

8. Чекин С.С. Нижнемезозойская кора выветривания Иркутско-го амфитеатра. — М.: Наука, 1973. — 156 с.
9. Адмакин Л.А., Портнов А.Г. Тонштейны Иркутского бассейна // Литология и полезные ископаемые. — 1987. — № 3. — С. 88–98.
10. Бессолицын Е.П., Файнштейн Г.Х. Некоторые данные о корях выветривания юга Сибирской платформы в границах Иркутской области // Кора выветривания. Вып. 6: Региональное развитие кор выветривания в СССР / под ред. И.И. Гинзбурга. — М.: АН СССР, 1963. — С. 226–230.
11. Угольная база России. Т. 3. Угольные месторождения и бассейны Восточной Сибири (южная часть) / под ред. В.Ф. Череповского. — М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. — 488 с.
12. Iijuma A., Utada M. Zeolites in sedimentary rocks with reference to depositional environments and zonal distribution // Sedimentology. — 1966. — V. 7. — P. 327–357.
13. Зарицкий П.В. Минеральные включения и прослои (тонштейны) в угольных пластах, методы их изучения и использование при геологоразведочных работах // Проблемы глубинной геологии Донецкого бассейна / под ред. Н.С. Полякова. — Киев: Наукова думка, 1976. — С. 62–67.
14. Григорьев Н.А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры // Геохимия. — 2003. — № 7. — С. 785–792.
15. Алфимова Н.А., Фелицын С.Б., Матреничев В.А. Подвижность Се в экзогенных обстановках Балтийского щита 2,8–2,1 млрд лет назад: данные по корам выветривания и осадочным карбонатам // Литология и полезные ископаемые. — 2011. — № 5. — С. 451–463.
16. Копылова А.Г., Томшин М.Д. Геохимия траппов восточной части Тунгусской синеклизы // Отечественная геология. — 2011. — № 5. — С. 80–88.
17. Арбузов С.И., Левицкий В.М. Сравнительная радиогеохимическая характеристика гранитоидов саянского и таракского комплексов юго-западного обрамления Сибирской платформы // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. Междунар. конф. 22–24 мая 1996 г. — Томск: Изд-во ТПУ, 1996. — С. 86–89.
18. Кизияров Г.П., Мешалкин С.М. Первая находка вулканических туфов в юре Иркутского угленосного бассейна // Геология и геофизика. — 1978. — № 2. — С. 138–141.
19. Мешалкин С.М., Кизияров Г.П., Лосева Л.П. Вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы Прииркутской впадины // Геология и геофизика. — 1983. — № 3. — С. 150.
20. Коченов А.В., Королев К.Г., Дубинчук В.Т., Медведев Ю.Л. Об условиях осаждения урана из водных растворов по экспериментальным данным // Геохимия. — 1977. — № 11. — С. 1711–1716.
21. Миклишанский А.З., Яковлев Ю.В., Меньяйлов И.А., Никитина Л.П., Савельев Б.В. О геохимической роли поступления элементов с летучей компонентой активного вулканизма // Геохимия. — 1979. — № 11. — С. 1652–1661.
22. Домаренко В.А., Арбузов С.И. О меденосности рифейских отложений юга Енисейского кряжа // Рациональное использование природных ресурсов Сибири: Тезисы докл. научн. конф. 24–25 октября 1989 г. — Томск: ТГУ, 1989. — С. 132.

Поступила 11.01.2012 г.

УДК 553.313/.495

## УРАН И ТОРИЙ В РУДАХ БАКЧАРСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В.В. Ершов, Л.П. Рихванов, А.Я. Пшеничкин, С.И. Арбузов

Томский политехнический университет  
E-mail: siarbuzov@mail.ru

Приведены данные об уровнях накопления урана и тория в разных минералогических типах руд и пород Бакчарского железорудного месторождения (Западная Сибирь). Проведен анализ связей урана и тория с другими микроэлементами. Выдвинуто предположение о составе пород области сноса.

### Ключевые слова:

Бакчарское железорудное месторождение, геохимия, уран, торий.

### Key words:

Bakchar iron ore deposit, geochemistry, uranium, thorium.

Ещё в 1945 г. В.П. Казаринов отметил возможность выявления в Западно-Сибирской впадине формации морских осадочных железных руд гетит-гидрогетит-лептохлоритового состава [1, 2]. Первые находки этих руд появились в процессе производства структурного бурения на нефть и газ в Среднем Приобье в 1947–1949 гг. трестом «Запсибнефтегеология». В 1956–1959 гг. работами опробовательской (А.А. Бабин) и поисково-разведочной (А.А. Бабин, А.П. Бердников, Е.Я. Горюхин) партий [2, 3] был изучен керн структурных скважин по долине р. Оби и всех ее крупных притоков. В резуль-

тате проведенных работ был выявлен и оконтурен крупнейший в мире Западно-Сибирский железорудный бассейн на восточной окраине Западно-Сибирской плиты, протянувшийся от Кулунды до низовьев р. Енисей, где было установлено несколько рудоносных горизонтов оолитовых железных руд и их широкое площадное распространение вдоль восточного обрамления Западно-Сибирской низменности и оконтурено наиболее перспективное Бакчарское месторождение [1–3].

