

## Геохимическая специализация осадков (накипей) водных источников на примере двух регионов Сибири

А. Э. ТАПХАЕВА, Т. Т. ТАЙСАЕВ, Л. П. РИХВАНОВ\*, Е. Г. ЯЗИКОВ\*, Н. В. БАРАНОВСКАЯ\*

*Бурятский государственный университет  
670000, Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а  
E-mail: Bair147@list.ru@*

*\*Томский политехнический университет  
634050, Томск, просп. Ленина, 30*

### АННОТАЦИЯ

Показаны результаты накопления химических элементов в накипи, образующейся при выпаривании подземных вод, используемых населением Иркутской и Томской областей для водоснабжения. Установлены уровни накопления тяжелых металлов, в том числе редкоземельных и радиоактивных, в сухих остатках накипи.

**Ключевые слова:** индикаторы загрязнения, радиоактивные элементы, тяжелые металлы, загрязнение питьевых вод, миграция химических элементов, геохимия радиоактивных элементов.

В настоящее время при геохимическом мониторинге природных сред широко практикуется изучение геохимических особенностей различных компонентов ландшафтов: снега, почв, донных осадков, растений, воды, биосубстратов, являющихся хорошими индикаторами трансформации природных сред [1, 2].

В Томском политехническом университете сотрудниками кафедры геоэкологии и геохимии при реализации программы “Радиационный мониторинг Томской области” и “Оценки качества среды обитания человека с целью выделения возможного воздействия радиационного фактора на заболеваемость населения” проведены комплексные эколого-гео-

химические исследования в населенных пунктах Томской области, расположенных в зоне влияния основных промышленных производств Томска и Северска, в том числе и ядерно-топливного цикла – Сибирского химического комбината (СХК) – одного из основных источников загрязнения природной среды области радиоактивными элементами [3–5].

При выполнении опытно-методических работ выявлена индикаторная роль накипи подземных вод, образующейся в посуде при кипячении воды [3–5]. Накипь – это информативный сухой остаток, депонирующая среда, образующаяся при выпаривании воды и отражающая химический состав питьевых вод, используемых населением.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При эколого-геохимических исследованиях компонентов природной среды наиболее информативным считается изучение снега,

---

Тапхаева Антонина Эдуардовна  
Тайсаев Трофим Табанович  
Рихванов Леонид Петрович  
Язиков Евгений Григорьевич  
Барановская Наталья Владимировна

почв донных отложений, растений и воды [1, 2, 6–8].

Нами выбрана дополнительная депонирующая среда, представленная сухими остатками питьевых вод в виде накипи на поверхности теплообменной аппаратуры. Образование накипи по своей физико-химической природе является сложным процессом кристаллизации, состоящим из трех основных стадий: достижения состояния перенасыщения, образования центров кристаллизации и роста кристаллов. При кипении воды в результате испарения концентрация ионов постепенно возрастает и по истечении определенного времени достигает состояния перенасыщения. Дальнейшее увеличение концентрации этих ионов приводит к выделению из раствора мельчайших кристалликов – центров кристаллизации, являющихся основой будущей накипи. Образование центров кри-

сталлизации наиболее интенсивно происходит в пристенном слое из-за большой концентрации солей вследствие более интенсивного парообразования. Далее процесс кристаллизации сопровождается ростом кристаллов и происходит в двух направлениях: твердая фаза выделяется, во-первых, непосредственно на поверхности нагрева с образованием накипи, а во-вторых – в объеме воды в виде мельчайших кристалликов, затем укрупняющихся и образующих шлам. По теории электрической диссоциации применительно к процессу кристаллизации в растворе, состоящем из любого набора ионов, в первую очередь будет кристаллизоваться та соль, которая имеет самое низкое произведение растворимости в данных термодинамических условиях. В обычных условиях основной солью, кристаллизующейся на поверхности теплообменной температуры, является карбонат каль-

