

2. Асочакова Е.М. Минералого-геохимические особенности железнакопления в мел-палеогеновых толщах Западной Сибири на примере Бакчарского месторождения : дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск, 2013. – 193 с.
3. Бабин А.А. Бакчарское железорудное месторождение (геология, закономерности размещения и генезис железных руд) : дис. ... геол.-мин. наук. – Томск, 1969. – 248 с.
4. Моделирование и прогноз изменения состояния водных объектов при планируемой разработке железорудных месторождений на заболоченных территориях Томской области / О.Г. Савичев и др.
5. Карпина К.В., Домаренко В.А., Рихванов Л.П. Редкие и радиоактивные элементы в железных рудах Западно-Сибирского железорудного пояса на примере Бакчарского узла (Томская область) // Вестник науки Сибири. – 2012. – №5(6) – С. 29–35.
6. Копысов С.Г. Параметры экологически допустимой разработки Бакчарского железорудного месторождения // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2011. – № 5. – С. 420–425.
7. Саулова Т.А., Шляхова О.О. Влияние добычи железной руды на эндогенные геологические процессы и изменение естественного ландшафта ГОУ ВПО "Сибирский государственный технологический университет" // Материалы межрегиональной научно-практической Конференции (Непрерывное экологическое образование и экологические проблемы) студентов и учащихся. Апрель 2009 г. Красноярск. – С. 150–152.
8. Савичев О.Г. Водные ресурсы Томской области. – Томск : Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2010. – 248 с.
9. Савичев О.Г., Домаренко В.А., Мазуров А.К. Оценка допустимого воздействия на водные объекты при разработке осадочных железных руд Бакчарского рудного узла (Томская область) // Геоинформатика. – 2014. – № 3. – С. 56–61.
10. Шайхиев И.Р., Рихванов Л.П. Эколого-геохимические исследования природных сред района Бакчарского железорудного месторождения (Томская область) // Известия ТПУ. – 2015. – Т. 326, № 5. – С. 62–78.

## ИНДИКАТОРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОТНОШЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (U, Th) И BR В НАКИПИ ПИТЬЕВЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Т.А. Перминова<sup>1,2</sup>, Н.В. Барановская<sup>1</sup>, Б. Ларатт<sup>2</sup>, Б.Р. Соктоев<sup>1</sup>, Ж.К. Лата<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, Томск, Россия, tatianap1991@yandex.ru, natalya.baranovs@mail.ru, bulatsoktoev@gmail.com

<sup>2</sup>Технологический университет Труа, Труа, Франция, bertrand.laratte@utt.fr

<sup>3</sup>Университет Пьера и Марии Кюри, Париж, Франция, jean-christophe.lata@upmc.fr

## RATIOS OF NATURAL RADIOACTIVE ELEMENTS (U, Th) AND BR IN SALT SEDIMENTS OF DRINKING WATER OF TOMSK REGION

T.A. Perminova<sup>1,2</sup>, N.V. Baranovskaya<sup>1</sup>, B. Laratt<sup>2</sup>, B.R. Soktoev<sup>1</sup>, J.-C. Lata<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

<sup>2</sup>University of Technology of Troyes, Troyes, France

<sup>3</sup>Pierre and Marie Curie University, Paris, France

В работе рассматривается изменение показателей отношения двух радиоактивных элементов (U, Th) и брома в накипи питьевых вод Томской области. Данные показатели могут использоваться как индикаторы изменения эколого-геохимических условий окружающей среды. "Картина" бром-ториевого и бром-уранового отношений в накипи населенных пунктов относительно однородна, однако были обнаружены локальные территории, значительно выделяющиеся по показателю Br/U и Br/Th.

**Ключевые слова:** уран, торий, бром, накипь.

In this paper the ratios of two radioactive elements (U, Th) and bromine in salt sediments of drinking water of Tomsk region are shown. These ratios can be used as indicators of changes in ecologico – geochemical conditions of the environment. A "picture" of the bromine-thorium and bromine-uranium relations in the salt sediments is relatively homogeneous. However, were detected the local areas that are significantly different from others in their Br/U and Br/Th.