В последние годы на территории Бакчарского месторождения ведутся активные работы по оцен-



Рис. 1. Размещение производительных сил черной металлургии на территории России и положение Бакcharского месторождения

ке запасов, разработке технологии добычи и переработки руд для обеспечения мощностей Кузнецкого и Западно-Сибирского металлургических комбинатов Сибирского региона (рис. 1).

Современная технология отработки крупного месторождения немыслима без всестороннего исследования минералого-петрографических, технологических и эколого-геохимических свойств руд. Такие исследования на Бакcharском месторождении в значительной степени проведены или ведутся в настоящее время. Несмотря на наличие в рудовмещающей толще радиоактивных аномалий [4], радиогеохимическая и радиоэкологическая оценка руд до настоящего времени не проводилась. Поэтому данная работа посвящена радиогеохимическим исследованиям железных руд Бакcharского месторождения как с целью прогнозирования возможных радиоэкологических последствий их промышленного использования, так и решения генетических вопросов формирования железных руд и возможного выявления в зоне железнакопления специфических геохимических обстановок локализации промышленных концентраций урана.

#### Характеристика объекта и методики исследований

Железные руды Бакcharского месторождения относятся к прибрежно-морскому типу осадочных слабометаморфизованных руд. В соответствии с классификацией В.И. Смирнова [5] — это сидерит-лептохлорит-гидрогетитовые бобово-оолитовые руды, сформированные в морских карбонатно-терригенных отложениях. По геолого-фаціальным особенностям локализации, вещественному составу Бакcharские руды наиболее близки к разрабатываемым месторождениям Аятской группы (Казахстан) и с небольшим отличием аналогичны рудам Керченской (Украина) и Лотарингской (Франция, Германия, Люксембург) групп месторождений. Последние больше известны под названием руды типа «минетта».

Месторождение находится на территории Бакcharского района Томской области в междуречье рек Андорма и Икса, являясь составной частью Западно-Сибирского железорудного бассейна. В пределах томской части железорудного бассейна выделяются Бакcharский, Колпашевский, Парabelьский, Чузиковский и Парбигский рудные узлы. Бакcharский узел с одноименным месторождением приурочен к верхнемеловым и палеогеновым отложениям, перекрытым толщей пород (160...200 м) неоген-четвертичного возраста. Железные руды локализованы в нарымском, колпашевском и бакcharском горизонтах. Мощность продуктивных пластов колеблется от 2 до 40 м. Железорудные горизонты прослеживаются на всей площади месторождения, а также за ее пределами, разделяясь безжелезистыми или слабожелезистыми породами и нередко с разрывом перекрывают друг друга. Руды подразделяются на шесть типов: 1) плотные гетит-гидрогетитовые с сидеритовым цементом; 2) рыхлые гетит-гидрогетитовые; 3) лептохлоритовые с хлорит-сидеритовым цементом; 4) конгломератовидные лептохлоритовые с крупными оолитами; 5) сидеритовые; 6) глауконитовые с сидеритовым цементом. Среднее содержание железа в рудах меняется от 30 до 46 % [6, 7].

Прогнозные ресурсы руд Бакcharского и Колпашевского узлов с содержаниями железа более 30 % оцениваются от десятков до нескольких сотен млрд т [8]. В результате предварительной оценки по результатам работ 2005–2008 гг. запасы и ресурсы наиболее перспективного Поляннинского участка Бакcharского узла по категории  $C_1+C_2+P_1$  составляют 3 млрд т. На Бакcharском участке ресурсы по категории  $P_1$  составляют 25,3 млрд т при среднем содержании железа 39,5 %.

Сведения о геохимических особенностях железных руд Бакcharского узла и содержаниях в них радиоактивных элементов крайне скудны.

Некоторые исследователи [4] предполагают, что железо рудных горизонтов могло служить физико-химическим барьером для ураноносных растворов, как эксгалиационных, так и инфильтрационных и указывают на наличие аномалий по гамма-картажу в ряде скважин, пересекающих эти горизонты.

В процессе выполнения исследований были определены уровни накопления ряда редких, редкоземельных, радиоактивных элементов и благородных металлов в образцах оолитовых железных руд Бакчарского месторождения из коллекций кафедры геоэкологии и геохимии и лаборатории геологии золота Института природных ресурсов ТПУ, а также из образцов керна скважины 9а и технологических проб из скважин преимущественно Польшанского участка. Анализы на редкие и радиоактивные элементы выполнялись в лаборатории ядерно-геохимических исследований Томского политехнического университета методом инструментального нейтронно-активационного анализа (аналитик А.Ф. Судыко). Всего проанализировано 82 пробы железных руд и 7 проб рудовмещающих пород.

