

Приведенные выше теоретические выводы о технологических параметрах прямого определения золота в скважинах по радионуклидам  $^{79}\text{Au}^{198}$  и  $^{79}\text{Au}^{197\text{m}}$  носят приближенный (оценочный) характер и нуждаются в экспериментальной проверке.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Возжеников Г.С. Активационный анализ в рудной геофизике. М.: Недра, 1965. 71 с.
2. Возжеников Г.С. Временная селекция в активационном анализе // Атомная энергия. Т. 34. Вып. 2. М., 1973.
3. Возжеников Г.С. Интенсивность гамма-излучения наведенной активности для пласта конечной мощности // Атомная энергия. Т. 28. Вып. 2. М., 1970.
4. Возжеников Г.С., Бельшев Ю.В. Радиометрия и ядерная геофизика. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2000. 406 с.
5. Разведочная ядерная геофизика: Справочник геофизика / Под ред. О.Л. Кузнецова, А.Л. Поляченко. М.: Недра, 1986. 432 с.
6. Рыжков Г.С., Хрынин Б.А. Ядерно-геофизические методы при поисках и разведке месторождений золота. М., 1981. 53 с. (Регион., развед. и промысл. геофизика: Обзор/ВИЭМС).
7. Филиппов Е.М. Ядерная разведка полезных ископаемых. Справочник. Киев.: Наукова думка, 1978. 573 с.
8. Senftle F.E. Use of Cf-252 for mineral exploration with accelerators for insitu neutron of silver. *Isotopes and Radiat. Technol.*, 1970. vol. 7. № 4. P. 411–418.

УДК 552.323 : 550.835

С.А. Игумнов, З.Р. Закиров, А.И. Минцев, Н.Б. Папулов, А.Н. Распутин<sup>1</sup>,  
К.Г. Башта, А.И. Марченко<sup>2</sup> Ю.С. Каретин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>УГГГА; <sup>2</sup>УГРЭ СГБ ГИПП "Недра"; <sup>3</sup>ИГиГ УрО РАН

#### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАЗРЕЗЕ УРАЛЬСКОЙ СВЕРХГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЫ, ПО ДАННЫМ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ КЕРНА

К середине 1999 года Уральская сверхглубокая скважина СГ-4, начатая бурением в 1985 году, достигла отметки 5400 м. Отобран уникальный керновый материал, позволяющий получить петрохимическую характеристику вскрытого скважиной разреза. Химизм породообразующих элементов к настоящему времени подробно охарактеризован более чем 900 силикатными анализами.

Значительно хуже изучено распределение редких и рассеянных элементов, в частности урана и тория. Так, в [2] приведены результаты определения содержания этих элементов в 36 пробах. Нейтронно-активационные анализы выполнены с довольно высоким порогом определения, так что во многих пробах присутствие урана и тория вообще не было обнаружено. Определения, произведенные в петрофизической лаборатории НИО СГБ (г. Ярославль), выполнялись на трехканальном гамма-спектрометре, не оснащенном системой реперной стабилизации. При этом возможно появление существенных ошибок, связанных с нестабильностью спектрометрического тракта; статистическая погрешность также довольно значительна, так как в трехканальной методике информация, содержащаяся в спектре гамма-излучения, используется лишь частично.

Таким образом, можно констатировать, что надежные данные по содержанию урана и тория в разрезе Уральской сверхглубокой скважины отсутствуют. Целью настоящих исследований являлось изучение распределения урана и тория по всему геологическому разрезу, вскрытому скважиной к настоящему времени, и анализ основных закономерностей этого распределения. Попутно определялось содержание калия, что позволяет уточнить и дополнить ранее полученные данные по распределению этого элемента.

Исследовался керновый материал, хранящийся в УГРЭ СГБ. При этом было поставлено условие обеспечения сохранности керна для его дальнейшего изучения. Ограниченность объема каменного материала, доступного для проведения измерений, при низком содержании естественных радиоактивных элементов в породах основного состава сделала поставленную задачу весьма непростой. Удовлетворительные результаты при анализе малоактивных проб могут быть получены лишь с высокоэффективным детектором, имеющим хорошую защиту от внешнего фона, при достаточно длительных экспозициях - в противном случае статистическая погрешность оказывается выше регистрируемого излучения пробы. В наших исследованиях был использован блок детектирования NaI(Tl) размером 150×150 мм с колодцем диаметром 50 мм, помещенный в свинцовую защиту толщиной 100 мм. Разрешение детектора по линии 662 кэВ составляло 13 %. Спектр гамма-излучения регистрировался спектрометрической установкой СУ-01Ф на основе многоканального спектрометра АМА-03Ф, сочлененного с персональным компьютером.

