковых скважин были выявлены урановые рудопроявления (устное сообщение Д.А. Самовича, Байкальский филиал «Сосновгеология» ФГУП «Урангеологоразведка»), возможно, находящиеся на уровне водоносных горизонтов, откуда осуществляется водозабор.

В свою очередь, к территории пригорода г. Улан-Удэ с юго-востока пространственно тяготеют субщелочные граниты витимканского комплекса, которые находятся на Цаган-Дабанской площади, перспективной на выявление U-Мо минерализации: здесь известно Брянское месторождение Мо и ряд рудопоявлений U. К юго-западу от г. Улан-Удэ расположен Жарчихинский редкометальный рудный узел, приуроченный к сиенитам и щелочным гранитам куналейского комплекса. Зафиксированные концентрации U в этих местах – $(3...15) \cdot 10^{-4} \%$ и $(3...20) \cdot 10^{-4} \%$ соответственно [1].

Геохимические особенности солевых отложений питьевых вод в районах с сильной техногенной нагрузкой

Среди изученных районов по степени специфической техногенной нагрузки выделяются два. Это зона возможного влияния подземного ядерного взрыва (ПЯВ) «Рифт-3» и зона влияния хвостохранилища бывшего Джидинского вольфрамо-молибденового комбината (ДВМК).

ПЯВ «Рифт-3», проведенный 31 июля 1982 г. в верховьях р. Обуса на территории Осинского района Усть-Ордынского автономного округа, сопровождался разрывом сплошности геологических пластов, дроблением горных пород и прорывом глубинных напорных минерализованных вод в горизонт грунтовых питьевых вод. В результате произошло нарушение палеозойских карбонатных пород с залежами каменной соли, которые активно выщелачивались [25].

Факт возможного воздействия ПЯВ на гидросферу в целом подтверждается нами при изучении распределения редкоземельных и радиоактивных элементов в накипи. Образцы, отобранные в населенных пунктах, которые расположены вдоль р. Обуса, характеризуются наиболее высокими показателями концентрации Sm, Eu и Th (рис. 10) по сравнению с накипью из остальных населенных пунктов Прибайкалья. Также зона возможного влияния ПЯВ выделяется повышенным показателем Th/U отношения: в пределах Осинского района наблюдается разделение населенных пунктов на две группы по этому показателю: находящиеся в зоне ПЯВ и вне этой зоны. Особенно это касается населенных пунктов Горхон, Хандагай, Борохал, которые находятся в верховьях р. Обуса, ближе всего к эпицентру взрыва. Для них характерен повышенный показатель Th/U отношения (№ 1, 2, 3 на рис. 11).

Согласно ранее проведенным исследованиям [6], в накипи из населенных пунктов по р. Обуса наблюдаются комплексные геохимические аномалии. Например, для поселков Ново-Ленино, Обуса – U, Th, Ce, Sc, Br, Sr, также здесь наблюдается наиболее высокие значения $La+Ce/Yb+Lu$, Ce/Eu отношений. В данном случае, как предполагают авторы, возможно поступление минерализованных вод из пород эвапоритовой формации кембрия, в пределах которых осуществлялся ПЯВ.