#### Результаты исследований и их обсуждение

Анализируя характер распределения радиоактивных элементов в изученной выборке из 82 проб железных руд со средним содержанием железа 31,4 % (рис. 2), следует отметить, что распределение урана и тория в рудах различно. Для урана характерно бимодальное распределение. При этом первая мода (57 % проб) не превышает порога чувствительности анализа ( $<0,1$  г/т), вторая (15 % проб) равна  $4,4$  г/т. Среднее арифметическое  $\pm$  стандартная ошибка определения среднего составляет  $2,0 \pm 0,3$  г/т. Распределение тория соответствует нормальному закону. Среднее арифметическое равно  $12,5 \pm 0,5$  г/т и близко к медиане ( $12,4$  г/т) и моде ( $12,4$  г/т). Среднее арифметическое содержание урана (7 проб) для рудовмещающих песчаников составляет  $1,6 \pm 0,6$  г/т, тория –  $5,5 \pm 0,9$  г/т.

Содержания урана и тория в рудах Бакчарского месторождения находятся на уровне средних значений для верхней части земной коры [9] и несколько понижены относительно PAAS [10]. Они, также, существенно ниже средних оценок для железомарганцевых конкреций современного океана [11].

Наибольшие концентрации урана установлены в слабосцементированных лептохлоритовых ( $2,6$  г/т) и рыхлых оолитовых гетит-гидрогетитовых ( $2,5$  г/т) рудах. Наименьшие уровни накопления ( $1,3$  г/т) характерны для плотных оолитовых гетит-гидрогетитовых руд. В лептохлоритовых рудах относительно повышены концентрации тория ( $14,2$  г/т). Плауконитовые рудные песчаники отличаются пониженными содержаниями тория ( $8,2$  г/т). Все типы руд характеризуются выше кларковыми уровнями накопления Sc, Cr, Co, Sb, Au, TR. Концентрации Na, Ca, Rb, Cs, Ba в них отчет-

ливо понижены (рис. 3), а содержания Sr и Ag не превышают порога чувствительности анализа (табл.).

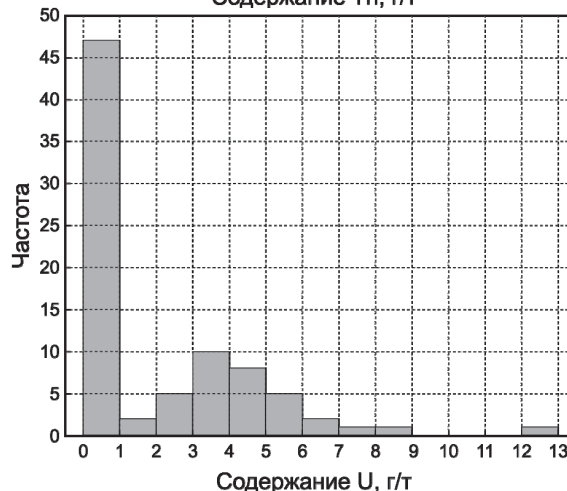
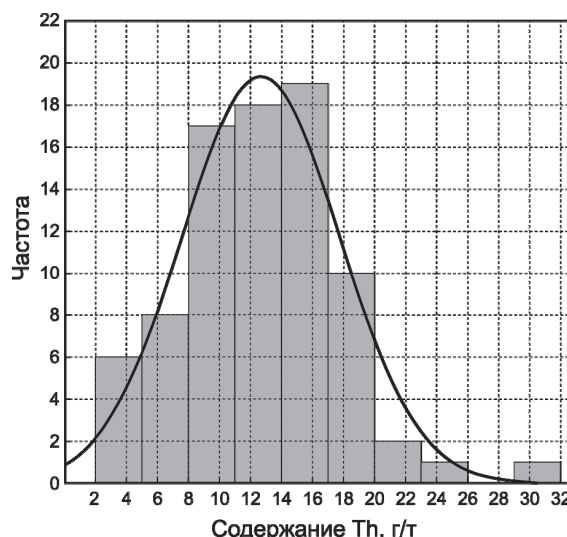
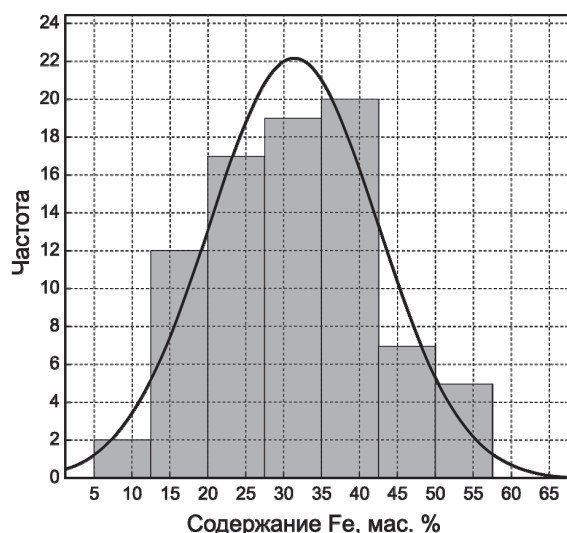