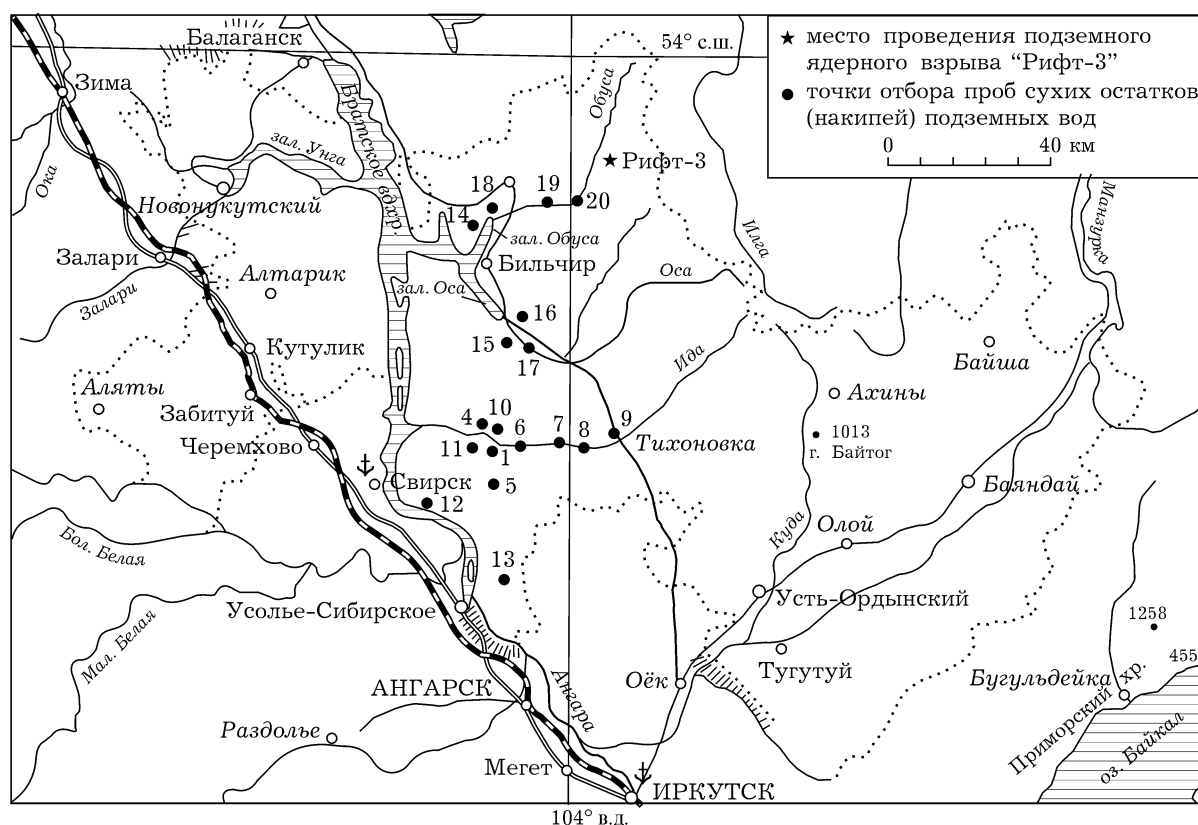


Рис. 1. Отбор сухих остатков питьевых вод по населенным пунктам Боханского (1–13) и Осинского (14–20) районов. Здесь и на рис. 2–5 поселки: 1 – Бохан; 2 – микрорайон Северный пос. Борхан; 3 – микрорайон Южный пос. Борхан; 4 – Усть-Тараса; 5 – Тараса; 6 – Шунта; 7 – Хохорск; 8 – Укыр; 9 – Тихоновка; 10 – Заглик; 11 – Новая Ида; 12 – Буреть; 13 – Александровск; 14 – Ново-Ленино; 15 – Майск; 16 – Ирхидей; 17 – Оса; 18 – Обуса; 19 – Борохал; 20 – Горхон

**Контроль правильности получаемых результатов исследования в сравнении СОС МАГАТЭ SD-M2/ТМ (морские осадки)**

Элемент	Паспортные данные, $n \cdot 10^{-4} \%$ и (категория)	Доверительный интервал по паспорту, $n \cdot 10^{-4} \%$	Экспериментальные данные, $n \cdot 10^{-4} \%$ , лаборатории ТПУ	Относительная среднеквадратичная погрешность, $m = 6, \%$
Ba	252(B)	231–310	247	29,2
Br	65,7(A)	57,8–78,0	61,6	3,4
Ca	11,2 %(B)	6,4–13,4	7,9 %	4,9
Ce	54,3(A)	47,2–55,8	50,3	2,1
Co	13,6(A)	13,1–14,2	14,4	4,6
Cr	77,2(A)	64,0–82,8	79,0	3,0
Cs	8,05(A)	6,3–8,87	8,3	7,1
Eu	0,85(A)	0,79–1,19	0,92	7,2
Fe	2,71 %(A)	2,5–2,85	2,87 %	1,9
Hf	2,83(C)	2,6–3,55	2,95	9,4
La	26,2(A)	24,0–28,4	27,2	3,1
Lu	0,243(A)	0,186–0,320	0,26	13,3
Na	1,35 %(A)	1,18–1,43	1,35 %	2,8
Rb	99,7(A)	90–119	104	7,6
Sc	10,3(A)	9,9–114	10,5	1,1
Sb	0,99(A)	0,92–1,25	1,19	13,1
Sm	4,27(B)	3,28–4,90	4,78	6,7
Sr	540(A)	510–568	630	25,9
Ta	0,84(C)	0,74–1,13	0,95	4,9
Tb	0,52(B)	0,48–0,58	0,58	6,6
Th	8,15(B)	7,2–9,1	8,2	2,4
U	2,49(B)	1,44–3,50	2,76	3,1
Yb	1,62(A)	1,41–1,92	1,69	10,4

ция, практически всегда содержащийся в воде природных источников. С ростом температуры растворимость карбоната кальция не растет, как у большинства солей, а снижается. Карбонат кальция – главная составляющая накипи [9].

Отобрано 20 проб накипи подземных вод по населенным пунктам Осинского и Боханского районов Иркутской области (рис. 1).

Подготовка данной среды для анализа в ядерно-химической лаборатории Томского политехнического университета (ТПУ) включала просушку, измельчение и упаковку накипи в бумажные пакеты по 5 гр. Каждый пакет имел порядковый номер. Был составлен реестр проб с указанием населенного пункта, вида поверхности теплообменной аппаратуры (алюминиевая, железная, медная,

эмалированная), глубины подземных вод и даты отбора.

Отобранные пробы анализировали в ядерно-геохимической лаборатории методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) с использованием исследовательского ядерного реактора ТПУ на 26 элементов. Затем провели сравнительный анализ концентрации химических элементов в накипи подземных вод Иркутской области с имеющимися данными по Томской области.

Лаборатория входит в состав центра, имеющего аккредитацию, а сами анализы выполнены по аттестованным методикам.

О качестве анализов можно судить по результатам анализов стандарта МАГАТЭ (морские осадки) (табл. 1).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что накипь на посуде, образовавшаяся при испарении питьевых вод Томской области, представлена карбонатными соединениями со средним содержанием Са 36,4 % и сложена преимущественно кальцитом. Содержание Fe колеблется от 0,4 до 5,8 %, среднее содержание 0,7 %.

Томскими учеными показано, что накипь характеризуется разнообразным набором микроэлементов, спектр которых отражает природные и техногенные факторы трансформации питьевых вод. При этом отмечено, что в районах размещения предприятий ядерно-топливного цикла (Томский и Челябинский регионы) наблюдается геохимическая специфика накипи подземных вод, выражающаяся прежде всего в содержании радиоактивных и редкоземельных элементов [5].

Специалисты Бурятского госуниверситета обратили внимание на эти индикаторные особенности накипи и приняли решение провести опытно-методические работы с исследованием данной среды для оценки ситуации в Осинском и Боханском районах Иркутской области в зоне проведения подземного ядерного взрыва "Рифт-3". Точки отбора накипи в населенных пунктах этого региона представлены на рис. 1.

Содержание изученных элементов в накипи подземных вод Томского региона приведено в табл. 2, а Иркутского региона – на рис. 2, 4, 5.

Анализ этих материалов по Западной Сибири показывает, что среди изученных населенных пунктов выделяется пос. Семеновка, где в накипи подземных вод обнаружены повышенные концентрации радиоактивных элементов (U – 5,7, Th – 2,2 мг/кг), тяжелых металлов: Co – 379,7, Ni – 2308, Cr – 102, As – 4,8 мг/кг, выявлено присутствие максимальных количеств редких (Ta, Hf) и редкоземельных (Ce, Sm, Eu, La, Tb, Yb, Lu) элементов (см. табл. 2). Кроме того, повышенные концентрации U (3,2 мг/кг) и Sb (2,4 мг/кг) отмечены в накипи на посуде в пос. Новониколаевка, а в пос. Комсомольск выявлены Co (158 мг/кг) и Ni (536 мг/кг). По величине отношения  $Th/U < 1$ , характеризующего урановую природу солевых отложений накипи,

выделены поселки Новониколаевка и Семеновка, по индикаторному отношению суммы легких лантаноидов (La + Ce) к сумме тяжелых (Yb + Lu) установлено, что наименьшая величина (11) характерна для солевых отложений пос. Семеновка, а наибольшая (68) – для пос. Бундюк (см. табл. 2).