Несмотря на то, что экран обеспечивал практически полную защиту от внешнего излучения, создаваемого природными радионуклидами, остаточный фон оставался достаточно высоким: 35 имп/с в рабочем диапазоне энергий 220...2800 кэВ. Его источником являлись содержащиеся в материале детектора и защиты природные радионуклиды, главным образом  $^{40}\text{K}$ , пик которого четко выделяется в спектре фона. Кроме того, определенный вклад вносило и космическое излучение, для жесткой части которого толщина защиты требуется на порядки выше. Такой уровень фона заметно увеличивает статистическую погрешность. Для ее уменьшения измерения выполнялись с двухчасовой экспозицией, причем спектр записывался каждые 30 минут. Разбивка полной экспозиции на отдельные интервалы, во-первых, уменьшала искажение спектра из-за дрейфа усиления ФЭУ и, во-вторых, позволяла производить оценку воспроизводимости анализа и отбраковывать данные, при записи которых проявлялась аппаратурная нестабильность.

Отбор проб проводился со средним шагом порядка 10 м, однако из-за отсутствия подходящих образцов некоторые интервалы оказались исследованы с меньшей детальностью, тогда как другие изучены с шагом 3-5 м. Масса проб колебалась в интервале от 50 до 120 г, в среднем составляя 85 грамм. Герметизация и выдержка проб для накопления радона не производились, так как это значительно затруднило бы процесс измерений. Поскольку керновый материал не дробился, а содержание урана было очень низким, можно полагать, что вклад погрешностей, связанных с эманированием, в общую погрешность анализа был пренебрежимо малым.

Обработка спектров выполнялась по методу наименьших квадратов программой "СПЕКТР-МНК", разработанной одним из авторов [3, 4]. Использованный в программе алгоритм позволяет вдвое, по сравнению со стандартным "оконным" методом, уменьшить статистическую погрешность определения урана, втрое - тория и в полтора раза - погрешность определения калия. Кроме того, заложенный в алгоритм метод автоматического определения и учета дрейфа коэффициента усиления спектрометрического тракта позволил свести к минимуму влияние аппаратурной нестабильности. В результате средняя квадратическая погрешность определения всех трех элементов, рассчитанная по воспроизводимости последовательно выполненных четырехкратных измерений проб, полностью совпала с оценкой погрешности по статистике отсчетов и составила для урана 0,12 г/т, для тория - 0,35 г/т, для калия - 0,11 %. Анализы, в отношении правильности которых возникали сомнения, отбраковывались. В качестве критериев использовались степень совпадения зарегистрированного спектра с модельным, построенным из эталонных спектров, и величина отклонения значений содержания определяемых элементов, полученных в конкретном измерении, от среднего из четырех измерений. Для градуировки спектрометра использованы следующие стандартные образцы: УР-47 - 470 г/т урана; ТГС-2 - 340 г/т тория; сыннерит - 19,3 % калия. Определения, выполненные в лаборатории радиационного контроля Института испытаний УГГА, подтвердили указанные содержания с относительными отклонениями, не превышающими 10 %. Для контроля стабильности работы спектрометра несколько раз в день проводилась регистрация спектра образца УР-47. По этому же спектру производилась градуировка энергетической шкалы. По данным статистической обработки 460 анализов, средняя квадратическая воспроизводимость определения содержания урана в этом образце составила 0,5 % относительных.

Особое внимание при измерениях и обработке было уделено фону, так как уровень последнего значительно превышал эффект от излучения пробы, и ошибки в учете фонового излучения могли существенно исказить результаты анализа. Измерение фона производилось

ежедневно с часовой экспозицией. Для повышения статистической точности при обработке фоновые спектры приводились к стандартному масштабу 10 кэВ/канал и суммировались. Первоначально были просуммированы фоновые спектры, полученные в течение всего периода работы (июнь - октябрь 1999 года). Для контроля стабильности фона рядовые спектры были обработаны как спектры проб. При этом кроме неизбежных случайных отклонений от нулевого значения наметились долгопериодические отклонения. Так как причин для изменения собственного фона детектора нет, можно предположить, что отклонения связаны с вариациями космической составляющей, вызванными изменением атмосферного давления. Наличие подобных систематических погрешностей в результатах анализа совершенно недопустимо, так как может привести к ложным выводам о наличии повышенных или пониженных содержаний в какой-либо толще, если образцы принадлежащие этой толще, анализировались в период соответственно повышения или понижения фона. Поэтому суммирование спектров стали производить за более короткие периоды, составляющие 7...10 дней, выбираемые так, чтобы фон в течение этих периодов оставался относительно постоянным. Такое суммирование обеспечивало трех-пятикратное превышение суммарной экспозиции измерения фона над экспозицией измерения рядовой пробы. Соответственно относительный вклад статистической погрешности измерения фона в общую погрешность анализа был достаточно малым. Средняя квадратическая погрешность, полученная таким образом при обработке рядовых спектров фона (экспозиция 60 минут), составила: для урана - 0,24 (0,15) г/т, для тория - 0,46 (0,40) г/т, для калия - 0,09 (0,10) %. Здесь в скобках приведена оценка погрешности, рассчитанная исходя из статистики отсчетов. Заметно, что для урана и тория реальная погрешность несколько выше теоретической. Это может быть вызвано неполной компенсацией аппаратурной нестабильности либо остаточным влиянием изменения фона. В последнем случае можно было бы ожидать, что при обработке спектров фона получаемые значения содержаний будут изменяться синхронно. Однако проверка наличия парных корреляций между значениями содержаний радиоактивных элементов, получаемых при обработке фоновых спектров, дала отрицательный результат. Не обнаружено также корреляции между значениями содержаний, полученных при обработке фоновых спектров, и содержаний радиоактивных элементов в пробах, измеренных в тот же день, что и фон. Таким образом, приведенные данные позволяют утверждать, что результаты анализов содержат преимущественно случайные погрешности, которые могут быть уменьшены при усреднении данных по интервалам глубин.