Рис. 2. Частотное распределение Fe, Th, U в рудах Бакчарского месторождения



Рис. 3. Нормированная относительно средних для верхней земной коры [9] спайдер-диаграмма для различных типов руд Бакчарского месторождения

В отдельных пробах плотных оолитовых гетит-гидрогетитовых руд и их рыхлых разностях зафиксированы наибольшие концентрации урана, достигающие 8,6 и 8,0 г/т соответственно. В последнем случае, вероятно, оказывают влияние диагенетические и эпигенетические процессы, ведущие к перераспределению элементов. На это, в частности, указывает то, что в ряде проб радиоактивность имеет ярко выраженную урановую природу и торий-урановое отношение снижается до 0,5 [12] (рис. 4). Тогда как в среднем для руд и вмещающих пород характерна ее ториевая природа.

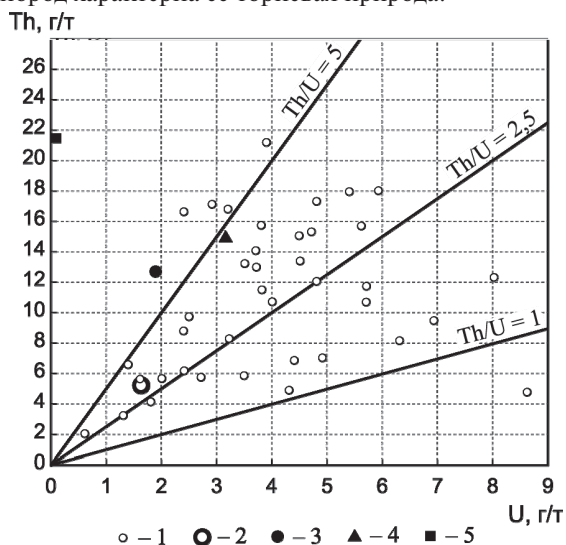


Рис. 4. Положение проб бокчарских руд и вмещающих пород в координатах Th-U. 1) пробы руды и вмещающих пород; 2) среднее содержание для руд; 3) среднее содержание для вмещающих пород; 4) PAAS; 5) среднее содержание для железных руд бассейна Лотарингия

Проявление таких позднедиагенетических и эпигенетических процессов, которые, несомненно, повлияли на распределение радиоактивных элементов на Бакчарском месторождении, отчетливо фиксируется по данным минералого-петрографических исследований [6]. Установлено наличие эпигенетического сидерита, который разъедает рудные обломки и зерна лимонитизированного глауконита, выполняет поры в сыпучих рудах, образует крустификационные каемки вокруг терригенных зерен. Эпигенетический мозаично-крупнозернистый сидерит выполняет поры в оолитовых рудах, образует более крупные гнезда в цементе или тонкие параллельные жилки. Помимо сидерита в рудах установлено наличие вторичного постседиментогенного хлорита типа шамозита. Щетки эпигенетического радиально-лучистого хлорита установлены в порах сыпучих оолитовых руд. Эпигенетический лептохлорит, образующийся по растительному детриту (биоморфозы по трубкам водорослей) и по трещинам, отличается более низким показателем преломления, чем более ранние хлориты. Сгустки шамозита содержат включения гизенгерита, изредка сферолиты лепидокрокита, мелкие зерна сидерита, обугленный или фосфатизированный растительный детрит и даже скелеты морских раковин. Изредка в рудах отмечаются диагенетические зерна сфена и сгустки лейкоксена.

В рудах, относительно вмещающих песчаников, отчетливо повышено содержание тория. Его максимальные концентрации достигают 31 г/т в железорудном концентрате, полученном методом гидродобычи. Хотя в целом средние содержания тория в бакчарских рудах ниже, чем в образце классических «люксембургских» руд и ниже, чем в PAAS (рис. 4).

Рассматривая уровни накопления радиоактивных элементов в выборках проб, сгруппированных по содержанию железа (рис. 5), следует отметить, что торий максимально накапливается в классе руд с концентрацией железа более 50 %. Максимум накопления урана (2,7 г/т) приходится на руды с содержаниями 20...30 % Fe, а второй пик (2,6 г/т) — также на наиболее богатые руды. Между железом и торием существует значимая положительная корреляционная связь (0,28). Связь между железом и ураном более сложна, однако в пробах, со значимыми уровнями накопления урана, также просматривается прямая зависимость между их концентрациями (рис. 6).