По Л. П. Рихванову, Е. Г. Языкову и др. [10], высокие концентрации U в карбонатных солевых отложениях в эмалированной посуде поселков Семеновка и Новониколаевка сопоставимы с уровнями концентрации U в кальцитах из гидротермальных урановых месторождений в терригенно-карбонатно-сланцевой толще нижнего палеозоя (от 0,7 до 6,5 мг/кг, среднее 3 мг/кг) и в известняках нижнего кембрия (от 0,5 до 4 мг/кг, среднее 1,3 мг/кг) [11].

Повышенные содержания урана и редкоземельных элементов в накипи питьевых вод пос. Семеновка характеризуют естественную ассоциацию этих элементов в подземных водах, что, вероятно, обусловлено наличием в водовмещающем горизонте бурых углей с повышенным содержанием урана, редких и редкоземельных элементов. Оценка горизонта углей на содержание урана в 60-е гг. XX в. проведена томскими геологами. Вода в скважине питьевого водоснабжения пос. Семеновка вблизи горизонта бурых углей имеет повышенные концентрации урана (1,93 мг/л) по сравнению с природной.

На северо-востоке Томской области (поселки Комсомольск, Новониколаевка, Филимоновка, Семеновка) накипи подземных вод обогащены U, Th, Ta, Hf, редкими землями, Ba, Fe, Ni, Co и другими микроэлементами. На северо-западе области (поселки Коломинские Гривы, Бундюк) определены низкие значения U, La, Yb, Co в накипи. Эти различия могут быть обусловлены деятельностью промышленных предприятий Томска, в том числе ядерно-топливного цикла – СХК, где по розе ветров, ориентированных в северо-восточном направлении, наблюдается миграция элементов в подземные воды. Эти данные дополняются повышенным содержанием радиоактивных, редких и редкоземельных элементов и некоторых тяжелых металлов в твердом осадке снежного покрова поселков Миниевка, Новониколаевка, Филимоновка, расположенных в зоне

Среднее содержание химических элементов в накипи подземных вод сел на юге Томской области

Элемент	Новоникола- евка (5)	Филимонов- ка (3)	Комсо- мольск (5)	Семеновка (5)	Коломин- ские Гривы (5)	Бундюк (4)
Na, %	0,03	0,03	0,03	0,38	0,02	0,04
Ca, %	35,2	39,7	21,7	27,3	32,8	53
Fe, %	1,16	0,87	1,92	2,56	0,4	1,58
Ba, %	0,03	0,02	0,098	0,052	0,021	0,031
Sr, %	0,03	0,1	0,04	0,01	0,01	0,03
Cr, мг/кг	39,2	22	24,6	102	23	32
Sb, мг/кг	2,4	0,3	0,8	0,3	0,3	1
Co, мг/кг	80,1	1,2	15	379,7	1,5	3,6
Ni, мг/кг	125	149	536	2308	99	101
As, мг/кг	0,5	0,5	2,6	4,8	1,6	1,9
Rb, мг/кг	10	10	10	10	10	10
Cs, мг/кг	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Hf, мг/кг	0,8	0,6	0,6	4,2	0,6	0,6
Ta, мг/кг	0,2	0,2	0,4	2	0,2	0,2
Sc, мг/кг	1,46	0,23	0,8	5,64	0,48	0,4
Ce, мг/кг	2,6	2,6	3,4	11,2	1,5	4,8
La, мг/кг	0,8	0,4	0,9	8,9	0,4	0,6
Sm, мг/кг	0,38	0,17	0,27	3,1	0,17	0,24
Eu, мг/кг	0,4	0,4	0,4	2	0,4	0,4
Tb, мг/кг	0,09	0,09	0,09	0,11	0,09	0,09
Yb, мг/кг	0,15	0,11	0,05	1,4	0,08	0,05
Lu, мг/кг	0,05	0,01	0,02	0,48	0,01	0,03
Au, мг/кг	0,013	0,011	0,006	0,008	0,005	0,007
Ag, мг/кг	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
U, мг/кг	3,2	0,5	0,5	5,7	0,3	0,4
Th, мг/кг	0,5	0,5	0,8	2,2	0,5	0,5
Th/U	0,2	1	1,6	0,4	1,7	1,3
Ce/Eu	6,5	6,5	8,5	5,6	3,8	12
La+Ce/ Yb+Lu	17	25	61	11	21	68

воздействия СХК по направлению преобладающих ветров.

На юге Иркутской области в Осинском и Боханском районах в Ангарской лесостепи на правом берегу Братского водохранилища в пределах Ангаро-Ленского артезианского бассейна проведена предварительная оценка качества питьевых вод по анализу концентрации химических элементов в накипи при выпаривании воды. В геологическом строении регион представлен палеозойскими гипсово-соленосно-карбонатными, юрскими угленосными терригенными и кайнозойскими терригенными формациями, слагающими осадочный чехол юга Сибирской платформы. В зоне

подпора Братского водохранилища и в районе проведения подземного ядерного взрыва (ПЯВ) "Рифт-3" произошло нарушение палеозойских карбонатных пород с залежами гипсов и каменной соли, которые активно выщелачивались и усилили карстовые и оползневые процессы [11]. В артезианском бассейне вдоль зоны разломов земной коры глубинные напорные рассолы достигают поверхности в виде субаэральных родников или скрытых, выходящих на днище рек и озер очагов разгрузки. Они известны в Аларском, Нукутском, Осинском и Боханском районах по долинам рек Унги, Осы и на побережье Братского водохранилища.

Очаги разгрузки рассолов сильно ухудшают качество пресных грунтовых вод и усиливают экологическую напряженность. По данным П. В. Коваля [13], только 10 % проб удовлетворяют требования по 25 нормируемым параметрам. Остальные 90 % неблагоприятны для потребления по числу параметров от 2 до 7. Среди главных неблагоприятных параметров – суммарное содержание элементов 1-го и 2-го классов опасности – Mg, Fe, нитраты, сульфаты, высокая минерализация, жесткость (Ca + Mg) и величина рН. По микрокомпонентному составу (Hg, Pb, Cd, Sr, Ba) подземные воды Осинского района также выглядят неблагоприятно.

Подземный ядерный взрыв “Рифт-3” произведен 31 июля 1982 г. на территории Осинского района в долине р. Обусы вблизи (7–12 км) поселков Борохал и Горхон, в 20 км от залива Обуса Братского водохранилища. Взрыв мощностью 8–10 кт ТЭ на глубине 860 м сопровождался землетрясением 5 баллов. В г. Иркутске в 160 км от места взрыва сила землетрясения достигла 3 баллов. Взрыв произведен в зоне разлома закарстованных трещиноватых карбонатных пород кембрия, сопровождался разрывом сплошности геологических пластов, дроблением горных пород, прорывом глубинных напорных минерализованных вод в горизонт грунтовых питьевых вод, используемых населением, и образованием нескольких восходящих, быстро исчезнувших родников и мочажин [11].