### Результаты исследований

Распределение концентраций радиоактивных элементов по глубине представлено на рис. 1. Можно видеть, что разрез достаточно хорошо дифференцирован по всем трем компонентам. Так как из-за погрешностей анализа и неоднородности химического состава пород наблюдался большой разброс точек, на графиках тонкой линией показаны результаты, осредненные по пяти соседним точкам. Жирной линией показаны средние для отдельных выделенных слоев.

Средние содержания радиоактивных элементов по разрезу составили: уран - 0,4 г/т, торий - 1,6 г/т, калий - 0,9 %. Относительная средняя квадратическая вариация содержания калия по скважине несколько превышает 0,9. Примерно на таком же уровне (0,98) варьирует содержание урана, тогда как торий ведет себя более устойчиво, и соответствующая величина у него составляет всего 50 %.

Сопоставление распределений урана, тория и калия в целом по скважине не выявило корреляции между калием и ураном, калием и торием. Напротив, между содержанием урана и тория имеется четкая корреляционная связь (рис. 2) с коэффициентом корреляции  $r = 0.6$ , описываемая уравнением регрессии

$$C_{\text{Тл}} = 1,0 + 1,5 \times C_{\text{У}}, \quad (1)$$

где массовые доли урана и тория выражены в граммах на тонну. Хотя уран и торий ведут себя согласно, уран-ториевое отношение не остается постоянным: оно возрастает при увеличении содержания урана и уменьшается при его уменьшении. Такое поведение непосредственно вытекает из соотношения (1). В то же время не наблюдается какой-либо корреляции между этим отношением и содержанием тория.

