

- N. Hartlieb et al. // *Waste Manag Res.* – 2005. – [Vol.] 23. – P. 328–337.
4. Allen G.C., Griffiths A.J. *Vibrational spectroscopy of alkaline-earth metal uranate compounds* // *Journal of the Chemical Society. Dalton Transactions.* – 1979. – [Vol.] 2. – P. 315–319.
  5. Atkins M., Beckley A.N., Glasser F.P. *Influence of cement on the near field environment and its specific interactions with uranium and iodine* // *Radiochimica Acta.* – 1988. – [Vol.] 44/45. – P. 255–261.
  6. Duro L., Bruno J. *Natural analogues of nuclear waste repositories: studies and their implications for the development of radionuclide migration models* // *Radionuclide Behaviour in the Natural Environment: Science, Implications and Lessons for the Nuclear Industry.* – Cambridge: Woodhead Publishing, 2012. – P. 411–445.
  7. Fuketa T. *Study on the solid state chemistry of ternary uranium oxides* // JAERI 1310 report. Japan Atomic Energy Research Institute. – 1988. – 84 p.
  8. *Aqueous–solid solution thermodynamic model of U(VI) uptake in C–S–H phases* / X. Gaona, D.A. Kulik, N. Mace et al. // *Applied Geochemistry.* – 2012. – [Vol.] 27. – P. 81–95.
  9. Holc J., Golic L. *The synthesis and crystal structure of  $\alpha$ - $\text{Ca}_3\text{UO}_6$*  // *Journal of Solid State Chemistry.* – 1983. – [Vol.] 48. – P. 396–400.
  10. Khoury H., Sokol E., Clark I. *Calcium uranium oxides from Central Jordan: mineral assemblages, chemistry, and alteration products* // *Can. Mineral.* – 2015. – [Vol.] 53(1). – P. 61–82.
  11. *Intermediate members of the lime-monteponite solid solutions ( $\text{Ca}_{1-x}\text{Cd}_x\text{O}$ ,  $x = 0,36\text{--}0,55$ ): Discovery in natural occurrence* / H. Khoury, E. Sokol, S. Kokh et al. // *American Mineralogist.* – 2016. – [Vol.] 101. – P. 146–161.
  12. *Synthesis, structures, physicochemical properties, and crystal-chemical systematics of  $\text{M}^{\text{II}}_2\text{A}^{\text{II}}\text{UO}_6$  ( $\text{M}^{\text{II}} = \text{Pb, Ba, Sr}$ ;  $\text{A}^{\text{II}} = \text{Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb}$ ) compounds* // A.V. Knyazev, N.G. Chernorukov, Z.S. Dashkina et al. // *Russian Journal of Inorganic Chemistry.* – 2011. – [Vol.] 56. – P. 888–898.
  13. *Transmission Electron Microscopic Study of Reduced  $\text{Ca}_2\text{UO}_5$*  / A. Krazevec, A. Pradon, J. Holc et al. // *Journal of Solid State Chemistry.* – 1983. – [Vol.] 48. – P. 300–305.
  14. *Structural chemistry of inorganic actinide compounds* / ed. by S.V. Krivovichev, P.C. Burns, I.G. Tananaev. – Elsevier: Amsterdam, 2006. – 504 p.
  15. *Geological Disposal of Radioactive Wastes and Natural Analogues. Waste Management Series* / W.M. Miller, W.R. Alexander, N.A. Chapman et al. – 2000. – Vol. 2.
  16. Read C.M., Bugaris D.E., zur Loye H.-C. *Single crystal growth and structural characterization of four complex uranium oxides:  $\text{CaUO}_4$ ,  $\beta\text{-Ca}_3\text{UO}_6$ ,  $\text{K}_4\text{CaU}_3\text{O}_{12}$ , and  $\text{K}_4\text{SrU}_3\text{O}_{12}$*  // *Solid State Sciences.* – 2013. – [Vol.] 17. – P. 40–45.
  17. *Propagation of high-alkaline fluids in an argillaceous formation: case study of the Khushaym Matrjuk natural analogue (Central Jordan)* / I. Techer, H. Khoury, E. Salameh et al. // *Journal of Geochemical Exploration.* – 2006. – [Vol.] 90. – P. 53–67.