Радиоэкологическая обстановка вокруг подземного ядерного взрыва (ПЯВ) “Рифт-3” изучалась в 2000–2004 гг. [13–17] в связи с ухудшением состояния здоровья населения Осинского района.

В результате исследований установлено, что современный радиационный фон вокруг места проведения взрыва по общепринятым депонирующим природным средам (почвы, растения, поверхностные водотоки, донные осадки, сельскохозяйственная продукция, дикоросы) не превышает региональный уровень ПДК. Содержание техногенных радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  в подземных и поверхностных водах не превышает безопасных уровней, а содержание  $^{137}\text{Cs}$  в донных осадках ручья Синта – правого притока р. Обусы, в эпицентре взрыва, колеблется в пре-

делах 1,9–12 Бк/кг (при региональном фоне 10 Бк/кг) [16].

Выявлены некоторые геохимические локальные аномалии, связанные с разгрузкой подземных вод [15]. Так, природные поверхностные воды Осинского района имеют повышенную минерализацию с увеличением ее в устьях рек Обусы и Осы. Минерализация подземных вод достигает 2258,2 мг/л, что в 2 раза превышает ПДК. В питьевых водах района выявлено накопление многих макро- и микроэлементов [12], связанных с карбонатными соле-, гипсо- и нефтегазоносными породами, распространенными в этом районе.

Обнаружены признаки истечения  $^{90}\text{Sr}$  из взрывной камеры по слабому накоплению (3,8–10,8 Бк/кг) в сухих остатках минерализованных вод из четырех скважин, ближайших к объекту “Рифт-3”. В поселках Борохал, Горхон, Обуса и в районном центре Оса определены повышенные концентрации (до 72 Бк/кг)  $^{137}\text{Cs}$  в почвах вокруг скважины “Рифт-3” и  $^{239,240}\text{Pu}$  – 2,4 Бк/кг, превышающие в 2 и 10 раз соответственно глобальный фон [13, 15]. В подземных водах из функционирующих скважин поселков Горхон, Ново-Ленино и Оса (6 проб) и мочажин вблизи скважины “Рифт-3”, питающихся за счет подтока вод по зонам тектонических нарушений и трещиноватости пород (3 пробы), выявлены наибольшие содержания трития в воде, а также около скважины, где был произведен ПЯВ “Рифт-3”.

Л. П. Рихвановым и Т. А. Архангельской, выполнившими методом осколочной радиографии изучение срезов сосны в 1 км западнее от места взрыва “Рифт-3”, определено максимальное накопление делящихся радионуклидов в годовых кольцах, формирующихся после 1982 г. Уровень накопления в 2,5 раза превысил фоновое значение 1945–1963 гг., что свидетельствует об истечении на поверхность земли радиоактивных инертных газов в результате подземного взрыва, и этот факт признан представителями Минатома (ВНИИПромтехнология), производившего взрыв “Рифт-3” 31 июля 1982 г.

Таким образом, проведенные радиоэкологические исследования свидетельствуют о том, что ПЯВ “Рифт-3” сопровождался по-

ступлением в окружающую среду ряда техногенных радионуклидов. Это подтверждают и данные по изучению цитогенетических показателей у жителей поселков, расположенных вблизи места взрыва, и оценка дозовой нагрузки на человека [13], с использованием гостилованного метода ЭПР-спектрометрии по эмали зубов.

Анализ концентрации химических элементов в накипи подземных вод Томской и Иркутской областей позволил выявить существенные различия (рис. 2). Содержание кальция в накипи вод Иркутской области колеблется от 24,4 до 64,95 % (в среднем 34 %). Высокое содержание кальция (58,44 и 64,95 %) в накипи посуды при выпаривании подземных вод поселков Тараса и Тихонов-

ка, вероятно, связано с карбонатными породами артезианского бассейна. Воды Иркутской области отличаются низким содержанием железа (0,006–0,207 %, среднее 0,07 %), отражающим природный фон подземных вод региона.

В накипи подземных вод населенных пунктов Иркутской области содержание Sr 2810–12851 мг/кг. Наибольшие концентрации Sr выявлены в накипи питьевых источников поселков Новая Ида –12851, Бохан – 11949 и Обуса – 10734 мг/кг, что свидетельствует о поступлении в водозабор глубинных артезианских вод.

Накипи подземных вод Иркутской области по сравнению с Томской отличаются повышенным фоновым содержанием U (5,9 мг/кг).