**Keywords:** uranium, thorium, bromine, salt sediments of drinking water.

### Введение

Бром – элемент группы галогенов, которая помимо самого элемента включает еще фтор, хлор, йод, радиоактивный астат и унунсептий [16]. Природный бром состоит из двух стабильных изотопов: Br<sup>79</sup> и Br<sup>81</sup> с распространенностью 50,57 и 49,43% соответственно [10]. Од-

нако известно также 30 радиоактивных изотопов брома, полученных искусственным путем с массовыми числами от 68 до 97 [10, 14]. Помимо природного нахождения брома в компонентах окружающей среды (заболоченные территории, морские и подземные воды, калийные соли, рапа соленых озер и др.), он может также поступать в

результате антропогенной деятельности: использование пестицидов, деятельность фармацевтических и нефтехимических предприятий. Другим серьезным источником элемента в окружающей среде может быть деятельность предприятий ядерно-топливного цикла [2, 12]. Отмечается, что бром присутствует в цепочках радиоактивного распада, при этом из радиоактивных изотопов брома образуется криптон и другие элементы по следующей схеме:  $\text{Br}^{82} - \text{Kr}^{82} - \text{Rb}^{82} - \text{Sr}^{82} - \text{Y}^{82} - \text{Zr}^{82}$  [4]. Подобные цепочки отмечаются практически для всех радиоактивных изотопов брома. При высоких температурах элемент взаимодействует с ураном, образуя  $\text{UBr}_3$ ,  $\text{UBr}_4$  и  $\text{UBr}_5$  [15], а также с торием, при нагревании до  $45^\circ\text{C}$  [1]. Кроме того, подробно радиоактивному йоду, радиоактивный бром легко извлекается из продуктов деления урана. Отдельные радионуклиды брома нормируются в воздухе рабочей зоны и в питьевой воде [9].

Важными в эколого-геохимических исследованиях являются отношения брома со свинцом, натрием, хлором и некоторыми другими элементами. Однако данные по отношению брома с радиоактивными элементами на сегодняшний день практически отсутствуют. Имеется информация о величине бром-уранового отношения на территории юга Томской области [2]. Так, было выявлено, что зона пониженного отношения  $\text{Br}/\text{U}$  ( $<90$ ) в волосах практически полностью совпадает с ореолом загрязнения почв по  $^{137}\text{Cs}$ . Таким образом, недостаточность изученности геохимии брома и его взаимосвязей с радиоактивными элементами является очень актуальным вопросом.

## Материалы и методы

В целях изучения показателей бром-уранового и бром-ториевого отношений, нами были исследованы солевые образования питьевых вод (накись) населенных пунктов Томской области, так как они являются долговременной (до нескольких месяцев) депонирующей средой, характеризующей, прежде всего, качество используемых вод [13]. Томская область как территория исследования представляет особый интерес ввиду ее специфической бромной “напряженности” смешанного типа. Высокая заболоченность территории, наличие многочисленных природных ресурсов (уголь, торф, месторождения нефти и газа, минеральные источники [5]) характеризуют ее природную “напряженность”, тогда как наличие Томского нефтехимического и Сибирского химического комбинатов, сосредоточенных в Томском районе области, обуславливают ее бромную техногенную составляющую.

Прооботбор накипи осуществлялся в соответствии с рекомендациями [8], пробоподготовка проводилась на кафедре геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета. Определение брома, тория и урана выполнялось инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА) в лаборатории ядерно-геохимических исследований кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета. Содержание  $\text{Br}$ ,  $\text{Th}$ ,  $\text{U}$  было определено в 297 пробах солевых отложений питьевых вод.