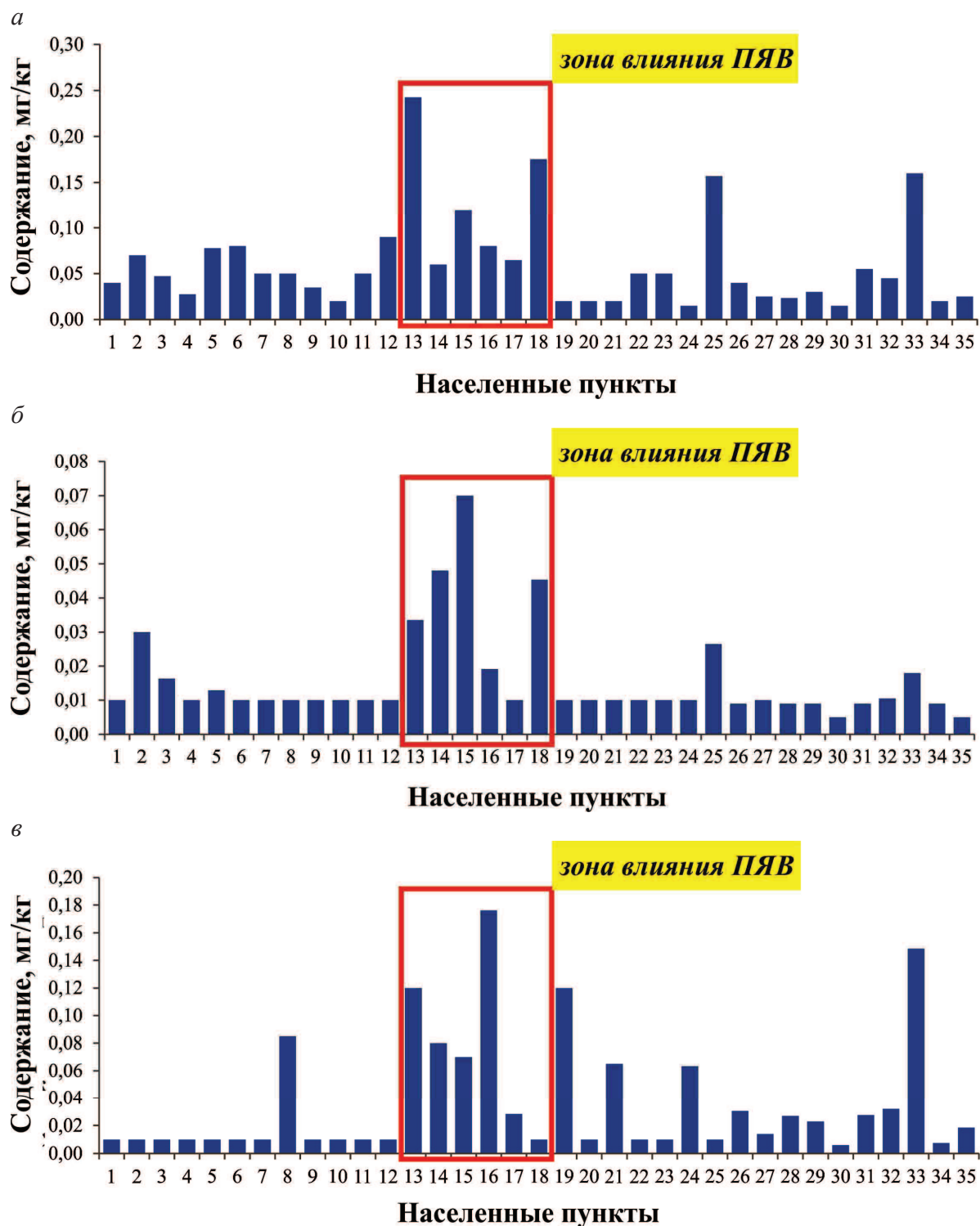


Рис. 10. Распределение Sm (а), Eu (б), Th (в) в накипи по населенным пунктам Прибайкалья. Населенные пункты: 1 – Тихоновка; 2 – Укыр; 3 – Хохорск; 4 – Шунта; 5 – Бохан; 6 – Заглик; 7 – Усть-Тараса; 8 – Тараса; 9 – Новая Ида; 10 – Улей; 11 – Буреть; 12 – Александровский; 13 – Хандагай; 14 – Борохал; 15 – Горхон; 16 – Обуса; 17 – Ново-Ленино; 18 – Кутанка; 19 – Шотой; 20 – Онгосор; 21 – Оса; 22 – Майск; 23 – Ирхидей; 24 – Хокта; 25 – Онгой; 26 – Балаганск; 27 – Новонукутский; 28 – Коновалово; 29 – Новоленино; 30 – Наймода; 31 – Первомайск; 32 – Зунгар; 33 – Куйта; 34 – Зоны; 35 – Кутулик

По этим же данным непосредственно вблизи ПЯВ в населенных пунктах Борохал и Горхон фиксируются повышенные концентрации U, Th, некоторых редкоземельных элементов, Sc, Zn. Обраща-

ет на себя внимание увеличение концентрации некоторых редких земель в накипи из населенных пунктов по мере приближения к месту проведения взрыва.

