

Л. Г. РУСИНОВА, Л. В. БЫЛИНСКАЯ, Г. М. ШОР (ВСЕГЕИ),
Е. В. ПУЧКОВА (СПбГУ), М. И. БАЖЕНОВ, И. Ф. БРЕДИХИН,
И. М. РУБИНОВ (ФГУП «Березовгеология»)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ И МИНЕРАЛОГИИ МАЛИНОВСКОГО УРАНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

На основании нового аналитического материала по геохимии и минералогии Малиновского месторождения получены показатели рудоконтролирующих эпигенетических зон. Изучены углистые остатки и определены уровни концентрации в них химических элементов. Выявлены две ассоциации химических элементов — традиционная для экзогенного оруденения, и вероятно, связанная с поступлением флюидов из доюрского фундамента. Обоснована стадийность минералообразования.

On the basis of the new analytical material on geochemistry and mineralogy of Malinovskoye deposit, indices of ore-controlling epigenetic zones are obtained. Coaly remains are studied and levels of concentration of chemical elements in them are determined. Two associations of chemical elements are discovered — traditional for exogenous mineralization and obviously associated with fluids supply from the Pre-Jurassic basement. Stage-by-stage mineral formation is substantiated.

Малиновское месторождение, открытое в 1984 г., располагается в юго-восточной окраинной части Западно-Сибирской плиты и является характерным представителем месторождений, локализованных в базальных горизонтах позднеюрско-раннемеловых палеодолин [8].

Месторождение изучается коллективами ФГУП «Березовгеология», ВИМСа, ВСЕГЕИ, ИГЕМА РАН, ВНИИХТ, ВИРГ — «Рудгеофизика», Томского политехнического университета. Установлены литолого-фациальные особенности рудовмещающих аллювиальных отложений, их минеральный состав и окислительно-восстановительные типы. Выявлены и картированы рудоконтролирующие изменения пород окислительной направленности. Пострудные изменения связываются с проявлением глеевого восстановления, наложенного на окисленные породы. Доказана полиэлементность месторождения. Фрагментарно, но глубоко изучен минеральный состав руд. Предложена модель уранового рудообразования, ведущая роль в котором принадлежит грунтовому и более позднему пластовому окислительным процессам. В последние годы С. Ф. Винокуров и др. [3] высказали сомнения в рудоконтролирующем значении промышленной продуктивности инфильтрационно-го процесса и отвели явно доминирующую роль при образовании Малиновского месторождения эндогенным факторам. Установлена принци-

пиальная технологичность руд для скважинного подземного выщелачивания.

Некоторые важные вопросы геохимии и минералогии месторождения освещены в печати еще недостаточно. Однако геохимические и минералогические особенности руд и рудовмещающих пород имеют большое значение при установлении геологических предпосылок формирования и разработке региональных и локальных прогнозно-поисковых критериев и признаков уранового оруденения.

Керновый материал изучался по скважинам профиля минус 1200 и частично по сопредельным скважинам. Объектом специальных исследований был доюрский фундамент рудовмещающей палеодолины.

В лабораториях ВСЕГЕИ выполнены следующие виды анализов: рентгеноспектральный (U, Se, Pb, Y, Zr, Th, Rb, Sr) и приближенно-количественный спектральный — химические определения железа (46), углерода (23), гуминовых кислот (8); термический (15) и количественный спектральный — углистого вещества (25), рентгеноструктурный — глины и минералов, лазерный — минералов. Фазовое состояние урана изучалось с привлечением химических, изотопных, рентгеноструктурных, микроаналитических методов в лабораториях СПбГУ.

Рудовмещающие породы представлены разнородными песками и слабосцементирован-

ными песчаниками с подчиненными алеврито-глинистыми прослоями. Цемент песков глинистый, количество его в среднем 18—25 %. Изредка встречаются прослой карбонатного песчаника (≤ 1 м), а также известковистые гороховидные включения, имеющие диагенетическое происхождение. Органическое вещество присутствует в виде прослоев, крупных обломков, окатышей углефицированной древесины (в дальнейшем для краткости изложения именуется «уголь»), а также тонких пропластков и гнезд мелкого углистого детрита («детрит»). Размер отдельных частиц детрита ≤ 1 мм. В качестве включений отмечены также алеврито-глинистые катуны, минералогический состав которых тождествен цементу песков.

В составе терригенной фракции песков присутствуют плохоокатанные минералы и обломки пород доюрского фундамента. Минералы представлены кварцем, плагиоклазом среднего и основного состава, слюдами, калиевым полевым шпатом, эпидотом, гранатом, сфеном, пироксенами, амфиболами, ильменитом, апатитом, цирконом, турмалином, магнетитом.