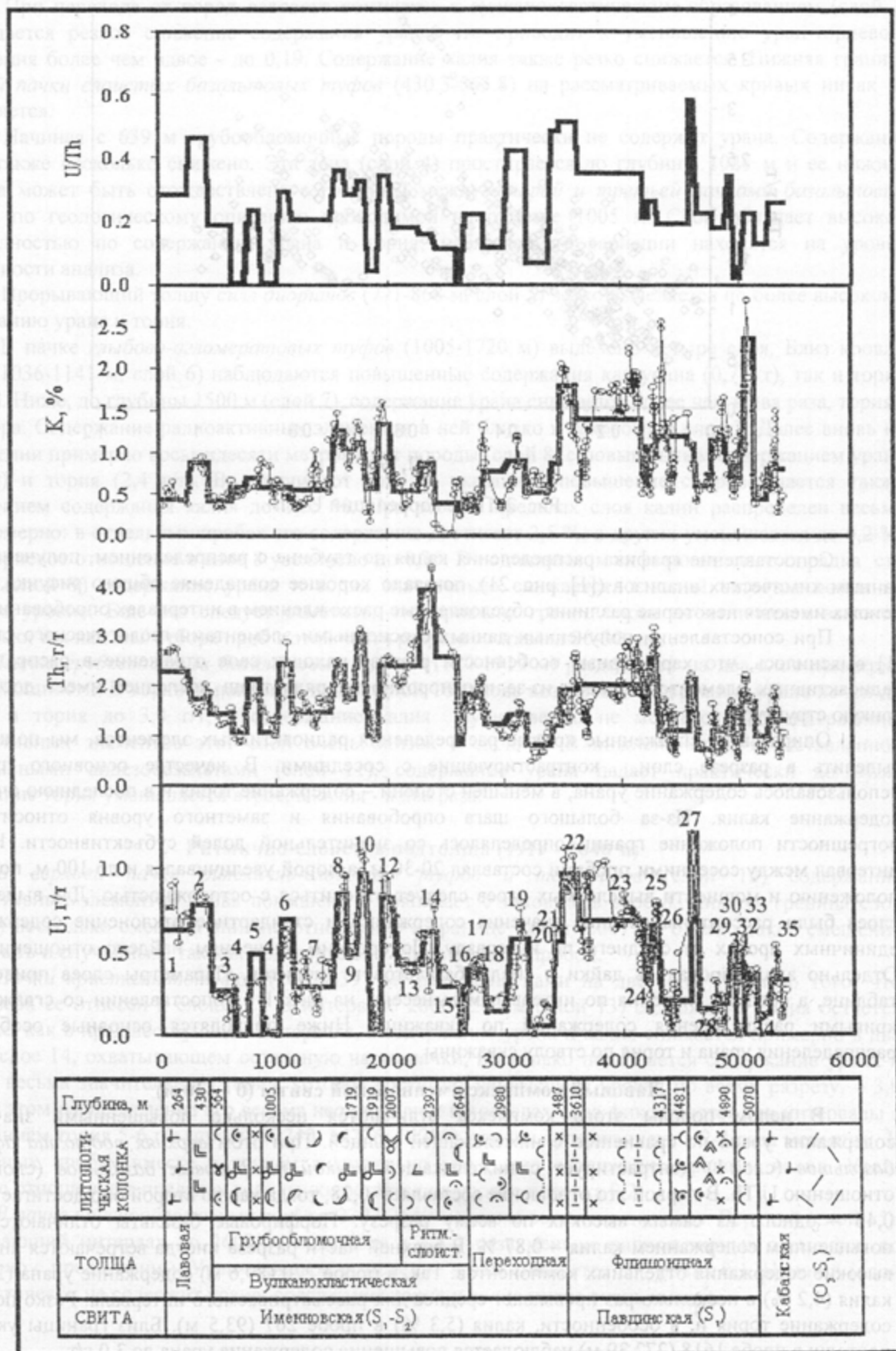


Рис. 1. Петрохимический разрез СГ-4

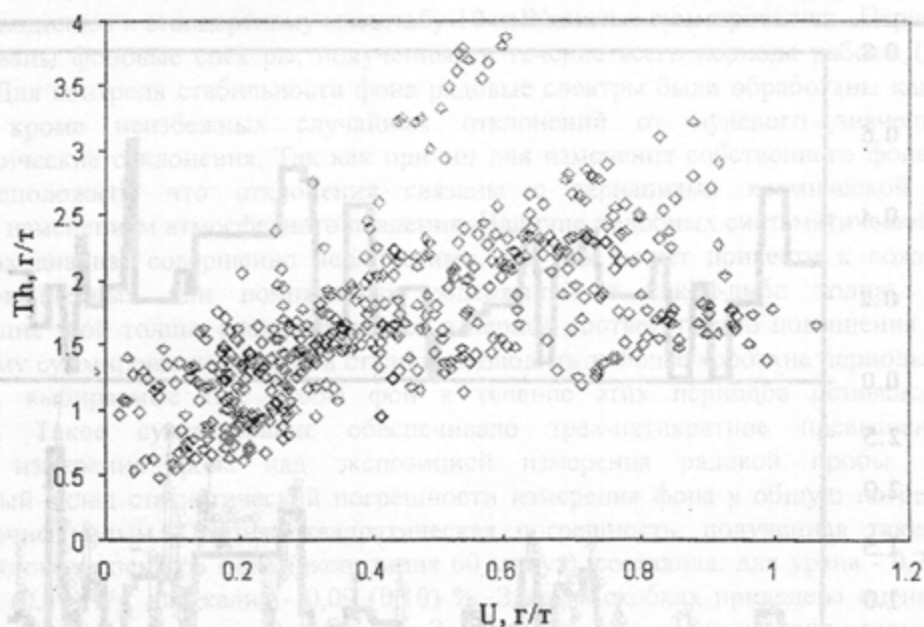


Рис. 2. Поле корреляции U-Th

Сопоставление графика распределения калия по глубине с распределением, полученным по данным химических анализов ([1], рис. 21), показало хорошее совпадение общего рисунка, хотя в деталях имеются некоторые различия, обусловленные расхождением в интервалах опробования.

При сопоставлении полученных данных с основными элементами геологического строения [1] выяснилось, что характерные особенности разреза находят свое отражение в распределении радиоактивных элементов, однако из-за неоднородности ряда толщ последнее имеет достаточно тонкую структуру.

Опираясь на сглаженные кривые распределения радиоактивных элементов, мы попытались выделить в разрезе слои, контрастирующие с соседними. В качестве основного признака использовалось содержание урана, в меньшей степени – содержание тория и в последнюю очередь – содержание калия. Из-за большого шага опробования и заметного уровня относительной погрешности положение границ определялось со значительной долей субъективности. Нередко интервал между соседними пробами составлял 20-30 м, а порой увеличивался и до 100 м, поэтому к положению и мощности выделяемых слоев следует относиться с осторожностью. Для выделенных слоев были рассчитаны средние значения содержаний и стандартное отклонение содержаний в единичных пробах от среднего по интервалу. По средним значениям найдено отношение U/Th. Отдельно анализировались дайки и силлы базальтов и диоритов. Параметры слоев приведены в таблице, а средние значения по интервалам вынесены на рис. 1 в сопоставлении со сглаженными кривыми распределения содержаний по скважине. Ниже приводятся основные особенности распределения урана и тория по стволу скважины.