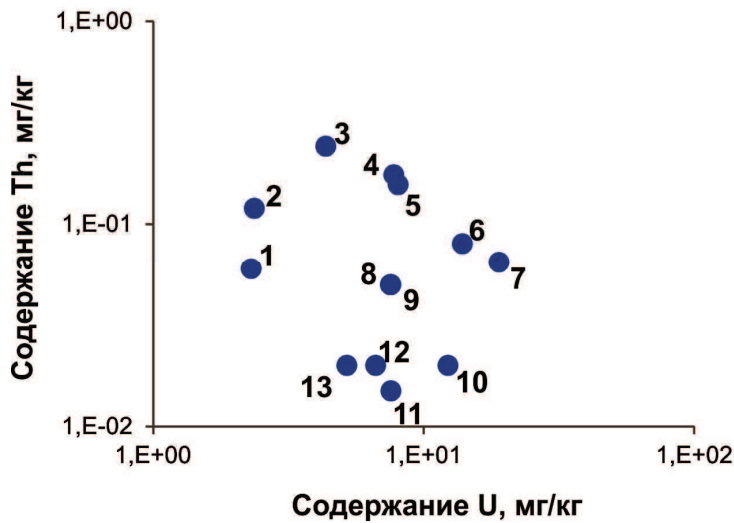


Рис. 11. Радиогеохимическая типизация солевых отложений питьевых вод Осинского района (Иркутская область). Населенные пункты: 1 – Борохал; 2 – Горхон; 3 – Хандагай; 4 – Кутанка; 5 – Онгой; 6 – Ново-Ленино; 7 – Обуса; 8 – Ирхидей; 9 – Майск; 10 – Оса; 11 – Хокта; 12 – Шотой; 13 – Онгосор

Для более точного определения индикаторов ПЯВ необходимо проведение изотопных исследований.

Хвостохранилища бывшего ДВМК являются основным загрязнителем территории г. Закаменск на протяжении более чем 70 лет. Проблема усугубляется тем, что они не были рекультивированы, и с их поверхности наблюдается ветровой и водный перенос материала. Согласно результатам эколого-геохимических исследований, проводившихся на территории г. Закаменска в 2004–2005 гг. поверхностные воды сильно загрязнены шахтными и инфильтрационными водами, поступающими из отработанных штолен и хвостохранилищ. Зафиксированы превышения ПДК по свинцу, кадмию, ряду других элементов. Загрязнение поверхностных вод влечет за собой возможность загрязнения Модонкульского месторождения подземных вод, из которого ведется забор питьевой воды для местного населения, поскольку по мощности зоны аэрации (2–3 м) и ее литологическому составу (галлика, гравий, песок) водоносный горизонт не защищен от загрязнения.

Качество питьевых вод, согласно результатам изучения накипи питьевых вод низкое и по ряду компонентов (Zn, Sr, Ta, Au, U) превышает фоновые значения и, по-видимому, отражает влияние хвостохранилищ и шахт на поверхностную гидросферу. К сожалению, применяемый нами метод определения элементов – ИНАА – не позволяет определить приоритетные в данном случае тяжелые металлы (Pb, Cd, Hg, F, Ni, Mo, Cu, W), что требует также дополнительного исследования солевых отложений на эти компоненты другим аналитическим методом, например масс-спектрометрией с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS).

Основываясь на вышеизложенном, можно отметить следующее: техногенез в изученных районах влияет на относительно небольшие территории и слабо проявлен на фоне природных факторов.

Типизация солевых отложений питьевых вод

Представленные данные по геохимическим особенностям солевых отложений питьевых вод на территории Байкальского региона показывают, что наблюдается дифференциация территорий как по уровням накопления, так и ассоциациям элементов; это позволяет наметить для выделения геохимические типы солевых отложений питьевых вод. Нормирование средних содержаний относительно фонового показателя, в данном случае солевых отложений из вод оз. Байкал, позволяет определить геохимическую специализацию накипи в изученных районах (табл. 6).