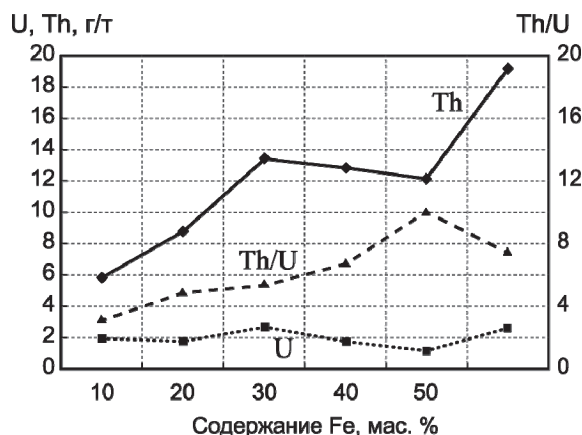


Рис. 5. Уровни накопления Th, U и Th/U отношение в разных по содержанию Fe классах руд

По-видимому, уран и торий сорбировались на железосодержащем силикогеле, участие которого в процессе рудообразования подтверждено при детальном минералогическом исследовании [7]. В дальнейшем, на разных стадиях преобразования осадка в условиях высокой обводненности, происходил вынос урана. Процессы диагенеза приводили к потере сорбционной способности водных гидратов железа. Более подвижный в этих условиях шестивалентный уран, образуя уранил-ион, способен активно мигрировать в водной среде, особенно в среде, богатой гидрокарбонат-ионами. Торий, являясь элементом-гидролизатом, слабо подвижен в условиях зоны гипергенеза. В результате сформировались руды, обедненные ураном, характеризующиеся повышенным торий-урановым отношением.

В Бакчарском месторождении наиболее высокими средними концентрациями тория (12,6 г/т) и более высоким торий-урановым отношением (6,3) характеризуются руды бакчарского горизонта, а урана (3,0 г/т) — колпашевского. Наименьшие концентрации урана (0,5 г/т) и тория (10,0 г/т) характерны для нарымского горизонта.

В разрезе рудной залежи бакчарского горизонта, вскрытой скважиной 9а на Полюнянском участке месторождения, Fe, U, Th распределены волнообразно (рис. 7), подчёркивая установленную общую цикличность осадкообразования [7, 8] и концентрации их с глубиной несколько умень-

шаются. Обращает на себя внимание синхронность распределения железа и тория (так же, как и редких земель). Уран же в большей степени концентрируется в центре залежи, где его относительное накопление, вероятно, обуславливается наличием горизонта проницаемых окисленных желтых песчаников.

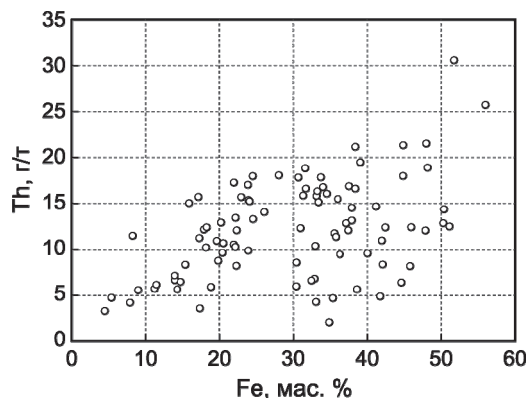


Рис. 6. Зависимость содержания Th и U в рудах Бакчарского месторождения от содержания в них Fe

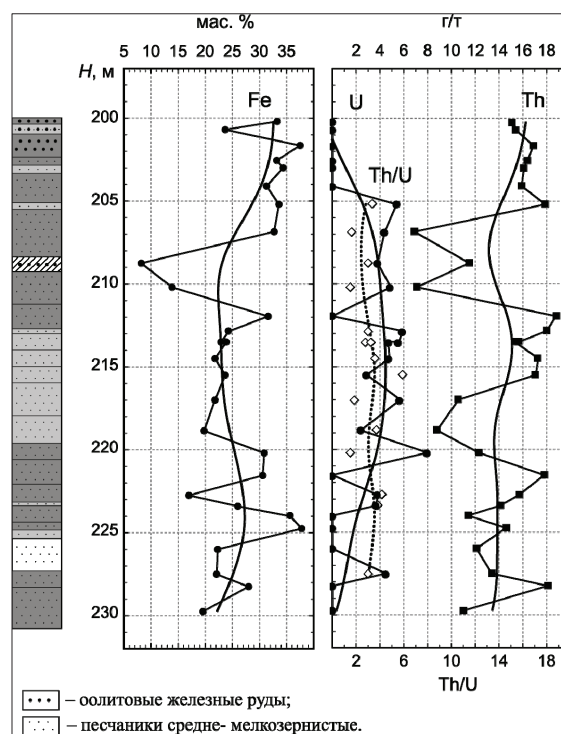


Рис. 7. Распределение элементов в разрезе тела железных руд, скв. 9а. H — глубина от устья скважины. Сглаживание проводилось методом «Distance Weighted Least Squares» [13]