#### Лавовый комплекс именовской свиты (0 - 430 м)

В целом породы этого комплекса отличаются несколько повышенными значениями содержания урана по сравнению с нижележащей толщей. При этом *верхняя подтолща афировых базальтов* (слой 1) контрастирует с нижележащей *пачкой порфировых базальтов* (слой 2) по отношению U/Th. В первой это отношение составляет 0,28, тогда как во второй оно достигает уровня 0,46 – одного из самых высоких по всему разрезу. Порфировые базальты отличаются также повышенным содержанием калия – 0,87 %. В верхней части разреза иногда встречаются anomalно высокие содержания отдельных компонентов. Так, в пробе 220 (89,6 м) содержание урана (2,4 г/т) и калия (4,2 %) в несколько раз превышает среднее для рассматриваемого интервала. Резко повышено содержание тория и, в особенности, калия (5,3 %) в пробе 267 (93,5 м). Близ границы указанных подтолщ в пробе 1618 (272,39 м) наблюдается повышение содержания урана до 3,0 г/т.

**Грубообломочная подтолща (430-1919 м)**

При переходе от пород лавового комплекса к вулканокластическим образованиям (слой 3) наблюдается резкое снижение содержания урана, что приводит к уменьшению уран-ториевого отношения более чем вдвое - до 0,19. Содержание калия также резко снижается. Нижняя граница *верхней пачки слоистых базальтовых туфов* (430.3-563.8) на рассматриваемых кривых никак не проявляется.

Начиная с 639 м грубообломочные породы практически не содержат урана. Содержание тория также несколько снижено. Эта зона (слой 4) простирается до глубины 1021 м и ее нижняя граница может быть отождествлена с границей между *второй и третьей пачками базальтовых туфов*, по геологическому описанию проводимой на отметке 1005 м. Слой обладает высокой однородностью по содержанию урана и тория; наблюдаемые вариации находятся на уровне погрешности анализа.

Прорывающий толщу *силл диоритов* (771-868 м, слой 5) четко выделяется по более высокому содержанию урана и тория.

В пачке *глыбово-агломератовых туфов* (1005-1720 м) выделено четыре слоя. Близ кровли пачки (1036-1141 м, слой 6) наблюдаются повышенные содержания как урана (0,7 г/т), так и тория (2,4 г/т). Ниже, до глубины 1500 м (слой 7), содержание урана снижается более чем в два раза, тория - в полтора. Содержание радиоактивных элементов в ней близко к таковому в слое 3. Далее вновь на протяжении примерно восьмидесяти метров идут породы (слой 8) с повышенным содержанием урана (0,8 г/т) и тория (2,4 г/т). В отличие от слоя 6, указанное повышение сопровождается также увеличением содержания калия до 1,25 %. При этом в пределах слоя калий распределен весьма неравномерно: в отдельных пробах его содержание достигает 2,5 %, в других уменьшается до 0,2 %. Уран-ториевое отношение в слое 8 увеличено до 0,35. В подошвенном слое мощностью порядка ста метров (слой 9) содержание урана и тория значительно снижается, а калий остается почти на прежнем уровне. Еще раз следует отметить, что привязка границ слоев не отличается высокой точностью, так как шаг отбора проб в этой части разреза составлял 20-30 м.

*Пачка грубослоистых базальтовых туфов* (1720-1919 м) разделяется на два слоя примерно равной мощности. В верхней половине пачки (слой 10) вновь возрастает содержание урана почти до 1,0 г/т и тория до 3,0 г/т, а содержание калия существенно не меняется. По содержанию радиоактивных элементов этот слой очень близок к слою 8. В нижней части, представленной примитивными андезобазальтами (слой 11), содержание урана падает практически до нуля, содержание тория уменьшается втрое, а калия - в два раза.

**Ритмично-слоистая подтолща (1919 - 2640 м)**

В *верхней пачке ритмично-слоистых туфов и тифроидов* (слой 12) содержание радиоактивных элементов вновь повышено и совпадает с таковым в слое 8. Нижняя граница слоя (2021 м) несколько смещена вниз по отношению к границе пачки (2007 м), однако такое смещение может быть и случайным, так как подтверждено единственной пробой.

*Пачка кристаллитотуфов* (2007-2397 м) разделена нами на две зоны (помимо того, что самый верх ее отнесен к слою 12). В интервале 2060-2273 м (слой 13) содержание тория остается таким же, как в предшествующем интервале, а содержание урана и калия снижается примерно в два раза. В слое 14, охватывающем остальную часть пачки, несколько повышается содержание урана и калия и весьма значительно - тория, которое достигает наивысшего уровня по всему разрезу, - 3,9 г/т. При этом распределение его весьма неоднородно: в пределах слоя фиксируются как интервалы с содержанием тория 5-6 г/т (пробы 13740, 14226, 14280), так и с содержанием, в 2-4 раза меньшим. В отмеченных пробах вместе с торием значительно увеличено содержание урана и калия. Уран-ториевое отношение в пределах всей пачки остается на уровне порядка 0,2.