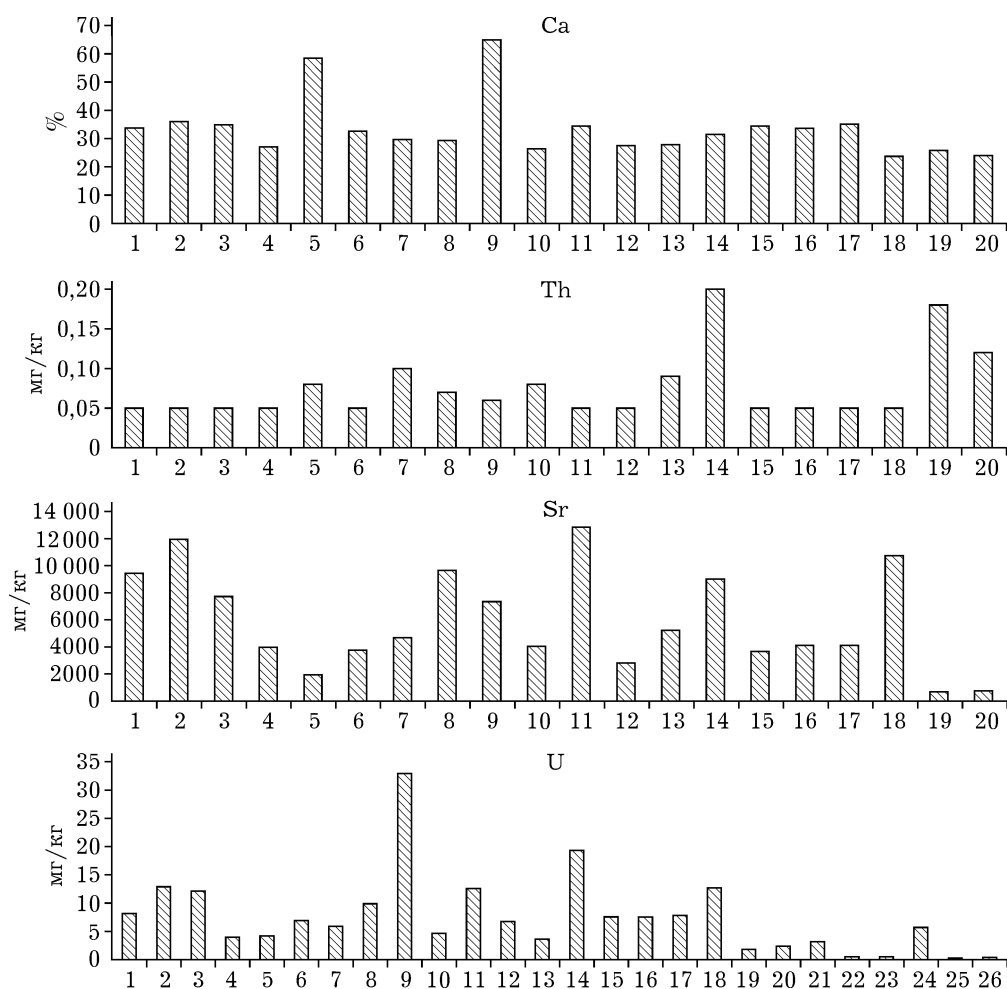


Рис. 2. Диаграммы распределения микроэлементов в сухих остатках проб (накипи) питьевых подземных вод на юге Иркутской и Томской областей. Здесь и на рис. 5 поселки Томской области: 21 – Новониколаевка; 22 – Филимоновка; 23 – Комсомольск; 24 – Семеновка; 25 – Коломинские Гривы; 26 – Бундюор

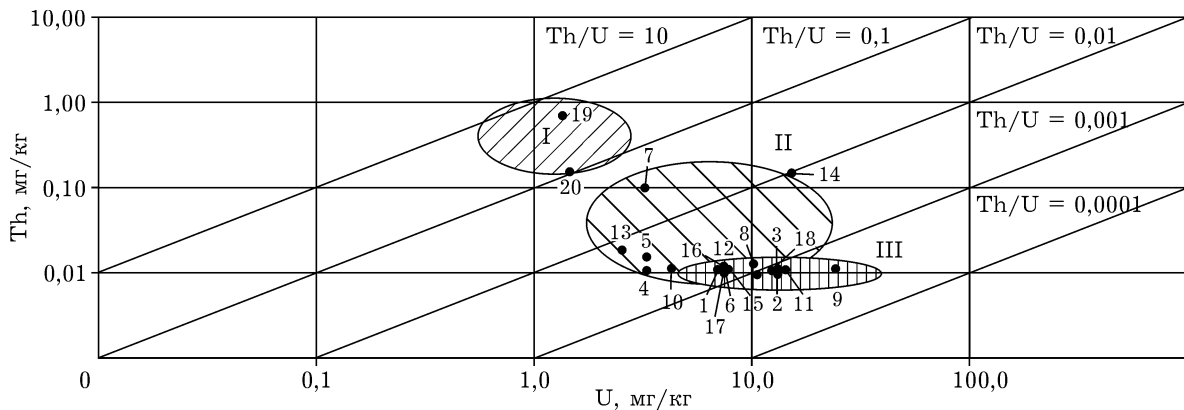


Рис. 3. Радиохимическая типизация населенных пунктов Осинского и Боханского районов по величине Th/U отношения в накипи. Радиохимические поля: I – Th/U 0,05–1,0; II – Th/U 0,01–0,03; III – Th/U 0,002–0,007. Цифры см. рис. 1

Выделяется ряд поселков с повышенными концентрациями U в накипях (см. рис. 2): Тихоновка – 32,91, Ново-Ленино, Обуса – 12,71, Новая Ида – 12,56, Бохан – 12,3 мг/кг. Фоновый уровень Th ниже предела обнаружения (<0,05). Выделяются аномальные содержания Th в поселках: Ново-Ленино – 0,20, Хохорск – 0,10, Заглик – 0,08 и Укыр – 0,07 мг/кг. Повышенные содержания U и Th выявлены в накипи речных вод Обусы в поселках Борохал – 1,83 и 0,18 мг/кг и Горхон – 2,47 и 0,12 мг/кг соответственно. Заметим, что повышенное содержание U в накипи речных вод Обусы примерно в 2,7 раза ниже фонового показателя в подземных водах районов.

Радиохимическая типизация накипи позволяет выделить три радиохимических поля с нарушенным соотношением радиоактивных элементов (рис. 3). Первая область характеризуется сравнительно высоким значением тория и низким содержанием урана при величине Th/U отношения в пределах 0,05–1,0 ед. Вторая область характеризует накипь, в которой обнаружены повышенное значение тория (наибольшее в поселках. Шунта – 0,10 мг/кг, Ново-Ленино – 0,20 мг/кг) и среднее значение урана с величиной Th/U 0,01–0,03. Третья область (Th/U отношение от 0,002–0,007 ед.) обусловлена повышенным содержанием урана (пос. Тихоновка – 32,91 мг/кг, микрорайон Северный пос. Бохан – 12,89 мг/кг) и низким содержанием тория (<0,05 мг/кг).

Комплексная аномалия химических элементов в накипи питьевых вод пос. Тихоновка ха-

рактеризуется наиболее высокими содержаниями Ca – 64,95 %; U – 32,9 (см. рис. 2.), La – 1,55, Ce – 4,8, Ba – 888 мг/кг (рис. 4), а также наибольшей величиной отношений Ce/Eu – 480, La + Ce/Yb + Lu – 90,7 (рис. 5).

Эта аномалия, вероятно, характеризует естественную ассоциацию элементов юрских угленосных пород с пластами углей. Необходимо уточнение природы этой аномалии, поскольку возможное смешивание грунтовых вод в пос. Обуса с поступающими по разлому глубинными минерализованными водами артезианского бассейна.

Интерес представляет комплексная аномалия в накипи подземных вод поселков Ново-Ленино и Обуса, для которой характерны повышенные концентрации U, Th, Ce, Sc, Br, Sr (см. рис. 2, 4). В накипи питьевых вод пос. Ново-Ленино выявлены аномально высокие для района содержания Co 3,24, Cr 11,4 и Ta 1,1 мг/кг, самое высокое отношение суммы легких (La + Ce) и тяжелых (Yb + Lu) лантаноидов (119,6 Ново-Ленино и 93 Обуса), Ce/Eu (500 Ново-Ленино и 420 Обуса) (см. рис. 5). Эти геохимические показатели накипи подземных питьевых вод сел могут отражать природу поступающих минерализованных вод, распространенных в гипсово-соленосно-карбонатных породах, подверженных радиоактивному загрязнению от подземного ядерного взрыва. Высокие содержания Ta (1,1 мг/кг), Hf (0,56 мг/кг), Th (0,20 мг/кг) и легких лантаноидов – La 1,22 и Ce 5 мг/кг, возможно, связаны с проявлениями редкометалльных россыпей.