Таблица 6. Геохимическая специализация солевых отложений в изученных районах (относительно солевых отложений из вод оз. Байкал)

Район исследования	Геохимический ряд
Усть-Баргузинская впадина (18)	Zn _{882,7} - Co _{212,2} - Ag _{15,7} - Eu _{12,5} - Ba _{11,4} - U _{6,7} - Fe _{5,5} - Sb _{4,1} - Lu _{4,0} - Sm = Yb _{3,1} - Ce _{2,9} - La _{2,8} - Cr = Hf _{1,8} - Ta _{1,4} - Sc _{1,3} - Th _{1,2}
Боргойская впадина (11)	Ag _{8,6} - Sr _{8,2} - Zn _{4,2} - Lu = U _{3,0} - Fe _{1,4} - La _{1,2} - Ce = Ba = Ca = Eu _{1,0}
Пригород г. Улан-Удэ (11)	Zn _{203,5} - U _{21,1} - Ag _{9,3} - Ce _{5,5} - Sr _{2,3} - Eu _{1,9} - Fe = Lu _{1,5} - Ta _{1,1} - La _{1,0} = Tb _{1,0}
Осинский район (10)	Zn _{110,7} - Ag _{7,1} - Ta _{5,7} - Sr _{2,9} - Eu _{2,5} - U _{2,3} - Ba _{2,1} - Ca _{1,4} - Lu = Tb _{1,0}
Боханский район (9)	Zn _{57,6} - Ta _{5,0} - Ag _{4,3} - Sr _{4,0} - U _{2,1} - Tb = Ca _{1,5} - Eu _{1,3} - Ba _{1,2}
Закаменский район (9)	Zn _{52,5} - Ag _{6,7} - Sr _{1,7} - Lu _{1,5} - Ta = U _{1,4} - Fe = Ca _{1,1} - Eu _{1,0}
Левобережье р. Ангара (8)	Zn _{199,8} - Sr _{1,9} - Ag _{1,4} - Lu _{1,2} - Eu = Ca _{1,1} - U = Tb _{1,0}
Тункинская котловина (7)	Ag _{106,9} - Au _{23,3} - Zn _{13,7} - Fe _{5,5} - Sr _{3,5} - Lu _{2,0} - Ba _{1,9}

Примечание: в скобках указано количество элементов, коэффициент концентрации (КК) которых больше 1; жирным выделены элементы, превышающие КК=2.

Нами предварительно выделены следующие геохимические типы солевых отложений питьевых вод (накипи):

1. «Баргузинский» тип накипи с ассоциацией редких, редкоземельных и радиоактивных элементов, видимо, отражающий влияние процессов рифтогенеза на гидросферу.
2. Тип накипи, связанный со степными и лесостепными ландшафтами Забайкалья, которые характеризуются развитием локальных скоплений U в осадочных породах межгорных впадин (Боргойская впадина и район г. Улан-Удэ). Типичной ассоциацией в этом случае является U-REE. В накипи из Боргойской впадины геохимический ряд начинается с Ag, тогда как во всех других, за исключением минеральных образований из (пока слабо изученной) Тункинской котловины, он начинается с Zn.
3. Прибайкальский платформенный тип, который мало специализирован и отмечается ассоциацией Ta-Sr-Ag, иногда с Ba; к этому типу можно отнести накипь из населенных пунктов правобережья р. Ангара.
4. Вероятно, нами будет выделен особый «тункинский» тип солевых отложений, специализированный на Au и Ag, исследование которого продолжается в настоящее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Региональная геохимия окружающей среды Байкальского региона / В.И. Гребенщикова, Э.Е. Лустенберг, Н.А. Китаев, И.С. Ломоносов. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2008. – 232 с.
2. Ломоносов И.С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны. – Новосибирск: Наука, 1974. – 168 с.
3. Гидрогеология Прибайкалья / Е.В. Пиннекер [и др.]. – М.: Наука, 1968. – 171 с.
4. Пиннекер Е.В. Рассолы Ангаро-Ленского артезианского бассейна. Закономерности размещения, состав, динамика формирования и использование. – М.: Наука, 1966. – 332 с.
5. Пиннекер Е.В., Шенькман Б.М. Техногенное изменение гидрогеохимической обстановки в Ангаро-Ленском артезианском бассейне // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. – 1995. – № 1. – С. 110–122.
6. Geochemical specialization of limescale of water sources illustrated by two regions in Siberia / A.E. Taphaeva, T.T. Taisaev, L.P. Rikhvanov, E.G. Yazikov, N.V. Baranovskaya // Contemporary Problems of Ecology. – 2010. – V. 3. – № 4. – P. 498–507.
7. Особенности формирования травертинов из углекислых и азотных термальных вод в зоне Байкальского рифта / А.М. Плюсин, А.П. Суздальницкий, А.А. Адушинов, А.Г. Миронов // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41. – № 4. – С. 564–570.
8. Экологическое зонирование и статистические параметры экологически опасных зон города Закаменска (Республика Бурятия) / А.И. Куликов, А.Ц. Мангатаев, М.А. Куликов, Г.Г. Хамнаева, А.М. Плюсин // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. – 2012. – № 3 (38). – С. 221–227.
9. Перязева Е.Г., Плюсин А.М. Взаимодействие атмосферных осадков с почвогрунтами урбанизированных территорий Байкальского региона. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2007. – 164 с.
5. Условно фоновый тип накипи может быть выделен для левобережья р. Ангара, где превышения относительно фона наблюдаются лишь для Zn, который можно принять за типоморфный сквозной элемент для солевых отложений питьевых вод всего Байкальского региона.