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ (ТН, U) В СОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПРИРОДНЫХ ПРЕСНЫХ ВОД

Б.Р. Соктоев, Л.П. Рихванов, Ш.Ж. Арынова, Н.В. Барановская

Томский политехнический университет, Томск, Россия, bulatsoktoev@gmail.com

## NATURAL RADIOACTIVE ELEMENTS (TH, U) IN FRESH WATER SALT SEDIMENTS

B.R. Soktoev, L.P. Rikhvanov, S.Z. Arynova, N.V. Baranovskaya

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

The article is a summary and review of data on Th and U content in salt deposits of natural fresh water in South Siberia, the Urals and Kazakhstan. It is shown that the distribution of natural radioactive elements is uneven due to the influence of natural and anthropogenic factors.

### Постановка проблемы

Геохимия естественных радиоактивных элементов (Th, U) привлекает внимание с момента открытия явления радиоактивности А. Беккерелем в 1896 году. “Всюдность” (по В.И. Вернадскому) радиоактивных элементов позволяет использовать их как трассеры и индикаторы. Изначально, такое применение Th и U наблюдалось, прежде всего, в геологии [1, 11, 16, 26 и др.], однако с развитием экологической составляющей научных исследований, уровни накопления и соотношения радиоактивных элементов стали применяться в эколого-геохимических работах [10, 12 и др.].

Вопросы эколого-геохимической оценки состояния территорий, начиная от девственных, не затронутых антропогенной деятельностью, до районов, подвергающихся интенсивной техногенной нагрузке, в настоящее время привлекают все больше и больше внимания. При оценке состояния, как правило, используются различные компоненты природной среды и организма человека: почвенный покров, природные воды, снежный покров, донные отложения, кровь, моча, волосы, ногти. Нами предложено в качестве индикаторной среды использовать солевые отложения (накипь), которые образуются в нагревательных приборах в процессе много-

кратного кипячения и остывания воды, используемой, в основном, в питьевых целях. Исследования показывают [8, 19, 23–25, 27], что подобные образования могут с высокой долей вероятности характеризовать качество употребляемых вод на протяжении длительного времени. Актуальность исследований также определяется малой изученностью объекта с точки зрения элементного состава как для целей экогеохимии, так и для прогнозно-металлогенических целей.

В данной статье мы приводим обобщающие данные по содержанию Th и U в накипи природных пресных вод, отобранных на территории Южной Сибири, Урала, Казахстана, которые характеризуются различным геологическим строением и уровнем антропогенной нагрузки.

### Материалы и методы

В основу статьи положены результаты изучения элементного состава солевых отложений природных пресных вод на территории Южной Сибири (Иркутская, Кемеровская, Томская области, Республики Алтай, Бурятия), Урала (Челябинская область), Казахстана (Павлодарская область). Общее количество проб составило 746. Отбор проб и их подготовка регламентировались рекомендациями, изложенными в патенте [21], а также требованиями к аналитическим исследованиям. Элементный состав определялся с использованием инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS).

ИНАА проводился на исследовательском реакторе ИРТ-Т в ядерно-геохимической лаборатории (ЯГЛ) кафедры ГЭГХ ТПУ (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.518623 от 10.10.2011 г., аналитики – с.н.с. А.Ф. Судыко, Л.Ф. Богутская). Плотность потока тепловых нейтронов в канале облучения составляла  $2 \cdot 10^{13}$  нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ . Продолжительность облучения проб 20 ч. Измерение производилось на многоканальном анализаторе импульсов АМА 02Ф с полупроводниковым Ge-Li детектором ДГДК-63А. Определялось содержание 27 химических элементов, в том числе Th и U. Для данного метода анализа пробу высушивали при комнатной температуре, истирали в агатовой ступке до состояния пыли и упаковывали в пакетики из алюминиевой фольги по 100 мг.