Дендрограмма, построенная по результатам кластерного анализа (рис. 8), позволяет выделить две главные ассоциации элементов. В первую входят Fe, редкие земли, Co, Sb, As, Cr, Sc, Th. Во вторую — Cs, Rb, Ba, Ca, U, Ta, Hf, Au, Na. Причем уран образует значимые корреляционные связи с кальцием, а торий — с хромом и скандием. В со-

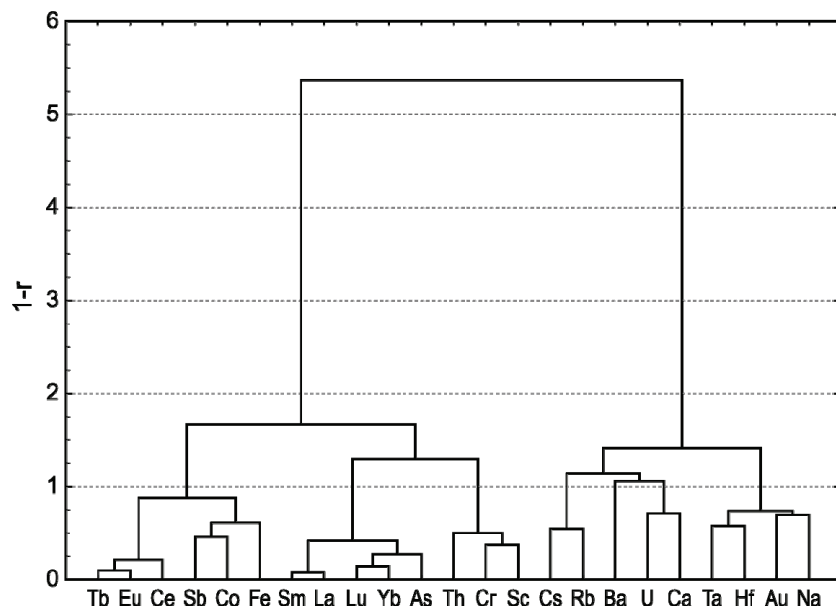


Рис. 8. Дендрограмма корреляционной матрицы выборки проб железных руд Бакчарского месторождения (анализ выполнен Ward's методом).  $1-r$  – расстояние объединения, усл. ед.

временных морских осадках устанавливается тесная связь урана с кальцием [14], что объясняется обогащением их в прибрежной части в условиях восстановительной среды, либо привносом обогащенных ураном карбонатных песков.

Связь урана и кальция, возможно, как один из вариантов, указывает и на то, что первый мог частично перераспределяться и концентрироваться в кальций содержащих фосфатах (апатит, вивианит и др.), образующихся в процессах диагенеза. Тес-