Заключение

В работе были рассмотрены геохимические особенности накипи питьевых вод на территории семи районов Байкальского региона, характеризующиеся различными природными и техногенными условиями. Для каждого района были определены специфичные элементы. Сделана попытка выделения геохимических типов изученных солевых отложений.

По результатам работы сделан вывод о возможности использования солевых отложений, формирующихся в бытовой теплообменной аппаратуре, для решения таких вопросов, как оценка качества вод, используемых для питьевого водоснабжения, эколого-геохимическая оценка состояния территории в комплексе с данными по другим природным средам и для целей металлогенического прогнозирования по геохимическим показателям.

10. Геохимическая деятельность микроорганизмов гидротерм Байкальской рифтовой зоны / Б.Б. Намсараев, Д.Д. Бархутова, Э.В. Данилова [и др.]. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2011. – 302 с.
11. Большая Советская Энциклопедия. 2013. URL: <http://www.bse-sci-lib.com> (дата обращения: 15.03.2013).
12. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Л.П. Рихванов, Е.Г. Язиков, Ю.И. Сухих [и др.]. – Томск: Курсив, 2006. – 216 с.
13. Способ определения участков загрязнения ураном окружающей среды: пат. 2298212 Рос. Федерация. № 2005120840; заявл. 04.07.05; опубл. 27.04.07, Бюл. № 12. – 6 с.
14. Язиков Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. – Томск, 2006. – 47 с.
15. Язиков Е.Г., Рихванов Л.П., Барановская Н.В. Индикаторная роль солевых образований в воде при геохимическом мониторинге // Известия вузов. Геология и разведка. – 2004. – № 1. – С. 67–69.
16. Монголина Т.А., Барановская Н.В., Соктоев Б.Р. Элементный состав солевых отложений питьевых вод Томской области // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 1. – С. 204–211.
17. Язиков Е.Г., Барановская Н.В., Рихванов Л.П. Использование солевых образований (накипи) для целей геохимического районирования территорий // Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых: матер. Междунар. науч. конф., посвящ. столетию со дня рождения акад. К.И. Лукашева. – Минск, 14–16 марта 2007. – С. 252–254.
18. Монголина Т.А. Геохимические особенности солевых отложений (накипи) питьевых вод как индикатор природно-техногенного состояния территории: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2011. – 21 с.
19. Барановская Н.В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природ-