Таблица 1. Среднее содержание брома, урана, тория и показатели их отношений в накипи питьевых вод районов Томской области, мг/кг

№	Район	$X \pm \lambda / \text{min} \dots \text{max}$			Br/U	Br/Th	Th/U
		Br	U	Th			
1.	Александровский	0,900±0,5/0,4...1,4	0,120±0,07/0,05...0,19	0,023±0,02/0,003...0,43	7,5	<b>39,1</b>	0,2
2.	Каргасокский	0,250	0,150±0,05/0,1...0,2	0,136±0,13/0,01...1,7	1,7	1,8	<b>0,9</b>
3.	Парабельский	0,500	0,183±0,08/0,1...0,6	0,042±0,008/0,01...1,7	2,7	11,9	0,2
4.	Колпашевский	1,449±0,38/0,5...4,6	0,568±0,23/0,06...30,4	0,157±0,07/0,005...0,97	2,5	9,1	<b>0,3</b>
5.	Чаинский	1,413±0,46/0,25...3,1	0,084±0,05/0,02...0,41	0,072±0,04/0,003...0,25	<b>16,9</b>	19,7	<b>0,9</b>
6.	Молчановский	3,257±0,42/1,5...4,8	0,696±0,48/0,03...3,29	0,029±0,007/0,015...0,06	4,7	<b>111,8</b>	0,04
7.	Кривошеинский	2,300±0,19/1,9...2,8	0,133±0,1/0,04...0,43	0,091±0,04/0,03...0,21	<b>17,4</b>	25,3	<b>0,7</b>
8.	Шегарский	2,400±0,56/1,4...3,3	0,083±0,03/0,03...0,12	0,015±0,002/0,01...0,03	<b>28,9</b>	<b>160,0</b>	0,2
9.	Кожевниковский	2,000±0,87/0,25...5	0,057±0,02/0,03...0,15	0,029±0,01/0,005...0,06	<b>35,1</b>	<b>69,9</b>	<b>0,5</b>
10.	Томский	3,123±0,2/0,25...47,7	0,965±0,22/0,04...39,9	0,04±0,008/0,002...2,2	3,2	<b>78,8</b>	0,04
11.	Асиновский	1,227±0,56/0,25...3,7	2,206±1,43/0,05...9,4	0,063±0,03/0,01...0,22	0,6	19,4	0,03
12.	Первомайский	1,792±0,55/0,25...5,7	1,430±0,82/0,1...16,8	0,111±0,04/0,01...0,47	1,3	16,1	0,08
13.	Верхнекетский	0,736±0,28/0,25...2,4	0,718±0,48/0,1...36,9	0,226±0,11/0,05...0,84	1,0	3,3	<b>0,3</b>
14.	Тегульдетский	1,282±0,34/0,25...8,9	1,531±0,74/0,1...53,7	0,201±0,06/0,025...7,5	0,8	6,4	0,1
15.	Зырянский	0,824±0,08/0,1...57,3	0,980±0,25/0,05...66,4	0,063±0,01/0,012...1,4	0,8	13,0	0,06
16.	Бакчарский	1,719±0,21/0,05...5,4	0,677±0,28/0,05...26,7	0,108±0,02/0,01...0,52	2,5	15,9	0,2
<i>Среднее по области</i>		<i>1,73</i>	<i>0,88</i>	<i>0,08</i>	7,9	37,6	0,29

Примечание:  $X \pm \lambda$  – среднее значение и стандартная ошибка (рассчитаны без учета аномальных значений), min...max – минимальное и максимальное значения соответственно; жирным шрифтом обозначены значения, превышающие средние по области.