В *пачке краснообломочных туфов* (2397-2640 м) также выделено два слоя. Верхний (слой 15), охватывающий интервал до 2600 м, содержит в 1,5-2 раза меньше радиоактивных элементов по сравнению с предыдущим. Уран-ториевое отношение в нем снижается до уровня 0,1. Нижний (слой 16) практически не содержит урана; содержание тория и калия также очень низкое.

## Содержание радиоактивных элементов в выделенных слоях

Слой		Число проб	Среднее			Стандартное отклонение			U/Th
от	до		U, г/т	Th, г/т	K, %	U, г/т	Th, г/т	K, %	
40.71	252.46	7	0.63	2.25	0.44	0.30	0.39	0.15	0.28
307.11	428.54	6	0.78	1.70	0.87	0.22	0.55	0.40	0.46
444.99	630.10	9	0.27	1.43	0.40	0.38	0.52	0.25	0.19
639.53	747.81 и	16	0.00	1.05	0.57	0.14	0.36	0.48	0.00
880.00	1036.40								
771.74	868.10	3	0.48	2.10	0.67	0.07	0.15	0.26	0.23
1036.40	1140.88	7	0.70	2.42	0.56	0.22	0.89	0.18	0.29
1148.39	1499.95	27	0.29	1.44	0.54	0.21	0.44	0.36	0.20
1540.1	1615.69	9	0.84	2.37	1.25	0.24	0.44	0.82	0.35
1624.19	1713.52	9	0.48	1.72	1.04	0.10	0.35	0.55	0.28
1740.52	1800.6	8	0.96	3.00	1.11	0.28	0.52	0.90	0.32
1820.45	1906.65	10	0.04	0.98	0.55	0.25	0.52	0.58	0.04
1932.14	2021.4	7	0.82	2.40	1.33	0.34	0.68	0.74	0.34
2059.75	2273	13	0.42	2.39	0.53	0.08	0.49	0.28	0.18
2284.4	2393.63	10	0.61	3.91	0.85	0.45	1.20	0.55	0.16
2422.7	2599.58	6	0.28	2.56	0.38	0.09	0.56	0.90	0.11
2601.73	2640.1	4	0.00	0.81	0.29	0.24	0.66	0.17	0.00
2668.57	2824.75	18	0.40	1.81	0.42	0.24	0.62	0.36	0.22
2835.78	3005.78	9	0.14	1.22	0.75	0.18	0.52	0.60	0.11
3046.4	3198.28	12	0.57	1.38	0.88	0.27	0.35	1.00	0.42
3208.74	3392.77	10	0.05	0.78	0.50	0.20	0.58	0.38	0.06
3409.23	3484.26	4	0.78	1.37	0.85	0.64	0.57	0.14	0.57
3487.46	3626.1	16	0.97	1.90	1.79	0.35	0.89	0.67	0.51
3641.90	4189.5	48	0.69	1.99	1.40	0.36	0.86	0.76	0.35
4197.43	4243.8	14	0.33	1.58	0.73	0.29	0.49	0.46	0.21
4248.63	4317.43	17	0.65	2.53	1.06	0.31	0.93	0.80	0.26
4334.96	4477.12	25	0.21	1.07	1.18	0.25	0.74	1.06	0.19
4588.84	4627.79	5	1.21	2.11	1.08	0.31	1.18	0.71	0.58
4649.39	4777.68	11	0.16	0.70	0.58	0.26	0.47	0.45	0.22
4783.87	4882.4	14	0.19	1.05	1.10	0.20	0.56	0.69	0.18
4925.8	4960.5	6	0.52	1.53	0.87	0.23	0.92	0.80	0.34
4972.2	5033.0	15	0.02	0.89	0.70	0.16	0.62	0.68	0.02
5036.2	5069.33	43	0.26	1.24	0.97	0.44	0.80	0.75	0.21
5070.74	5142.62	7	0.36	1.65	2.36	0.24	0.58	1.78	0.22
5151.01	5249.2	9	0.12	0.95	0.44	0.21	0.61	0.38	0.13
5267.51	5397.58	25	0.33	1.28	0.79	0.22	0.63	0.89	0.26

## Переходная толща (2640 - 3487 м)

Толща ритмично-слоистых туффитов и тефроидов (2640.1-2980 м) делится на два слоя. Содержание урана и тория в верхнем (слой 17), простирающемся до 2825 метров, находится на среднем уровне при низком уровне калия. Отношение U/Th равно 0,2. Слой 18, нижняя граница которого проведена нами на отметке 3006 м, частично захватывает небольшую часть следующей пачки. Этот слой характеризуется низким содержанием урана, следствием чего является низкое уран-ториевое отношение (0,1). Нужно сказать, что не наблюдается контрастного перехода между рассматриваемой и нижележащей пачками.