- но-антропогенных экосистем: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Томск, 2011. – 46 с.
20. Геохимический анализ подземных вод и биосред в долинах рек Обусы, Осы и Иды / А.Э. Тапхаева, Т.Т. Тайсаев, Л.П. Рихванов, Е.Г. Язиков, Н.В. Барановская // Вестник Бурятского государственного университета. – 2011. – Вып. 4: Биология, география. – С. 11–21.
21. Геохимические особенности травертинов различных регионов и их прогнозное значение / Л.П. Рихванов, Т.Т. Тайсаев, Н.В. Барановская, Б.Р. Соктоев, Т.А. Монголина, А.Ф. Судыко, С.С. Ильенко // Современные проблемы геохимии: Матер. Всерос. совещания (с участием иностранных ученых). – Иркутск, 2012. – Т. 1. – С. 233–236.
22. Брюханова Н.Н. Геохимия серы, селена, теллура и сопутствующих элементов в кайнозойских отложениях Байкальской рифтовой зоны: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Иркутск, 2007. – 21 с.
23. Новые данные о радиогеохимических особенностях природных сред Баргузино-Чивыркуйского перешейка (оз. Байкал) и Тункинской котловины / Л.П. Рихванов, Т.Т. Тайсаев, Н.В. Барановская, Б.Р. Соктоев, Т.А. Перминова // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. IV Междунар. конф. – Томск, 4–8 июня 2013. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 441–444.
24. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
25. Радиационное воздействие подземного ядерного взрыва «Рифт-3» на территорию и население Осинского района Иркутской области / В.И. Медведев, Л.Г. Коршунов, В.В. Коваленко [и др.] // Сибирский экологический журнал. – 2005. – № 6. – С. 1073–1078.

Поступила 17.10.2013 г.

UDC 556.114.6(571.53)

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF DRINKING WATER SALT DEPOSITS OF BAIKAL REGION

Bulat R. Soktoev,

Tomsk Polytechnic University, Russia, 634050, Tomsk,
Lenin Avenue. E-mail: bulatsoktoev@gmail.com

Leonid P. Rikhvanov,

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University,
Russia, 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30. E-mail: rikhvanov@tpu.ru

Trofim T. Taisaev,

Dr. Sc., Buryat State University, Russia, 670000, the Buryat Republic,
Ulan-Ude, Smolina street, 24a. E-mail: taisaev@bsu.ru

Natalia V. Baranovskaya,

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University,
Russia, 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30. E-mail: natalya.baranovs@mail.ru

The urgency of the discussed issue is conditioned by the insufficient knowledge of the research object and the possibility of its application in environmental and geochemical investigations.

The main aim of the study is to estimate the content of 27 chemical elements including rare, rare-earth and radioactive elements and to identify their indicative significance in drinking water salt deposits (limescale), formed at multiple boiling and cooling in heat-exchanging equipment, on the territory of Baikal region.

The methods used in the study: method of instrumental neutron activation analysis (element composition analysis): X-ray diffractometry (DRON-3M, D8 Advance Bruker), electron microscopy (substantial analysis).

The results: Based on large bulk of data it was shown that element composition of salt deposits reflects the features of influence of natural and anthropogenic factors on formation of chemical composition of water used in drinking water supply system. The authors have determined the specific nature of chemical elements accumulation in limescale in investigated areas conditioned by the features of geologic structure and the rate of anthropogenic pressure. The possible indicative associations of elements of rifting on the territory of Ust-Barguzin and Tunka depressions are detached. The authors determined the potential uranium-bearing areas in terms of the uranium accumulation levels in salt deposits and singled out the geochemical types of limescale in terms of accumulation levels of elements and their associations.

Key words:

Salt sediment (formation), limescale, geochemical specialization, typification, Baikal region, rifting, technogenesis, gold, silver, rare-earth elements, uranium.

REFERENCES

- Grebenshchikova V.I., Lustenberg E.E., Kitaev N.A., Lomonosov I.S. *Regionalnaya geokhimiya okruzhayushchey sredy Baykalskogo regiona* [Regional environmental geochemistry of the Baikal Region]. Novosibirsk, Geo Publ., 2008. 232 p.
- Lomonosov I.S. *Geokhimiya i formirovanie sovremennykh gidroterm Baykalskoy riftingovoy zony* [Geochemistry and formation of