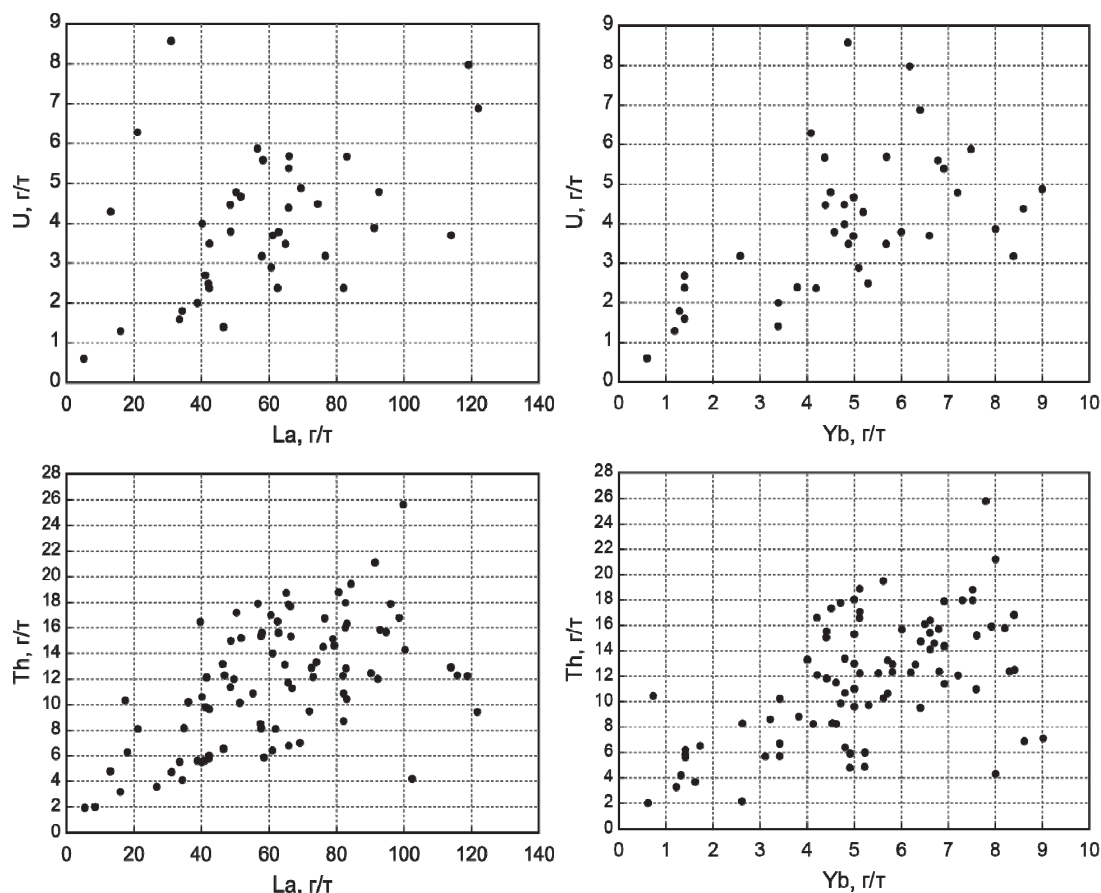


Рис. 9. Положение проб бакчарских руд в координатах  $Th-La$ ,  $Th-Yb$ ,  $U-La$ ,  $U-Yb$

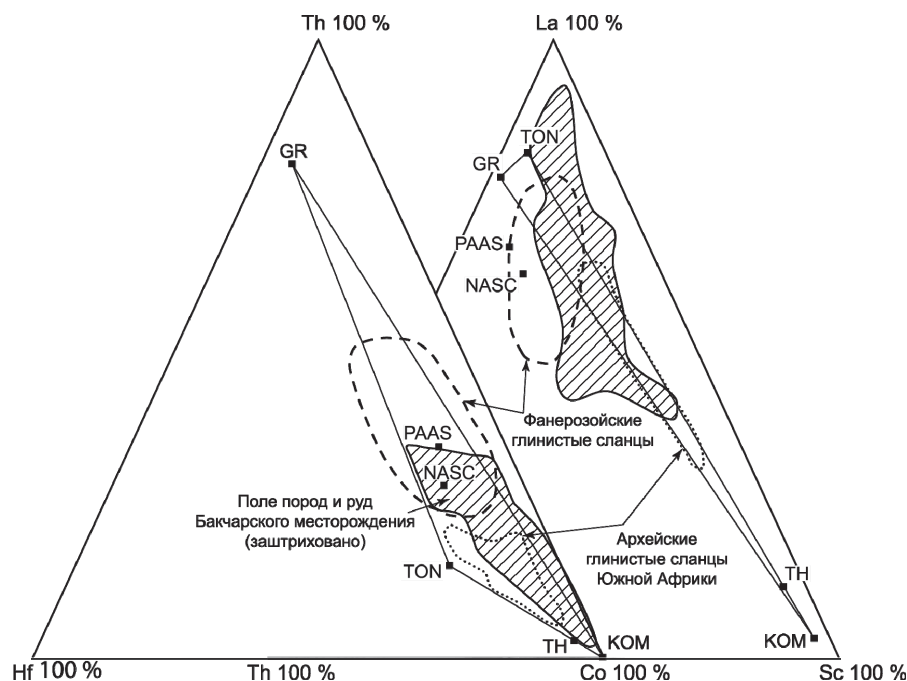


Рис. 10. Диаграммы Th–Hf–Co и Th–La–Sc [18], характеризующие области сноса для отложений Бакчарского месторождения. GR – граниты, TON – тоналиты, TH – толеиты, KOM – коматиты

ная корреляционная связь оксидов кальция и фосфора в бакчарских рудах отмечалась ранее [15].

Однако, частично уран сохраняется и в богатых железных рудах (рис. 6) и тогда его геохимия аналогична геохимии тория, что хорошо иллюстрируется их однотипной связью с редкими землями (рис. 9). Некоторые исследователи [16], на основании изучения современных океанических отложений, предполагают и одновременное выпадение железа и урана из морской воды в богатой ферромагнезиальной фазе. Повышенные содержания в ряде проб редких земель и их корреляционные взаимосвязи могут свидетельствовать о наличии кластогенной примеси монацита, циркона и других устойчивых к истиранию минералов в составе терригенной составляющей.

На диаграммах Th–Hf–Co, Th–La–Sc, характеризующих возможный состав областей сноса (рис. 10), поле пород и руд Бакчарского месторождения занимает промежуточное положение, попадая как в поля архейских, так и фанерозойских отложений, что в общем виде согласуется с выводом о том, что областью сноса терригенного материала были районы Енисейского Кряжа и Кузнецкого Алатау [7, 17]. При этом следует учитывать и сильное влияние хемогенной составляющей. Анализ диаграмм позволяет предполагать, что в областях сноса, по-видимому, широким распространением пользовались тоналиты, а также, возможно, основные породы или продукты их выветривания. На это указывает заметно пониженное относительно PAAS Th–Sc и Th–Cr отношения в рудовмещающих песчаниках, составляя в среднем 0,59 и 0,05 соответственно.