Анализ методом ICP-MS проводился в ООО “Химико-аналитический центр “Плазма” (г. Томск, аттестат аккредитации № РОСС.RU.0001.516895 от 25.03.2014 г., директор – Н.В. Федюнина). Образцы накипи подвергались кислотному вскрытию с последующим масс-спектральным образованием. Измерения проводились на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой ELAN модель DRC-e. Данным методом анализа были определены содержания 69 химических элементов, включая Th и U.

Накопление и обработка аналитических данных проводились на персональном компьютере с использованием программ Statistica 6,0 и Microsoft Excel. Выборки создавались по регионам в целом, районам и населенным пунктам, по исследуемым территориям в отдель-

ности. При статистической обработке данных определялись: среднее значение, стандартная ошибка, медиана, мода, стандартное отклонение, дисперсия, минимальное и максимальные значения, коэффициент вариации, асимметрия, эксцесс и их стандартные ошибки. Также проводилась проверка на нормальность распределения химических элементов в выборке тестами Колмогорова–Смирнова и Хи-квадрат. При расчете средних содержаний химических элементов из общей выборки убирались “ураганные пробы”, но в разбросах частных значений они показаны.

Для выявления геохимической специализации рассчитывались коэффициенты концентрации (КК) относительно содержания химических элементов в образце накипи из воды оз. Байкал, полученной авторами (содержание Th – 0,384 мг/кг, U – 4,51 мг/кг).

### Результаты и их обсуждение

Полученные данные позволяют говорить о неравномерном распределении тория и урана в солевых отложениях природных пресных вод на изученных территориях (табл. 1, рис. 1). Рассчитанное среднее содержание составило для Th – 0,16 мг/кг; для U – 17,7 мг/кг, что сильно разнится по сравнению с кларком для осадочных карбонатных пород: Th – 4,3 мг/кг, U – 2,2 мг/кг [3]. При этом необходимо отметить широкий разброс минимальных и максимальных значений: от 0,001 до 7,5 мг/кг – для Th; от 0,01 до 479,1 мг/кг – для U. Территориально максимальные концентрации Th приурочены к Томской области, U – к Павлодарской области и Байкальскому региону, что будет в дальнейшем обсуждаться.

Сравнение с природными карбонатными образованиями (травертинами, жильные кальциты) показывает, что накипь характеризуется более высокими показателями концентрации U. Вследствие невысоких (до 5,5 мг/кг) содержаний U, показатель Th/U отношения в природных образцах выше на 1–2 порядка, достигая единицы в жильных кальцитах Алтае-Саянской складчатой области [13, 14].

Значение Th/U отношения для всей выборки составляет 0,009 (табл. 1), что указывает, в целом, на урановую природу данных образований. При этом разброс значений составляет пять порядков (рис. 1). Подобная характеристика обусловлена, прежде всего, особенностями геохимии и миграции Th и U в водных растворах. Известно, что U по сравнению с Th является гораздо более “мобильным” из-за переменной валентности: преобладающей формой нахождения U в природных водах является уранил-ион ( $\text{UO}_2^{2+}$ ), который в случае низкоминерализованных вод, используемых для питьевого водоснабжения, связывается с карбонатными комплексами [5].

В целом, распределение обоих химических элементов имеет логнормальный характер.