Псаммитовая вулканогенно-осадочная пачка (2980-3487 м) делится на три слоя. Верхний слой (слой 19) охарактеризован с глубины 3046 до 3198 м. По сравнению с вышележащей толщей в нем повышено только содержание урана до 0,6 г/т, тогда как торий и калий сохраняются на прежнем уровне. Уран-ториевое отношение в нем высокое - 0,4. Калий распределен очень неравномерно: в отдельных пробах его содержание возрастает до 3 %. Слой 20, охватывающий следующие 200 м, практически не содержит урана, содержание калия и тория уменьшено по отношению к предыдущему слою примерно в 1,5 раза. В подошвенной части пачки (слой 21) значительно возрастает содержание урана (до 0,8 г/т), благодаря чему отношение U/Th увеличивается до 0,6 - одно из наиболее высоких по разрезу. Содержания тория и калия близки к таковым в верхней части пачки. Повышение содержания урана объясняется либо влиянием даек диорита, прорывающих осадочную толщу, хотя сами дайки при подсчете средних значений были исключены, либо сорбцией урана углеродисто-кремнистыми алевrolитами.

### Павдинская свита (3487 - 5070 м)

*Верхняя тонкослоистая пачка* (3487-3610 м) - одна из наиболее богатых по содержанию урана (1,0 г/т), что связывается с присутствием в осадках углеродистого вещества. По сравнению с низами переходной толщи несколько повышено также содержание тория (1,9 г/т) и весьма существенно - калия (1,8 %). Уран-ториевое отношение высокое - 0,5. Нижняя граница слоя 22 проведена на глубине 3626 м, то есть слой захватывает верхушку нижележащей пачки.

*Пачка дацитовых туфогравитесчаников* (3610-4317 м) опробована неравномерно. Интервал 3750-3980 м представлен всего четырьмя пробами, тогда как в низах пачки шаг сгущался до 2-5 м. Хотя вариации содержаний радиоактивных элементов в пределах этой пачки достаточно велики, на большей части интервала не удалось выделить каких-либо однородных участков, и до глубины 4189 м он отнесен к одному слою (слой 23). Содержание урана (0,7 г/т) понижено по отношению к предыдущей пачке в 1,4 раза, поэтому отношение U/Th уменьшается до 0,35. В интервале 4197-4244 м (слой 24) содержание урана и калия снижается примерно в два раза при некотором уменьшении содержания тория. Соответственно уран-ториевое отношение падает до 0,2. В низах пачки (4249-4317 м, слой 25) содержание урана восстанавливается до уровня 0,65 г/т.

*Пачка туффитов смешанного состава* (4317-4481 м) отличается резким понижением содержания урана (0,2 г/т) и тория (1,1 г/т). Она целиком вошла в слой 26.

В пачке туфов и лав андезибазальтов (4481,3-4890 м) высокими концентрациями урана и тория отмечается силл диоритов, выделенный в слой 27 (4589-4628 м). Содержание урана в нем вдвое выше, чем в силле, прорывающем породы грубообломочной пачки в верхней части разреза (слой 5). Содержание калия также выше примерно в 1,5 раза. Ниже вновь идут породы с очень низким содержанием всех радиоактивных элементов (слой 28). Начиная с глубины 4783 м вплоть до границы с нижней тонкослоистой пачкой, выделен слой практически с тем же содержанием урана, но с увеличенным в полтора раза содержанием тория и в два раза - калия (слой 29).

*Нижняя тонкослоистая пачка* (4890-5070 м) начинается с маломощного (4925-4960) слоя 30 с заметно повышенным содержанием урана (0,5 г/т), а также тория (1,5 г/т), который сменяется слоем 31 (4972-5033 м), практически не содержащим урана, и с пониженным содержанием тория. Однако в этом слое встречен интервал с содержанием урана 2 г/т и тория - 2,6 г/т (проба 32837). Аналогичный интервал (проба 33009) обнаружен на границе с базальным слоем. Базальный слой пачки (слой 32) при среднем содержании урана (0,3 г/т) содержит повышенное количество тория (1,8 г/т).

### Кабанская свита (от 5070 м)

Верхняя часть *кабанской свиты*, выделенная в слой 33 (5071 - 5143 м), аналогична базальному слою павдинской свиты по содержанию урана и тория, но резко отличается очень высоким содержанием калия (2,4 %). Интервал 5151-5249 м (слой 34) сильно обеднен всеми радиоактивными элементами. Самый нижний интервал, вскрытый к моменту завершения измерений (до 5400 м - слой 35), также беден радиоактивными элементами, но их содержание несколько выше, чем в предыдущем слое. Таким образом, вскрытые скважиной породы кабанской свиты в целом имеют пониженное содержание урана и тория.

### Дайковые комплексы

Дайковые комплексы пород в разрезе Уральской сверхглубокой скважины представлены комплексом даек и силлов *диоритов*, дайками и силлами *нормальных базальтов*, дайками *высокомagneзиальных клинопироксеновых базальтов*, а также дайками *пикрит-базальтов*.