### Заключение

Средние содержания урана и тория в рудах Бакчарского месторождения сопоставимы с таковыми для верхней части земной коры и существенно выше, чем во вмещающих песчаниках месторождения. Накопление тория сопровождалось концентрированием редкоземельных и некоторых других элементов, которые сорбировались в процессе формирования железных руд. Установлена относительная обогащенность радиоактивными элементами более богатых железных руд по сравнению с рядовыми, бедными рудами и рудовмещающими породами. Характер распределения урана в рудах более сложен, чем тория, что, вероятно, обусловлено его перераспределением в процессах диагенеза и эпигенеза, которые, по всей видимости, носили достаточно масштабный характер. С этой точки зрения представляет интерес выявление обстановок, в которых уран мог концентрироваться в промышленно значимых количествах в рудах и вмещающих породах Бакчарского месторождения.

В области питания рудовмещающих пород, по-видимому, были широко распространены тоналиты, породы основного состава и продукты их выветривания. Содержания урана и тория, выявленные в рудах и породах Бакчарского месторождения, дают основание полагать, что с радиоэкологической точки зрения изученные руды радиационной опасности не представляют. Однако возможно выявление в рудах и породах повышенных концентраций урана, сформировавшихся в обстановках, благоприятных для его концентрирования, что требует дальнейшего изучения.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ, № 09-06-00647 и АБЦП, № 2.1.1/14134.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нагорский М.П. Западно-Сибирский железорудный бассейн // Советская геология. — 1958. — № 9. — С. 56–64.
2. Шацкий С.Б. Железоносные верхнемеловые отложения восточной части Западно-Сибирской низменности // Вестник Зап.-Сиб. Геол. Упр. — 1957. — Вып. 1. — С. 12–20.
3. Бабин А.А. Железорудные месторождения Томской, Новосибирской областей и степной части Алтайского края // Труды СНИИГГИМСа. Вып. 96. Главнейшие железорудные месторождения Сибири. — 1969. — С. 167–170.
4. Домаренко В.А., Рихванов Л.П., Воробьев Е.А., Новгородцев А.А., Данилов А.А. Перспективы обнаружения гидрогенного уранового оруденения в пределах Западно-Сибирской плиты // Минерально-сырьевая база Сибири: История становления и перспективы: Матер. научно-практич. конфер. — Т. I. Полезные ископаемые. — Томск: Изд-во ТПУ, 2008. — С. 74–81.
5. Рудные месторождения СССР / под ред. акад. В.И. Смирнова. Изд. 2-е перераб. доп. Т. 1. — М.: Недра, 1978. — 399 с.
6. Западно-Сибирский железорудный бассейн / под ред. Н.Х. Белоус. — Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1964. — 447 с.
7. Николаева И.В. Бакcharское месторождение оолитовых железных руд. — Новосибирск: Изд-во АН СССР, 1967. — 129 с.
8. Бабин А.А., Бабина Е.А. Колпашевско-Бакcharский район Западно-Сибирского бассейна // Материалы по геологии Западно-Сибирской низменности. — 1962. — № 3. — С. 131–152.
9. Григорьев Н.А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры // Геохимия. — 2003. — № 7. — С. 785–792.
10. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора, ее состав и эволюция. — М.: Мир, 1988. — 384 с.
11. Батурин Г.Н., Коченов А.В., Дубинчук В.Т. Уран и торий в железомарганцевых конкрециях океана // Литология и полезные ископаемые. — 1986. — № 6. — С. 19–27.
12. Смыслов А.А. Уран и торий в земной коре. — Л.: Наука, 1974. — 231 с.
13. McLain D.H. Drawing contours from arbitrary data points // Comput. J. — 1974. — V. 17. — P. 318–324.
14. Mo Tin, Suttle A.D., Sackett W.M. Uranium concentrations in marine sediments // Geochim. Cosmochim. Acta. — 1973. — V. 37. — № 1. — P. 35–51.
15. Асочакова Е.М., Коноваленко С.И. Геохимические особенности железных руд Бакcharского месторождения (Западная Сибирь) // Вестник Томского государственного университета. Науки о Земле. — 2007. — № 305. — С. 219–222.
16. Kunzendorf H., Pluger W.L., Friedrich G.H. Uranium in Pacific deep-sea sediments and manganese nodules // J. Geochem. Explor. — 1983. — V. 19. — № 1–3. — P. 147–162.
17. Казанский Ю.П., Николаева И.В. Минералы и минеральные компоненты бассейна // Западно-Сибирский железорудный бассейн / под ред. ред. Н.Х. Белоус. — Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1964. — С. 69–88.
18. Wronkiewicz D.J., Condie K.C. Geochemistry of shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: source-area weathering and provenance // Geochim. Cosmochim. Acta. — 1987. — V. 51. — P. 2401–2416.

*Поступила 15.11.2011 г.*