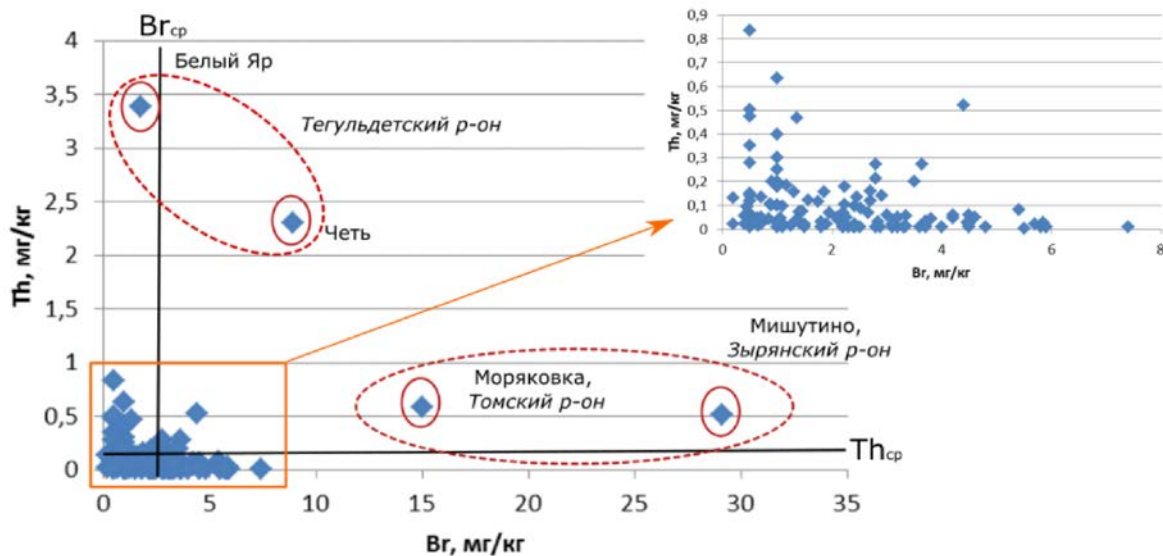


Рис. 1. Соотношение брома и тория в наклипи питьевых вод населенных пунктов Томской области, мг/кг

### Обсуждение результатов

В таблице 1 представлено содержание брома, тория и урана, а также показатели их отношений в наклипи районов Томской области. Так, выделяются несколько районов по разбросу минимальных и максимальных значений: по бромю – Томский и Зырянский, по урану – Колпашевский, Томский, Верхнекетский, Тегульдетский, Зырянский и Бакчарский, а по торю – Томский и Тегульдетский районы. Среди перечисленных районов особое место занимает Томский район, в котором наблюдаются повышенные уровни накопления всех

трех элементов. Для данного района работами Л.П. Рихванова [11] и Н.В. Барановской [2] было показано формирование специфической радиогеохимической ситуации с наложением бромной субпровинции. Максимальные концентрации урана в наклипи питьевых вод Тегульдетского и Зырянского районов могут быть связаны с наличием ураноносных бурых углей, что находит свое отражение также и в содержаниях брома и тория. Также для Колпашевского и Верхнекетского районов Т.А. Монголиной [8] отмечен их высокий потенциал на выявление урановых проявлений. В рудах и породах Бакчарского месторождения были также выявлены повышенные концентрации урана [6]. Кроме того, в Бакчарском, Колпашевском и Парабельском районах, располагающихся в пределах рудных узлов Западно-Сибирского желе-