- contemporary thermal springs in Baikal rift zone]. Novosibirsk, Nauka, 1974. 168 p.
3. Pinneker E.V. *Gidrogeologiya Pribaykalya* [Hydrogeology of the Baikal region]. Moscow, Nauka, 1968. 171 p.
 4. Pinneker E.V. *Rassoly Angaro-Lenskogo artezianskogo basseyna. Zakonomernosti razmeshcheniya, sostav, dinamika formirovaniya i ispolzovanie* [Brines of Angar-Lenskiy artesian basin. Regularities of distribution, composition, dynamics of formation and utilization]. Moscow, Nauka, 1966. 332 p.
 5. Pinneker E.V., Shenkman B.M. Tekhnogennoe izmenenie gidrogeokhimicheskoy obstanovki v Angaro-Lenskom artezianskom basseyne [Anthropogenic change of hydrogeochemical situation in Angar-Lenskiy artesian basin]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya – Environmental geoscience: engineering geology, hydrogeology, geocryology*, 1995, no. 1, pp. 110–122.
 6. Tapkhaeva A.E., Taisaev T.T., Rikhvanov L.P., Yazikov E.G., Baranovskaya N.V. Geokhimicheskaya spetsializatsiya osadkov (nakipey) vodnykh istochnikov na primere dvukh regionov Sibiri [Geochemical specialization of limescale of water sources illustrated by two regions in Siberia]. *Contemporary Problems of Ecology*, 2010, vol. 3, no. 4, pp. 498–507.
 7. Plyusnin A.M., Suzdalnitskiy A.P., Adushinov A.A., Mironov A.G. Osobennosti formirovaniya travertinov iz uglekislykh i azotnykh termalnykh vod v zone Baykalskogo rifta [Peculiarities of travertines formation from carbon dioxide and nitric thermal waters in Baikal rift zone]. *Geologiya i geofizika – Russian Geology and Geophysics*, 2000, vol. 41, no. 4, pp. 564–570.
 8. Kulikov A.I., Mangataev A.C., Kulikov M.A., Khamnaeva G.G., Plyusnin A.M. Ekologicheskoe zonirovaniye i statisticheskie parametry ekologicheskoy opasnykh zon goroda Zakamenska (Respublika Buryatiya) [Ecological zoning and statistical parameters of environmentally fragile areas in Zakamensk town (Republic of Buryatia)]. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i upravleniya – East Siberia State University of Technology and Management Bulletin*, 2012, no. 3 (38), pp. 221–227.
 9. Peryazeva E.G., Plyusnin A.M. *Vzaimodeystvie atmosferynykh osadkov s pochvogruntami urbanizirovannykh territoriy Baykalskogo regiona* [Interrelation between atmospheric precipitation and soils on urban lands of the Baikal region]. Ulan-Ude, BNC SO RAN Publ., 2007. 164 p.
 10. Namsaraev B.B., Barkhutova D.D., Danilova E.V. *Geokhimicheskaya deyatel'nost' mikroorganizmov gidroterm Baykalskoy riftovoy zony* [Geochemical activity of microorganisms in thermal springs of Baikal rift zone]. Novosibirsk, Geo Publ., 2011, 302 p.
 11. *Bolshaya Sovetskaya Entsiklopediya* [Great Soviet Encyclopedia]. Available at: <http://www.bse-sci-lib.com> (accessed 15 March 2013).
 12. Rikhvanov L.P., Yazikov E.G., Sukhikh Yu.I. *Ekologo-geokhimicheskie osobennosti prirodnykh sred Tomskogo rayona i zabolvaemost naseleniya* [Eco-geochemical peculiarities of the environmental media in Tomsk region and disease incidence of the population]. Tomsk, Kursiv, 2006. 216 p.
 13. Rikhvanov L.P., Yazikov E.G., Baranovskaya N.V., Yankovich E.P. *Sposob opredeleniya uchastkov zagryazneniya uranom okruzhayushhey sredey* [The way to locate contaminated by uranium areas]. Patent RF, no. 2298212, 2007.
 14. Yazikov E.G. *Ekogeokhimiya urbanizirovannykh territoriy yuga Zapadnoy Sibiri*. Avtoreferat Dokt. Diss. [Eco-geochemistry of urban lands on the south of Western Siberia. Dr. Diss. abstract]. Tomsk, 2006. 47 p.
 15. Yazikov E.G., Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V. Indikatornaya rol solevykh obrazovaniy v vode pri geokhimicheskom monitoringe [Indicative role of salt sediments in water in the process of geochemical monitoring]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 2004, no. 1, pp. 67–69.