Согласно ранним исследованиям [8, 24, 25] и нашим данным, вариации элементного состава солевых отложений природных пресных вод, в отсутствие антропогенных источников воздействия, как правило, зависят от особенностей геологического строения и металлогении территории. Таким образом, основными естественными

Таблица 1. Среднее содержание Th, U и показатель Th/U отношения в накипи природных пресных вод изученных регионов\*

№ п/п	Район исследования	Th, мг/кг	U, мг/кг	Th/U
1	Павлодарская область (169)**	0,09±0,006/0,001..4,9	27,4±1,5/0,01..479,1	0,003
2	Томская область (324)**, в том числе:	0,1±0,01/0,003..7,5	1,9±0,2/0,02..66,4	0,05
2.1	Томск-Северская промышленная агломерация (34)**	0,12±0,07/0,01..2,2	0,68±0,23/0,06..5	0,18
3	Байкальский регион (179)**, в том числе:	0,16±0,03/0,001..4,016	21,1±2,9/0,05..327,58	0,008
3.1	зона влияния подземного ядерного взрыва "Рифт-3" (24)**	0,1±0,02/0,02..0,35	11,2±1,4/1,8..22,5	0,009
3.2	зона влияния хвостохранилищ Джидинского W-Мо комбината (6)**	0,07±0,02/0,011..0,16	7,5±1,2/3,6..10,9	0,009
4	Республика Алтай (49)**	0,1±0,02/0,006..0,646	10,7±1,2/0,46..48,15	0,009
5	Челябинская область, зона НПО "Маяк" (15)**	0,13±0,02/0,1..0,3	26,0±4,8/2,7..67,6	0,005
6	Кемеровская область, зона влияния Комсомольского и Урского хвостохранилищ (10)***	0,19±0,01/0,1..0,2	3,9±0,8/0,38..7,1	0,05
	Среднее по всей выборке:	0,16±0,01/0,001..7,5	17,7±1,3/0,01..479,1	0,009

Примечание: \* – использованы данные по [2, 7, 15, 17]; \*\* – содержание по данным ИНАА; \*\*\* – содержание по данным ICP-MS; числитель – среднее ± арифметическая ошибка; знаменатель – минимальное и максимальное значение; в скобках указано количество проб, принятых для расчета средних значений.