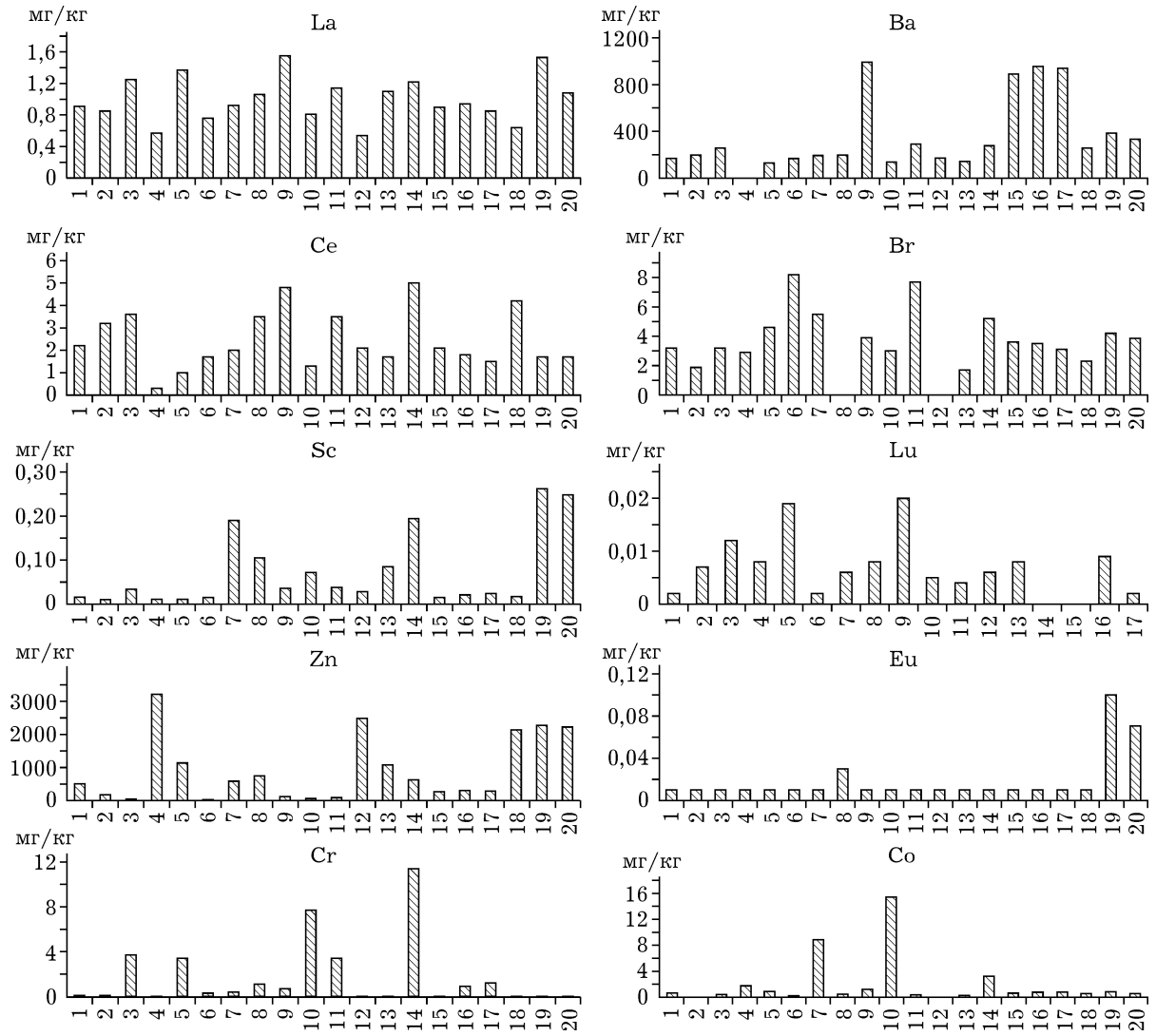


Рис. 4. Диаграммы распределения микроэлементов в накипи питьевых вод Боханского и Осинского районов

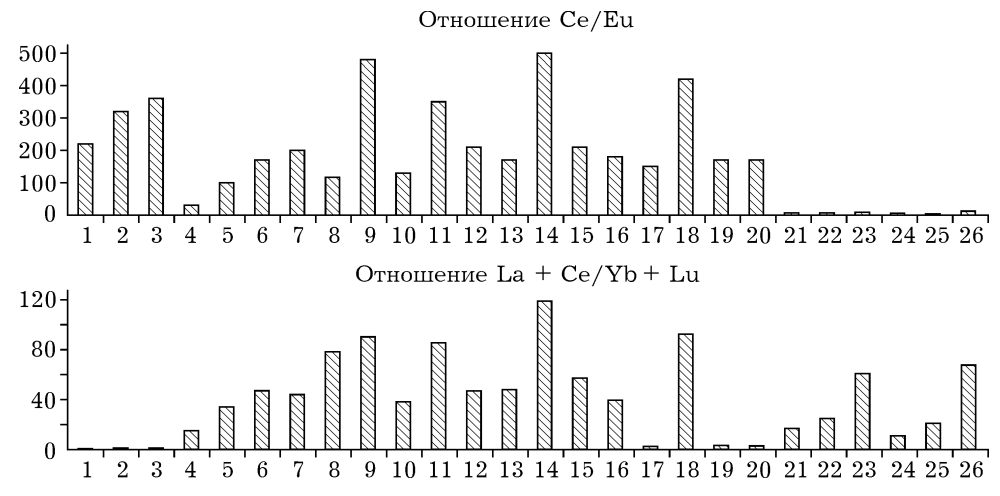


Рис. 5. Диаграммы отношения суммы легких лантаноидов к сумме тяжелых в сухих остатках накипи подземных вод Иркутской и Томской областей