*Дайки мелкозернистых кварцевых диоритов* (3 образца), прорывающие породы псаммитовой вулканогенно-осадочной пачки в диапазоне глубин 3417-3448 м, по содержанию радиоактивных элементов не отличаются от рассмотренного ранее силла диоритов (771-868 м, слой 5). Можно предполагать, что они представляют собой дериваты одного и того же магматического очага.

*Дайки нормальных базальтов* (5 образцов), встреченные на глубинах от 91 до 2815 м, а также базальты, залегающие в виде силла (6 образцов), на глубине 4498-4578 м довольно бедны ураном (0,20 г/т), а по содержанию тория (1,4 г/т) и калия (0,86 %) близки к порфириновым базальтам слоя 2.

*Клинопироксеновые высокомагнезиальные базальты* (7 образцов), дайки которых встречены как в верхней части именованной свиты, так и в нижней части павдинской, обеднены по сравнению с нормальными всеми радиоактивными элементами. Среднее содержание урана, тория и калия составляет соответственно 0,12 г/т, 0,8 г/т и 0,54 %.

В двух образцах *пикрит-базальта*, дайки которого прорывают отложения нижней



тонкослоистой пачки павдинской свиты, содержание урана и тория оказалось ниже порога чувствительности анализа. То же самое можно сказать и о содержании калия в одном из образцов, однако в другом оно оказалось неожиданно высоким – 2,9 %.

Сопоставляя распределение радиоактивных элементов с другими данными по разрезу скважины, можно заключить, что оно определяется рядом факторов, часто наложенных друг на друга. Среди них можно выделить следующие.

*Химический состав пород.* В интервале, охватывающем нижнюю пачку отложений переходной толщи, и верхнюю – отложений павдинской свиты, поведение урана и калия аналогично поведению кремнекислоты: с повышением уровня  $\text{SiO}_2$  увеличивается и содержание в них указанных элементов. В меньшей степени такая связь прослеживается и для тория. Указанная закономерность четко прослеживается для пород дайкового комплекса, где наблюдается постепенное уменьшение содержания всех радиоактивных элементов при переходе от диоритов через нормальные и высокомагнезиальные базальты к пикрит-базальтам. Возможно, определенную роль играл и фактор метаморфизма: довольно четкое повышение содержания радиоактивных элементов на глубинах 3400-3500 м совпадает со сменой кварц-пумпеллит-пренит-хлоритовой ассоциации на существенно кальцит-эпидот-хлорит-пренитовую.

*Фациальная обстановка осадконакопления.* Как уже отмечалось, ряд локальных аномалий содержания урана приурочен к слоям, обогащенным углеродистым веществом и фосфором. Повидимому, повышенное содержание последних создавало условия для лучшей сорбции урана из растворов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башта К.Г., Горбунов В.А., Марченко А.И. и др. Уральская сверхглубокая скважина СГ-4 (путеводитель). Екатеринбург, 2000. 22 с.
2. Гурбанов А.Г. и др. Петрогенезис и возраст вулканических образований именновской свиты в разрезе Уральской сверхглубокой скважины по изотопным и геохимическим данным (интервал 0-4617 м) // Результаты бурения и исследований Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4) // Научное бурение в России: Сб. науч. тр. Вып. 5. Ярославль, 1999.
3. Игумнов С.А. Применение метода наименьших квадратов при обработке спектров гамма-излучения в экологии и геохимии // Изв. УГГА. Серия: Геология и геофизика. Вып. 5. 1996. С. 146-150.
4. Игумнов С.А., Семенов В.С., Фефелов В.А. Экспериментальная проверка эффективности программ обработки сцинтилляционных спектров // Радиационная безопасность Урала и Сибири: Мат-лы Всероссийской науч.-практ. конф. Екатеринбург, 1997. С. 53.

УДК 550.837.9

В.А. Серков, О.В. Захаров

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОЛЯ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ ИЗУЧЕНИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

При проведении детальной разведки месторождений рудных полезных ископаемых, особенно колчеданных, широко используется метод электрической корреляции [2]. При этом нередко измерения в нескольких скважинах производятся при фиксированном положении точечного источника тока в зарядной скважине, расположенного в пределах рудного интервала. Если процесс измерений по скважинам сопровождать определением потенциала точечного источника на поверхности и устьях измерительных скважин, то появится возможность выяснения распределения потенциала по скважинам относительного единого уровня. Иными словами, такое дополнение методики измерений позволяет получить значения потенциала заряда в трехмерном пространстве. По аналогии с термином “метод заряда” назовем эту методику измерений “методом объемного заряда”.

Очевидно, что изучение поля точечного источника тока в трехмерном пространстве более информативно с точки зрения исследования особенностей геоэлектрического строения среды, нежели анализ потенциала по отдельным скважинам или на поверхности. Вместе с тем существуют и определенные трудности проведения анализа такого поля, которые связаны с достаточно сложным