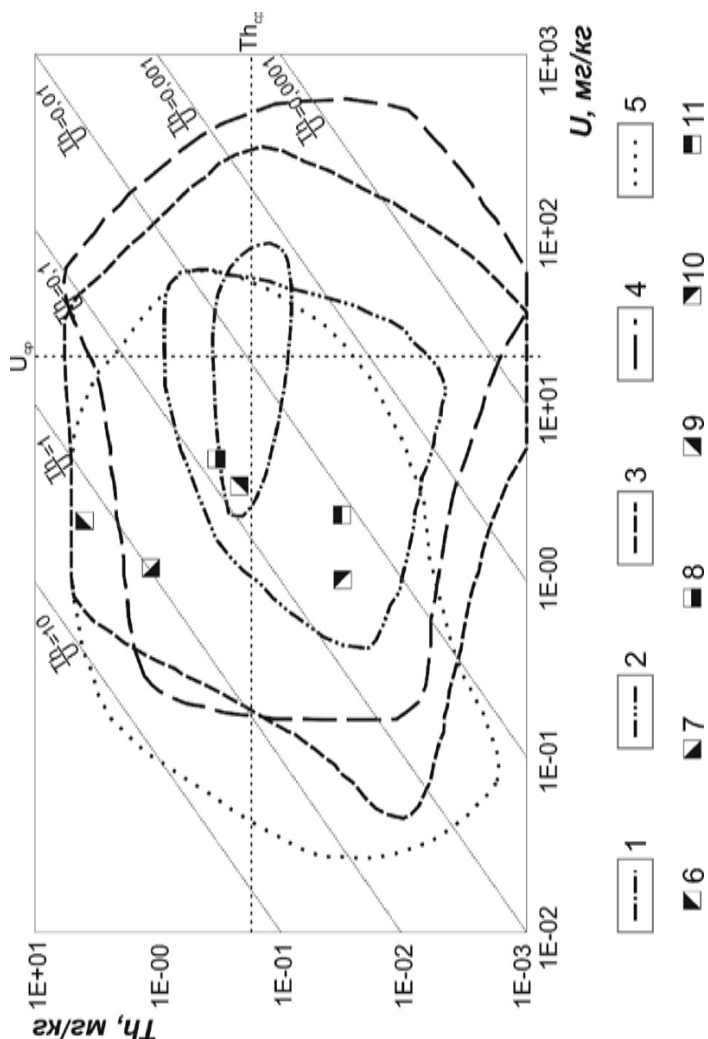


Рис. 1. Радиогеохимическая типизация солевых отложений природных пресных вод: 1 – Челябинская область; 2 – Республика Алтай; 3 – Байкальский регион; 4 – Павлодарская область; 5 – Томская область; 6 – кларк осадочных карбонатных пород (по [3]); 7 – кальциты Алтае-Саянской складчатой области (по [13, 14]); 8 – накипь из вод оз. Байкал; 9 – травертин (скв. Г-1, с. Жемчуг, Республика Бурятия); 10 – травертин (Памуккале, Турция); 11 – травертин (Таловские чаши, Томская область); U<sub>ср</sub> – среднее содержание урана по всей выборке (17,7 мг/кг); Th<sub>ср</sub> – среднее содержание тория по всей выборке (0,16 мг/кг)

ми факторами, влияющими на накопление радиоактивных элементов в накипи, являются геохимически специализированные комплексы горных пород, рудопроявления и месторождения.

В редких случаях в районах размещения предприятий ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) или местах проведения подземных ядерных взрывов (ПЯВ) могут присутствовать техногенные источники радиоактивных элементов, но однозначное доказательство этого факта требует изучения изотопных отношений урана.

Отражение геохимии водовмещающих пород, различных по литофациям и возрасту можно рассмотреть на примере проб солевых отложений природных пресных вод, отобранных на территории Республики Алтай. Максимальные концентрации Th и U (в 3 раза выше среднего по региону) среди изученных водовмещающих пород приурочены к глинистым породам крупных межгорных впадин. Для разновозрастных водовмещающих геологических формаций также наблюдается радиогеохимическая специализация: высокие содержания Th и U установлены в накипи артезианских вод, залегающих среди неогеновых песчано-глинистых отложений Чуйской впадины. Урановая специализация выявлена для солевых отложений, формирующихся из вод, приуроченных к салическим вулканитам девонского возраста [15].

Влияние радиогеохимически специализированных комплексов горных пород хорошо видно при изучении проб накипи, попадающих в зону развития кор выветривания гранитоидов Ангаро-Витимского батолита, обогащенного данными компонентами ( $U > 10$  г/т,  $Th > 30$  г/т). Для образцов из Баргузинской котловины характерно повышенное содержание как Th, так и U. В данном случае, по нашему мнению, возможно наложение процессов выветривания, а также процессов, сопутствующих рифтогенезу [18]. В другой рифтогенной впадине – Тункинской – нет такой яркой проявленности, хотя и здесь нами встречен радиогеохимический феномен: на выходе скважины Г-1 формируются травертиновые отложения с нарушенным радиоактивным равновесием в сторону Ra и продуктов его распада, а также продуктов распада Th [20].

В этом же Байкальском регионе нами выявлены аномалии по U, по нашему мнению, напрямую связаны с металлогеническими особенностями территории: в пределах Боргойской впадины и пригорода г. Улан-Удэ фиксировались аномальные концентрации U, превышающие фоновые в 5–20 раз [18]. Причина такой радиогеохимической специализации заключается в том, что территория, примыкающая к долине р. Селенги, расположена в пределах Селенгинского потенциально урановорудного района [6]. Также к территории пригорода г. Улан-Удэ с юго-востока пространственно тяготеют субщелочные граниты витимканского комплекса, которые находят на Цаган-Дабанской площади, перспективной на выявление U-Mo минерализации: здесь известно Брянское месторождение Mo и ряд рудопроявлений 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 [9]. По нашему мнению, питьевое водоснабжение местного населения ведется из водоносных горизонтов, контактирующих с урановыми объектами.