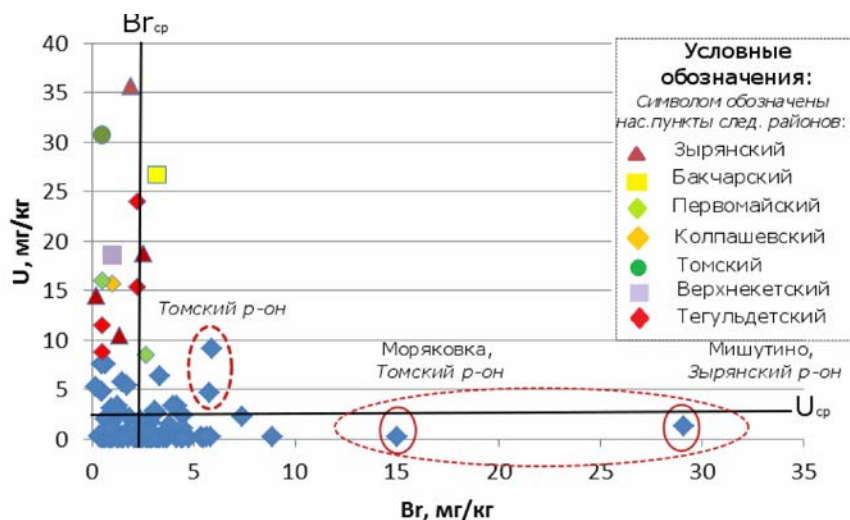


Рис. 2. Соотношение брома и урана в наклипи питьевых вод населенных пунктов Томской области, мг/кг

зородного бассейна, отмечаются сравнительно высокие уровни накопления радиоактивных элементов [7]. Таким образом, наличие вышеперечисленных природных источников оказывает значительное влияние на формирование химического состава наклипи питьевых вод и, в большой степени, обуславливает содержание в ней трех рассматриваемых нами элементов.

Торий-урановое отношение изменяется от 0,03 до 0,9, при среднеобластном значении 0,29. Бром-урановое отношение так же, как и бром-ториевое, имеет неравномерный характер распределения. Первое варьируется от 0,6 до 35,1, тогда как второе – от 1,8 до 160. Среди шестнадцати районов области, в Кожевниковском районе наблюдаются повышенные, по сравнению с областными, показатели отношений всех трех элемен-

тов. Однако, при изучении индикационных показателей по отдельным населенным пунктам области (рис. 1, 2) населенные пункты данного района не характеризуются специфическими аномалиями. Максимальное значение Вг/Тh отношение характерно для накипи питьевых вод Шегарского района. Стоит отметить, что по аналогии с Кожевниковским, в данном районе не выделяются отдельные населенные пункты по бром-ториевому и бром-урановому отношениям на фоне рассмотренных по области. Более детальная картина показателей отношений брома, тория и урана рассмотрена нами в населенных пунктах шестнадцати районов Томской области и представлена на рисунках 1 и 2 (при построении рисунков принимались во внимание “ураганные пробы”).

Как видно из рисунка 1, большая часть населенных пунктов имеют относительно равномерное распределение бром-ториевого отношения. Показатели же бром-уранового отношения имеют немного иную картину (рис. 2).

Высокие содержания брома и тория при низких концентрациях урана отмечаются в населенных пунктах: Мишутино Зырянского района и Моряковка Томского района. В эколого-геохимическом отношении последний характеризуется смешанным влиянием природно-техногенных источников: ториеносных песков и стекольного завода, использовавшего данные пески [3]. Следует отметить, что в данном населенном пункте высокие содержания тория ранее отмечались в волосах детей [2], в накипи [8] и других средах, изучаемых сотрудниками кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ, однако, при этом не выделялись высокие концентрации брома. При этом ни с ураном, ни с торием в пробах накипи из этого села бром не имеет значимых корреляционных связей, которые, однако, характерны для него с Na, Sr, Co, Cs, Au, а также редкоземельными элементами (La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu). Высокие концентрации брома и тория в накипи населенного пункта Мишутино требуют более детальных исследований. По соотношению брома и тория в накипи выделяются также два населенных пункта Тегульдетского района: Белый Яр и Четь, причем первый характеризуется повышенным содержанием тория и низким бромом, а второй довольно высокими концентрациями брома.

По бром-урановому показателю отчетливо выделяются населенные пункты урановой природы. Так, в Бакчарском районе обращает на себя внимание населенный пункт Бородинск. Урановая специфика отмечается также в волосах детей [2], проживающих в данном населенном пункте, и носит, на наш взгляд, природный характер. В Зырянском районе стоит обратить внимание на такие населенные пункты как Тукай, Иловка, Семеновка и Кучуково, в Томском – Халдеево, в Первомайском – Альмяково и Орехово, в Верхнекетском – Клюквинка, а в Тегульдетском – Черный Яр, Берегаево, Тегульдет и Покровский Яр. Остальные населенные пункты, не выделенные цветом на рисунке 2, не “обособлены” по содержанию урана в накипи питьевых вод.