 16. Mongolina T.A., Baranovskaya N.V., Soktoev B.R. Elementny sostav solevykh otlozheniy pitevykh vod Tomskoy oblasti [Element composition of drinking water salt sediments in Tomsk region]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 319, no. 1, pp. 204–211.
 17. Yazikov E.G., Baranovskaya N.V., Rikhvanov L.P. Ispolzovanie solevykh obrazovaniy (nakipi) dlya tseley geokhimicheskogo rayonirovaniya territoriy [Usage of salt sediments (limescale) in geochemical zoning of territories]. *Sovremennyye problemy geokhimii, geologii i poiskov mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh: materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Proc. Int. Sci. Conf. Contemporary problems of geochemistry, geology and mineral exploration]. Minsk, 2007, pp. 252–254.
 18. Mongolina T.A. Geokhimicheskie osobennosti solevykh otlozheniy (nakipi) pitevykh vod kak indikator prirodno-tekhnogennoy sostoyaniya territorii. Avtoreferat Dokt. Diss. [Geochemical peculiarities of salt sediments (limescale) as an indicator of natural and anthropogenic status of the territory. Doct. Diss. abstr.]. Tomsk, 2011. 21 p.
 19. Baranovskaya N.V. *Zakonomernosti nakopleniya i raspredeleniya khimicheskikh elementov v organizmakh prirodnykh i prirodno-antropogennykh ekosistem. Avtoreferat Dokt. Diss.* [Regularities of accumulation and distribution of chemical elements in organisms of natural and natural-anthropogenic ecosystems. Doct. Diss. abstract]. Tomsk, 2011. 46 p.
 20. Tapkhaeva A.E., Taysaev T.T., Rikhvanov L.P., Yazikov E.G., Baranovskaya N.V. Geokhimicheskii analiz podzemnykh vod i biosred v dolinakh rek Obusy, Osy i Idy [Geochemical analysis of ground water and biological media in valleys of Obusa, Osa and Ida rivers]. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of the Buryat State University*, 2011, vol. 4, pp. 11–21.
 21. Rikhvanov L.P., Taysaev T.T., Baranovskaya N.V., Soktoev B.R., Mongolina T.A., Sudyko A.F., Ilenok S.S. Geokhimicheskie osobennosti travertinov razlichnykh regionov i ikh prognoznoye znachenie [Geochemical peculiarities of travertines in various regions and their prognostic value]. *Sovremennyye problemy geokhimii: materialy Vserossiyskogo soveshchaniya* [Proc. All-Rus. Conf. Contemporary problems of geochemistry]. Irkutsk, 2012, vol. 1, pp. 233–236.
 22. Bryukhanova N.N. *Geokhimiya sery, selena, tellura i sopolstvuyushchikh elementov v kaynozoysskikh otlozheniyakh Baykalskoy riftovoy zony. Avtoreferat Dokt. Diss.* [Geochemistry of sulfur, selenium, tellurium and associated elements in kainozoic sediments of Baikal rift zone. Doct. Diss. abstract]. Irkutsk, 2007. 21 p.
 23. Rikhvanov L.P., Taysaev T.T., Baranovskaya N.V., Soktoev B.R., Perminova T.A. Novyye dannyye o radiogeokhimicheskikh osobennostyakh prirodnykh sred Barguzino-Chivyrkuyskogo peregorya (oz. Baykal) i Tunkinskoy kotloviny [New data on radiogeochimical features of environmental media of Barguzin-Chivyrkuy strait (Lake Baikal) and Tunka depression]. *Radioaktivnost i radioaktivnyye elementy v srede obitaniya cheloveka: materialy IV Mezhdunarodnoy konferentsii* [Proc. 4th Int. Conf. Radioactivity and radioactive elements in the environment]. Tomsk, 2013, pp. 441–444.
 24. Vinogradov A.P. Srednee sodержanie khimicheskikh elementov v glavnykh tipakh izverzhennykh gornykh porod zemnoy kory [Average concentration of chemical elements in main types of igneous rocks of Earth's crust]. *Geokhimiya – Geochemistry International*, 1962, no. 7, pp. 555–571.
 25. Medvedev V.I. Radiatsionnoye vozdeystvie podzemnogo yadernogo vzryva «Rift-3» na territoriyu i naselenie Osinskogo rayona Irkutskoy oblasti [Radiative effect of underground nuclear explosion «Rift-3» on the territory and population of Osa district of Irkutsk region]. *Sibirskiy ekologicheskii zhurnal – Contemporary problems of ecology*, 2005, no. 6, pp. 1073–1078.