Эти данные по содержанию U позволяют говорить о возможности использования элементного состава солевых отложений, образующихся при кипячении воды, как косвенного признака для целей металлогенического прогнозирования. Данные по Томской [7] и Павлодарской [2] областям подтверждают это. На территории Томской области выявлены районы с повышенными содержаниями Th, пространственно тяготеющие к зонам развития циркон-ильменитовых песков туганского типа [22]. Также в восточной и центральной частях Томской области районы с повышенными содержаниями U в накипи приурочены к потенциально ураноносной зоне, выделяемой по геолого-геофизическим признакам [4].

Обращает также на себя внимание накипь природных пресных вод из Павлодарской области, которая характеризуется максимальными средними частными значениями концентрации U. При этом выявляются пространственно локализованные участки и зоны: это позволяет с высокой долей вероятности утверждать, что территория перспективна на выявление урановых и комплексных редкометальных месторождений [2].

В то же время, в районах с сильной антропогенной нагрузкой, на природные факторы формирования элементного состава накипи природных пресных вод накладываются техногенные факторы, что не исключается и для Th и U. Нами изучены территории с разнопрофильной промышленной специализацией (объекты ЯТЦ, горнорудные предприятия). Полученные данные показывают, что даже в районах с отсутствием специализированных на радиоактивные элементы производств происходит, прежде всего, нарушение Th/U отношения, например, в районе Комсомольского и Урского хвостохранилищ (табл. 1). В районах функционирования предприятий и объектов ЯТЦ (ПЯВ “Рифт-3”, НПО “Маяк”, Сибирский химический комбинат) происходит также увеличение показателя Th/U отношения (табл. 1).

Установленная нами положительная корреляционная связь между содержанием U в воде и образующихся из них солевых отложениях [7, 17] показывает, что в ряде случаев концентрация U в воде превышает санитарно-гигиенические нормативы (32 мкг/л в США, 15 мкг/л в России). Такие данные, вероятнее всего, будут обуславливать высокую степень заболеваемости ряда органов и систем человека (почки и др.).

## Заключение

Таким образом, имеющиеся данные позволяют говорить о неравномерном распределении радиоактивных элементов в солевых отложениях природных пресных вод на изученных территориях. Формирование радиогеохимической специализации данных образований связано с влиянием факторов природно-техногенного характера. Вариации содержания радиоактивных элементов в накипи позволяют использовать их в качестве косвенного поискового критерия, в частности, на U. Нарушение показателя Th/U является индикаторным в ан-

тропогенно нагруженных районах, особенно, в зонах функционирования объектов ЯТЦ.

Работы на территории Кемеровской области выполнены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 15-17-10011).