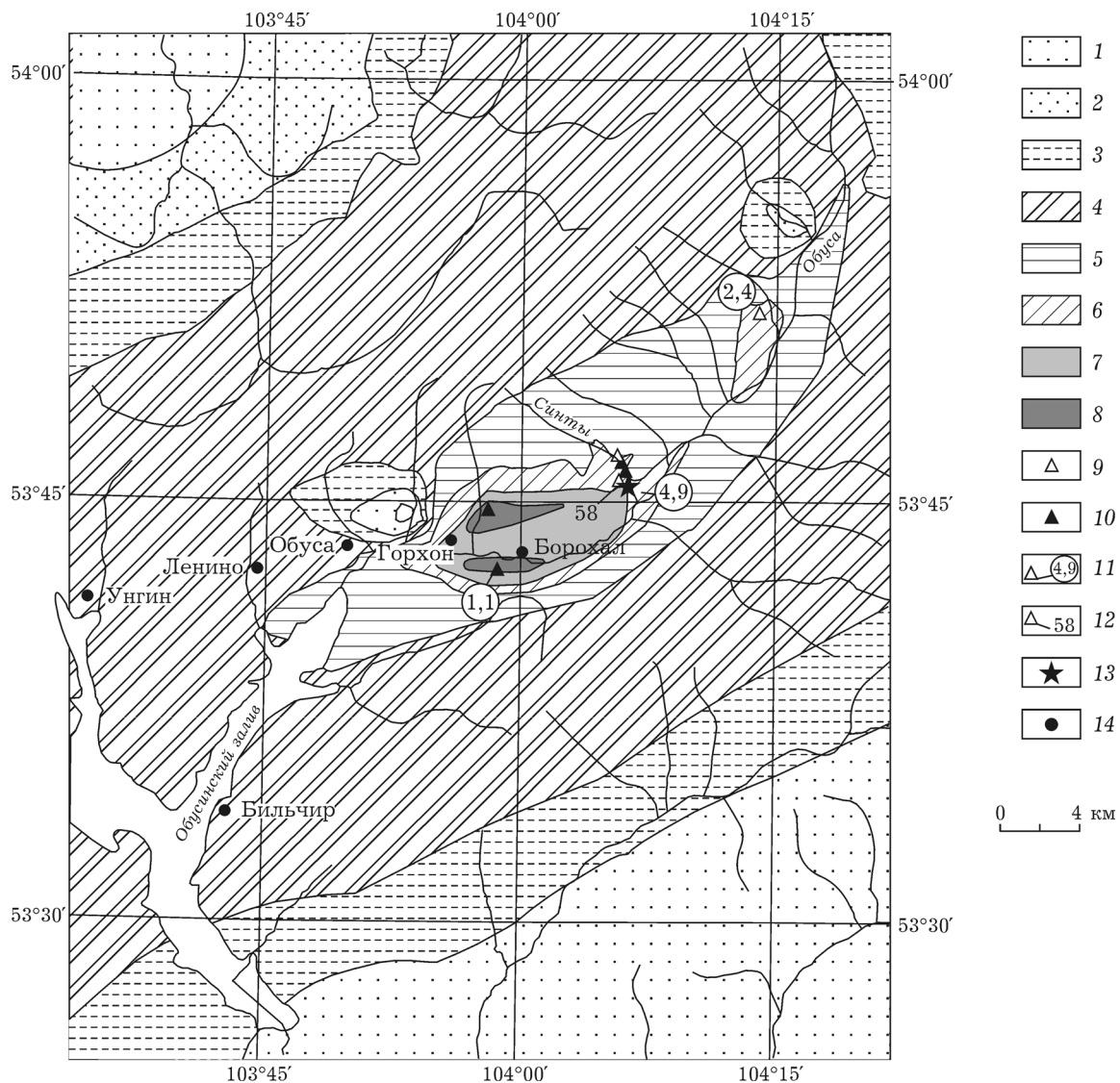


Рис. 6. Схема радиационного загрязнения окрестностей объекта “Рифт-3” по В. И. Медведеву, Л. Г. Коршунову, В. В. Коваленко и др. (2005 г.): 1–8 – плотность осадка  $^{137}\text{Cs}$ , мКи/км<sup>2</sup>: 1 – 0–20, 2 – 20–40, 3 – 40–50, 4 – 50–60, 5 – 60–70, 6 – 70–80, 7 – 80–90, 8 – более 90; 9, 10 – пункты наблюдения с плотностью осадка  $^{137}\text{Cs}$ , мКи/км<sup>2</sup>: 9 – 80–90, 10 – более 90; 11 – пункты отбора проб на Pu и его содержание, Бк/кг; 12 – пункт опробования на  $^{90}\text{Sr}$  и плотность осадка  $^{90}\text{Sr}$ , мКи/км<sup>2</sup>; 13 – объект “Рифт-3”; 14 – населенные пункты.

Непосредственно вблизи ПЯВ “Рифт-3” в накипи речных вод Обусы в поселках Борохал и Горхон выявлена комплексная аномалия, представленная аномальными концентрациями U – 1,83 и 237 мкг/кг соответственно, повышенными – Th (0,18 и 0,12 мкг/кг), Sm (0,17 и 0,07), Lu (0,19 и 0,01), La (1,53 и 1,08), Eu (0,1 и 0,07), высокими – Sc (0,262 и 0,248 мкг/кг), Zn (2272 и 2223 мкг/кг) и низким содержанием Sr (667 и 744 мкг/кг) (см. рис. 4).

Обращает на себя внимание увеличение концентрации многих редких земель (La, Sm, Eu, Lu) по мере приближения от поселков Горхон, Борохал к месту проведения ПЯВ “Рифт-3”.

Величина отношения  $\text{Th}/\text{U} < 1$  характеризует урановую природу солевых образований в поселках Борохал, Горхон (0,01 и 0,05) и в других селах районов (0,006–0,02). По индикаторному отношению суммы легких лантаноидов (La + Ce) к сумме тяже-

лых (Yb + Lu) выявлено (см. рис. 5), что наименьшее отношение лантаноидов в накипи посуды пос. Бохан и микрорайонах Северный и Южный, а наибольшее (119,6, 93 и 90,7) – в поселках Ново-Ленино, Обуса и Тихоновка соответственно. Понижены отношения Ce/Eu (170) в накипи посуды поселков Борохал и Горхон. Эта аномалия ураново-редкоземельной ассоциации может отражать техногенную транспортировку вод из зоны ПЯВ.

Наши данные хорошо дополняют ранее выявленные [13–17] признаки истечения техногенных радионуклидов из взрывной камеры ПЯВ “Рифт-3” (рис. 6), а также подобные загрязнения в Томской области и в других регионах [3–5].

Предварительные данные свидетельствуют о том, что питьевые воды р. Обусы связаны с глубинными подземными водами вдоль разлома от места ПЯВ, где произошел выброс техногенных радионуклидов. Техногенные радионуклиды из взрывной камеры, по видимому, продолжают поступать по разлому в подземные воды долины р. Обуса и оттуда в речные, которые используют жители указанных поселков.

Для ответа на вопрос о степени техногенного воздействия ПЯВ на природные среды следует провести более обстоятельные исследования.