Таким образом, по данным бром-ториевого и бром-уранового отношений в накипи питьевых вод населенных пунктов Томской области, нами были выявлены те

из них, которые значительно выделяются на общем фоне. В разных районах Томской области, по содержанию химических элементов в накипи питьевых вод, отмечаются населенные пункты как ториевой и урановой природы, так и бромной. Так, например, высокие концентрации брома и тория отмечаются в населенных пунктах Мишутино (Зырянский район) и Моряковка (Томский район). Последний, в свою очередь, уже привлекал внимание исследователей ввиду высокого содержания в природных средах данной территории спектра химических элементов, в том числе и тория, однако, на бромную аномалию внимание обращается впервые. Для более точной интерпретации индикаторных показателей природных радиоактивных элементов и брома требуются более детальные исследования.

### Литература

1. Арбузов С.И., Рихванов Л.П. *Геохимия радиоактивных элементов*. – Томск : Изд-во ТПУ, 2009. – 300 с.
2. Барановская Н.В. *Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем : автореф. дис. ... докт. биол. наук*. – Томск, 2011. – 46 с.
3. *Очерки геохимии человека / Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, Т.Н. Игнатова и др.* – М. : Изд-во ТПУ, 2015. – 380 с.
4. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. *Радиоактивные цепочки : справочник*. – М. : Атомиздат, 1978. – 88 с.
5. Евсеева Н.С. *География Томской области. Природные условия и ресурсы*. – Томск : Изд-во Томского университета, 2001. – 223 с.
6. *Уран и торий в рудах Бакчарского железорудного месторождения / В.В. Ершов, Л.П. Рихванов, А.Я. Пшеничкин и др. // Известия Томского политехн. ун-та*. – 2012. – Т. 321, № 1. – С. 97–104.
7. Карепина К.В., Домаренко В.А., Рихванов Л.П. *Редкие и радиоактивные элементы в железных рудах Западно-Сибирского железорудного пояса на примере Бакчарского узла (Томская область) // Вестник науки Сибири*. – 2012. – № 5 (6). – С. 29–35.
8. 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.
9. *НРБ-99/2009. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. Санитарные правила и нормы*.
10. Полянский Н.Г. *Аналитическая химия элементов. Бром*. – М. : Наука, 1980. – 248 с.
11. Рихванов Л.П. *Общие и региональные проблемы радиоэкологии*. – Томск : Изд-во ТПУ, 1997. – 384 с.
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. Соктоев Б.Р. *Радиоактивные элементы в солевых отложениях питьевых вод Байкальского региона // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека : материалы IV Международной*



конференции. – Томск : Изд-во ТПУ, 2013. – С. 485–488.  
 14. The Nubase evaluation of nuclear and decay properties /  
 G. Audi, O. Bersillon, J. Blachot et al. // Nuclear Physics A.  
 – 2003. – Vol. 729. – P. 3–128.

15. Gmelin Handbook of Inorganic Chemistry. Br. Bromine. –  
 Springer-Verlag, 1985. – 523 p.  
 16. Eggenkamp H. The Geochemistry of Stable Chlorine and  
 Bromine Isotopes. – Berlin : Springer-Verlag, 2014. –  
 172 p.

## УРАН И ТОРИЙ КАК ИНДИКАТОРЫ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Е.В. Плющев, С.В. Кашин

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ФГБУ "ВСЕГЕИ"),  
 Санкт-Петербург, Россия, evgeni\_plyushchev@vsegei.ru, sergey\_kashin@vsegei.ru

## URANIUM AND THORIUM AS INDICATORS OF HYDROTHERMAL PROCESSES

E.V. Plyushchev S.V. Kashin

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI), St. Petersburg, Russia

The uranium concentration occurs during a small geochemical cycle, which consist of hydrogenous and hydrothermal processes. Hydrothermal-metasomatic formations are the products of hydrothermal processes. In the course of development of propylite-beresite formation uranium has a clear alternative tendencies of behavior. Uranium is leached from the zones of propylitization and is transferred into the beresites and forms ore bodies.