#### Литература

- Арбузов С.И., Рихванов Л.П. Геохимия радиоактивных элементов. – 2-е изд. – Томск : Изд-во ТПУ, 2010. – 300 с.
- Арынова Ш.Ж., Рихванов Л.П. Эколого-геохимическая оценка территории Павлодарской области (Республика Казахстан) по данным изучения элементного состава солевых отложений питьевых вод // Вестник Забайкальского гос. ун-та. – 2015. – № 12(127). – С. 4–10.
- Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. – Екатеринбург : УрО РАН, 2009. – 383 с.
- Домаренко В.А., Соболев И.С., Рихванов Л.П. Гамма-спектрометрические исследования поверхностных отложений нефтегазоносных площадей Западной и Средней Сибири // Вестник Российской академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение. – 2010. – № 12. – С. 120–128.
- Евсеева Л.С., Перельман А.И., Иванов К.Е. Геохимия урана в зоне гипергенеза. – М. : Атомиздат, 1974. – 278 с.
- Минерально-сырьевая база урана Восточной Сибири / Д.А. Самович, И.И. Царук, А.А. Кокарев и др. – Иркутск, 2012. – 164 с.
- 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.
- Монголина Т.А., Барановская Н.В., Соктоев Б.Р. Элементный состав солевых отложений питьевых вод Томской области // Известия ТПУ. – 2011. – Т. 319, № 1. – С. 204–211.
- Региональная геохимия окружающей среды Байкальского региона / В.И. Гребенщикова, Э.Е. Лустенберг, Н.А. Китаев, И.С. Ломоносов. – Новосибирск : Гео, 2008. – 232 с.
- Рихванов Л.П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии. – Томск : Изд-во ТПУ, 1997. – 384 с.
- Рихванов Л.П. Радиогеохимическая типизация рудно-магматических образований (на примере Алтае-Саянской складчатой области). – Новосибирск : Гео, 2002. – 536 с.
- Рихванов Л.П. Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиоэкологии. – Томск : STT, 2009. – 430 с.
- Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Сарнаев С.И. Уран и торий в карбонатных минералах. Статья I // Известия вузов. Геология и разведка. – 1986. – № 7. – С. 37–42.
- Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Сарнаев С.И. Уран и торий в карбонатных минералах. Статья II // Известия вузов. Геология и разведка. – 1986. – № 8. – С. 34–38.
- Робертус Ю.В., Рихванов Л.П., Соктоев Б.Р. Особенности химического состава солевых отложений подземных питьевых вод Республики Алтай // Известия ТПУ. – 2014. – Т. 324, № 1. – С. 190–195.
- Смыслов А.А. Уран и торий в земной коре. – Л. : Наука, 1974. – 231 с.
- Соктоев Б.Р. Геохимия карбонатной составляющей природных пресных вод и ее индикаторное значение в эколого-геохимических и прогнозно-металлогенических исследованиях (на примере Байкальского региона) : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2015. – 22 с.
- Геохимическая характеристика солевых отложений питьевых вод Байкальского региона / Б.Р. Соктоев, Л.П. Рихванов, Т.Т. Тайсаев и др. // Известия ТПУ. – 2014. – Т. 324, № 1. – С. 209–223.
- Солевые образования питьевых вод как индикаторная среда в эколого-геохимических и металлогенических исследованиях / Б.Р. Соктоев, Л.П. Рихванов, Ш.Ж. Усенова и др. // Вестник Иркутского гос. техн. ун-та. – 2014. – № 1(84). – С. 40–45.
- Минералого-геохимические особенности травертинов современных континентальных гидротерм (скважина Г-1, Тункинская впадина, Байкальская рифтовая зона) / Б.Р. Соктоев, Л.П. Рихванов, С.С. Ильенко и др. // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57, № 4. – С. 370–388.
- Способ определения участков загрязнения ураном окружающей среды : пат. 2298212 Рос. Федерация / Л.П. Рихванов, Е.Г. Язиков, Н.В. Барановская и др. ; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет. – № 2005120840; заявл. 04.07.05; опубл. 27.04.07.
- Циркон-ильменитовые россыпные месторождения – как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона / Л.П. Рихванов, С.С. Кропанин, С.А. Бабенко и др. ; отв. ред. Е.Н. Трибунский, М.С. Паровинчак. – Кемерово : Сарс, 2001. – 214 с.
- Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Л.П. Рихванов, Е.Г. Язиков, Ю.И. Сухих и др. ; под ред. А.Г. Бакирова. – Томск : Курсив, 2006. – 216 с.
- 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.
- Особенности элементного состава солевых образований питьевых вод юга Томской области / Е.Г. Язиков, Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская и др. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геохронология. – 2009. – № 4. – С. 375–381.
- Allegre C.J., Dupre B., Lewin E. Thorium/uranium ratio of the Earth // Chemical Geology. – 1986. – Vol. 56, No. 3–4. – P. 219–227
- Geochemical specialization of limescale of water sources illustrated by two regions in Siberia / A.E. Taphaeva, T.T. Taisaev, L.P. Rikhvanov et al. // Contemporary Problems of Ecology. – 2010. – Vol. 3, No. 4. – P. 498–507.