Необходимо провести радиационный мониторинг и дополнительное изучение накипи питьевых вод бассейна Обусы и Осы в радиусе 40–60 км вокруг ПЯВ “Рифт-3”, включая бассейн р. Иды Боханского района, а также донных отложений. В этих районах подземные воды с высокой минерализацией связаны с гипсово-соленосно-карбонатными и нефтегазаносными породами нижнего палеозоя и угленосными породами юры, где возможно выявление естественных аномальных полей радиоактивных элементов. Подземные воды являются единственными источниками питьевого водоснабжения населения Осинского, Боханского и других районов Ангарской лесостепи, где после строительства Братского водохранилища и воздействия ядерных взрывов сильно ухудшилась экологическая обстановка, в том числе произошло радиоактивное загрязнение питьевых вод. В обязательном порядке необходимо оценить

уровень накопления  $\alpha$ -излучающих компонентов в природной среде (Pu, Am и др.).

Для выявления природы многих радиоактивных и редкоземельных аномалий в бассейнах рек Осы и Иды необходимы дополнительные исследования химического состава подземных и речных вод с учетом геологических, гидрогеохимических условий и особенностей эксплуатации скважин водоснабжения.

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Сравнительный анализ качества питьевых вод по геохимической специализации накипи подземных вод юга Томской и Иркутской областей позволил определить уровни концентрации ряда тяжелых металлов, в том числе радиоактивных и редкоземельных элементов. Накипи подземных вод Осинского и Боханского районов отличаются повышенным фоновым содержанием и высококонтрастными аномалиями урана и редкоземельных элементов, характеризующих естественную природу минерализованных вод артезианского бассейна в нижнепалеозойских гипсово-соленосно-карбонатных породах и водах верхнего яруса угленосных терригенных отложений юры.

2. Выявлены новые геохимические признаки возможного накопления радиоактивных элементов в накипи подземных и речных вод долины р. Обусы от источника ПЯВ “Рифт-3”. Повышенные уровни содержания U, редких и редкоземельных элементов в накипи питьевых вод р. Обусы в районе поселков Борохал и Горхон могут свидетельствовать о связи этих вод с подземными водами эпицентральной зоны ядерного взрыва, загрязненными техногенными радионуклидами. Важно то, что эти данные хорошо дополняют ранее обнаруженное влияние подземного ядерного взрыва на окружающую среду и здоровье местного населения [13 и др.].

3. Рекомендуется провести радиоэкологический мониторинг качества питьевых вод р. Обусы и оценить дозовые нагрузки на население с использованием методов биодозиметрии и биотестирования человека (волосы, кровь, зубы) в поселках Борохал, Горхон, Обуса, Ново-Ленино и на ферме Хандагай, а также в бассейнах рек Осы и Иды. Необхо-

димось первоочередной дополнительной оценки качества питьевых вод р. Обусы в поселках Борохал и Горхон определяется загрязнением их техногенными радионуклидами ПЯВ “Рифт-3”. Необходимо найти новые источники водоснабжения населения поселков Борохал и Горхон.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Саев Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. Н. Геохимия окружающей среды. М., 1990, 336 с.
2. Алексеев В. А. Экологическая геохимия. М., 2000. 627 с.
3. Рихванов Л. П., Язиков Е. Г., Сухих Ю. И., Барановская Н. В., Волков В. Г., Волкова Н. Н., Архангельский В. В., Архангельская Т. А., Денисова О. А., Шатилов А. Ю., Янкович Е. П. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения. М., 2006. 216 с.
4. Рихванов Л. П., Язиков Е. Г., Барановская Н. В., Янкович Е. П. Способ определения участков загрязнения ураном окружающей среды: Патент на изобретение № 2298212. Зарегистрирован 27.04.07.
5. Индикаторная роль солевых образований в воде при геохимическом мониторинге // Изв. вузов. Геология и разведка. 2004. № 1. С. 67–69.
6. Глазовская М. А. Геохимия природных техногенных ландшафтов. М., 1988. 328 с.
7. Ковалевский А. Л. Биохимические поиски рудных месторождений. М., 1984. 171 с.
8. Перельман А. И., Касимов Н. О. Геохимия ландшафта. М., 1999. 768 с.
9. Язиков Е. Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири. Томск, 2006. 47 с.
10. Рихванов Л. П., Язиков Е. Г., Сарнаев С. И. Уран и торий в карбонатных минералах // Изв. вузов. Геология и разведка. 1986. № 8. С. 34–38.
11. Язиков Е. Г., Рихванов Л. П., Барановская Н. В. Индикаторная роль солевых образований в воде при геохимическом мониторинге // Там же. 2004. № 1. С. 67–69.
12. Пиннекер Е. В., Шенькман Б. М. Техногенное изменение гидрогеохимической обстановки в Ангаро-Ленском артезианском бассейне // Геоэкология: инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 1995. № 1. С. 110–122.
13. Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека (Томск, 18–22 окт. 2004 г.): материалы II Междунар. конф. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 2004. С. 436–439.
14. Белоголова Г. А., Зарипов Р. Х. Экогеохимия окружающей среды в зоне подземного ядерного взрыва. М., 2000. 158 с.
15. Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека (Томск, 18–22 окт. 2004 г.): материалы II Междунар. конф. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 2004. С. 371–375.
16. Радиоэкологическая обстановка объекта повышенной радиационной опасности ПЯВ “Рифт-3” в Осинском районе // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири: труды Всерос. конф. Томск: ДАТА, 2003. 479 с.
17. Медведев В. И., Коршунов Л. Г., Коваленко В. В., Маторова Н. И., Карчевский А. Н., Осипова Л. П., Богданов В. А. Радиационное воздействие подземного ядерного взрыва шифр “Рифт-3” на территорию и население Осинского района Иркутской области // Сиб. экол. журн. 2005. Т. XII, № 6. С. 1073–1078.

## Geochemical Specialization of Sediments (Scums) of Water Sources by the Example of Two Locales of Siberia

A. E. TAPKHAeva, T. T. TAISAEV, L. P. RIKHVANOV, E. G. JAZIKOV,  
N. B. BARANOVSKAYA

*Buryat State University  
670000, Ulan-Ude, Smolin str., 24a  
E-mail: Bair147@list.ru*

*\*Tomsk Polytechnical University  
634050, Tomsk, Lenin ave., 30*

Results of the accumulation of chemical elements in scum formed by evaporation of underground water used by the population of the Irkutsk and Tomsk Regions for water supply are presented in the paper. The levels of accumulation of heavy metals, including rare earth and radioactive ones, in the dry residues of scum are established.

**Key words:** indicators of pollution, radioactive elements, heavy metals, pollution of drinking water, migration of chemical elements, geochemistry of radioactive elements.