Гидротермальные месторождения, как по числу, так и по суммарным запасам преобладают среди месторождений металлических и неметаллических полезных ископаемых. Среди крупных и сверхкрупных месторождений России их доля составляет 67,7% по числу и 48,4% по суммарной продуктивности. Среди месторождений урана гидротермальные месторождения также занимают весьма существенное место.

Геохимический цикл, сформулированное еще В.И. Вернадским, предусматривает круговорот вещества в последовательности геологических процессов с выходом на качественно новый уровень [2, 4]. Основные составляющие этого цикла (рис. 1) представляют собой: осадочный литогенез, метаморфизм, магматизм и выветривание. Перечисленные процессы создают перемещение всей массы вещества в термобарогradientном поле земной коры и обеспечивают большой геохимический цикл, который необходимо дополнить параллельно идущими процессами циркуляции легкоподвижной фазы, транспортирующей растворенные компоненты. Эта миграция легкоподвижной фазы может быть выведена в самостоятельный – малый геохимический цикл [3]. В таком варианте малый геохимический цикл следует разделить на нисходящую и восходящую ветви.

Все концентрации урана являются производными деятельности малого геохимического цикла. Рассмотрим некоторые общие законо-

мерности восходящей ветви малого геохимического цикла, то есть гидротермальной деятельности.

Гидротермальная деятельность обеспечивается восходящими газовой-жидкими растворами, высвобождающимися из пород при их литификации, метаморфизме, ретроградном вскипании и кристаллизации магматических расплавов, раскристаллизации вулканических стекол, воздействию нагретого магматического материала или иных тепловых потоков на водоносные толщи и т. п. Прямое участие подкорковых флюидов в формировании восходящей ветви малого геохимического цикла континентальных блоков, не превышает 3–5%. Существова-

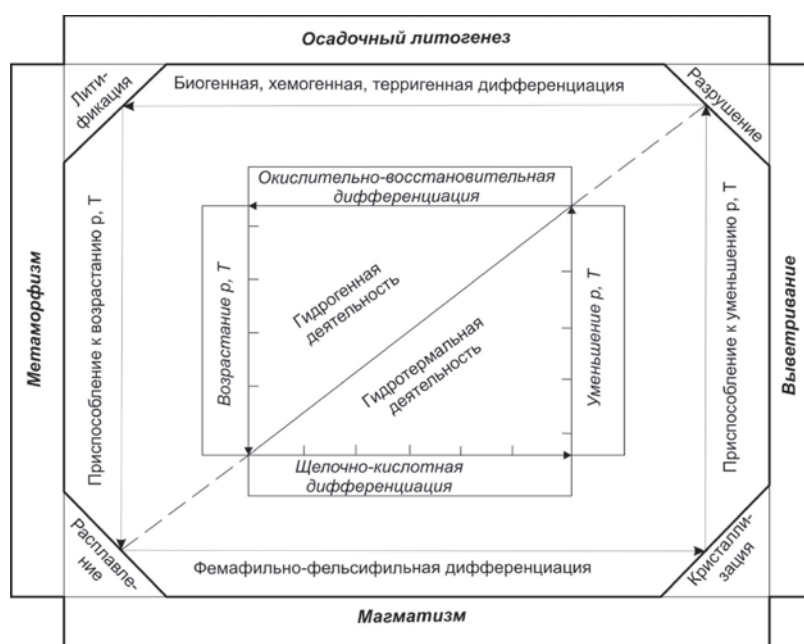


Рис. 1. Геохимический цикл земной коры