Геохимические особенности рудовмещающих пород рассматриваются по зонам рудоконтролирующей эпигенетической зональности, имеющей трехчленное строение: зона пород, не измененных продуктивным процессом, зона уранового оруденения и зона окисления. В составе зоны оруденения выделяются ореол рассеяния и подзона урановых руд. В составе ореола в свою очередь целесообразно выделить участки начального накопления (начальный) и некондиционных руд (рудный). В рудной зоне руда бедная и богатая.

В зоне эпигенетически неизменных пород, представленной песками серого, зелено-серого, серо-зеленого цвета, содержание урана 3,4 г/т. Скандий присутствует в значительных концентрациях, в среднем 9,5 г/т. Другие элементы могут рассматриваться в качестве примесей (табл. 1). В таблицу включены данные анализов только песчаных пород.

Общее содержание железа в сероцветных песках 2,4 %. Преобладающей фазой практически повсеместно является закисное растворимое при низких значениях обломочного и сульфидного железа (рис. 1). Коэффициент восстановленности пород $K_{вос} = Fe^{2+}_p + Fe^{2+}_{сульф} / Fe^{3+}_p = 1,9$. Зеленоцветные пески характеризуются значительно более низким коэффициентом — около 1. Валовое содержание Fe в них низкое — 1,9 %. Слабая восстановленность пород проявляется в отсутствии дисульфидов железа в песках, лишенных видимых углистых остатков.

Количество рассеянного органического вещества также низкое ($C_{орг} \leq 0,01$). В мелкозернистых глинистых песках оно увеличивается до 0,03 %. Карбонатность ($C_{карб}$) 0,05 до 0,5 %. Определения кулонометрическим методом дают представление лишь об уровне содержания орга-

нического углерода, но не позволяют проследить дифференциацию его в рудном процессе.

Углистое вещество в концентрированном виде развито спорадически. По отражательной способности витринита $Ra = 5,5$ % (определения выполнены И. Б. Волковой — ВСЕГЕИ) и термографии (аналитики Л. Н. Фурмакова и Е. Л. Розина — ВСЕГЕИ). Оно относится к бурогольной стадии метаморфизма (рис. 2). Термограммы «угля» и «детрита» весьма различны, но идентичный интервал выгорания отражает их одинаковую стадию углефикации. Вариации ДТА могут быть обусловлены различным микрокомпонентным составом органических остатков. «Уголь» характеризуется одним экзотермическим пиком с началом выгорания (T_0) от 220 °С и максимумом (T_{max}) 350—370 °С.

Среди обширного спектра химических элементов, обнаруженных в углистых остатках, по отношению к их среднему содержанию в бурых углях [10] выделяются три группы с содержанием ниже, равным и превышающим их кларки для бурых углей.

К первой группе относятся Ge, P, As, Mo, а также Ag, Zn, вероятно, и W (обнаруженный только в угле и только в зарудной зоне). Создается впечатление, что эти элементы были вынесены в прерудную стадию. Так, Ge и P сохраняются в более «мощных» прослоях углей, причем только в их центральной части. Уровень их концентрации в «детрите» заметно ниже, чем в «угле». Оказалось, что первая группа состоит из элементов, наиболее типоморфных для «углей» (табл. 2).

Большая вторая группа элементов имеет содержания, близкие к их кларкам. В нее входят элементы «ванадиевой ассоциации» V, Ti, Cr, Co, Ni, а также Sr, Sc, La, Sn, Cu. Кроме V, все элементы слабо типоморфны. Превышение их концентрации в «детрите», в сравнении с «углем», указывает скорее всего на накопление в экзодиагенетическую стадию.

По содержаниям выше кларка (в 5—10 раз) выделяются Mn, Nb, Y, Zr, отнесенные Я. Э. Юдовичем к слабо и нетипоморфным элементам третьей группы.

Глинистый цемент песков в зарудной зоне состоит из смеси монтмориллонита и хлорита с подчиненным количеством гидрослюд. Хлорит магнетизально-железистый. Гидрослюды представлены смесью политипов $2M_1$ и $1M_1$.

Зона уранового оруденения визуально не отличается от зарудной. Рассмотрим ее геохимические особенности в соответствии с намеченной выше зональностью.

Среднее содержание урана в «начальном» ореоле составляет 10,5 г/т (табл. 1). Здесь, параллельно с ураном слабо увеличивается концентрация V, Mo, Cr, Ni. Уровень накопления аналогичный зарудной зоне сохраняют Se, Sc, Mn, Ga. Незначительно уменьшается содержание Co, Cu, Zn, Li.

СРЕДНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ЭПИГЕНЕТИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ

Элементы	Зоны уранового оруденения					Окисления, 21 ан.
	Зарудная, 12 ан.	подзона ореола рассеяния		подзона урановых руд		
		Начальная, 6 ан.	Рудная, 16 ан.	Бедная (<0,035%), 14 ан.	Богатая (>0,9%), 11 ан.	
U	3,4±1,3	10,5±5,6	59,1±20	196,6±80	5093,6±4076	23,6±22
Rb	Нет данных	49,5±6	45,9±5	43,6±4	28,4±18	46,1±4
Sr	»	213,3±32	167,5±13	175,7±18	164,5±17	177,7±22
Zr	»	126,5±62	141,6±32	124,2±24	89,6±65	142,7±49
Y	»	17±2	14,5±3,0	14,9±5	26,4±20	22,0±28
Pb	»	8,1±0,9	17,1±8,8	22,0±13	132,8±160	9,2±4
Th	3,9±1,1	3,9±1	3,9±0,7	3,7±0,8	1,5±0,9	4,0±1
Se	Нет данных	2,1±1	219,2±319	439,4±838	556,4±1058	34,2±98
V	55,2±21	75,0±12	207,4±107	194,3±166	854,5±1211	86,1±33
Cr	43,7±21	86,6±16	93,7±14,0	78,6±20	82,9±33	93,4±59
Co	16,3±5	12,7±5	12,4±2,0	10,8±2	12,2±3	12,3±4
Ni	22,1±9	35,8±12	47,5±4	37,5±8	34,7±13	36,1±13
Sc	9,5±1	9,3±2	9,9±1	9,5±2	8,1±3	9,9±2
Li	19,1±6	15,8±9	13,3±6	10,8±5	16,5±6	9,8±3
Mo	1,3±0,5	2,5±1,4	6,0±5	18,3±13	9,0±9	2,8±2
Cu	30,8±7	24,2±10	17,5±3	17,1±5	17,9±4	18,9±6
Zn	73,3±36	56,7±24	50,6±7	48,6±16	33,7±18	50,0±16
Ga	10,9±1,8	10,5±2,6	10,2±2	8,8±2	8,0±2	8,0±3
Mg	Нет данных	0,5±0,05	0,81±0,3	0,7±0,2	0,6±0,3	0,7±0,3
Ca	»	0,6±0,2	0,32±0,1	0,6±0,4	0,2±0,10	0,5±0,2
K	»	1,7±0,4	1,6±0,4	1,4±0,3	1,15±0,6	1,4±0,3
Na	»	0,8±0,1	0,85±0,3	0,8±0,3	0,7±0,3	0,7±0,2
Ba	0,05±0,05	0,08±0,02	0,07±0,08	0,06±0,01	0,11±0,02	0,05±0,01
Ti	0,5±0,1	0,4±0,1	0,42±0,08	0,4±0,07	0,33±0,15	0,38±0,10
Mn	0,13±0,2	0,09±0,1	0,06±0,006	0,07±0,03	0,07±0,01	0,06±0,01

Примечание. Элементы U ... Ga – в г/т, Mg ... Mn – в %.

В «рудном ореоле» наряду с ураном ($C = 59,1$ м г/т) заметно увеличивается содержание V, Se, Mo, Pb, причем V и Se образуют кондиционные руды. В максимальных концентрациях в этой подзоне обнаружены Cr, Ni, Zr, Mg. Другие элементы либо сохраняют уровень своего накопления (Sc, Th, Rb, Ga), либо незначительно его снижают (Cu, Zn, Ti, Mn, Ba, Li). Закономерности зонального распределения элементов, близкие к рассмотренным, выявлены А. А. Поцелуевым и др. [6], несмотря на естественные различия в абсолютных значениях, определяемые другим первичным каменным материалом и иными аналитическими методами. Спектр элементов, накапливающихся в этой подзоне, расширен за счет As, Ag, Au, Re, La,

Се [6]. Влияние эпигенетического процесса сказывается и на содержании W, источником которого является россыпной шеелит, первоначально подчинявшийся фациально-литологическому контролю.

В фазовом состоянии железа ($C = 2,11$ %) происходит заметное перераспределение: доля $Fe^{+3}_{\text{раст}}$ уменьшается, $Fe^{+2}_{\text{раст}}$ и $Fe^{+2}_{\text{сульф}}$ увеличивается (рис. 1, табл. 3). В тяжелой фракции повсеместно присутствуют дисульфиды железа.

Подзона урановых руд имеет прихотливую морфологию, связанную не только с литологией вмещающих пород, но, вероятно, и с геохимической неоднородностью среды. В рудообразующий процесс вовлекается широкий спектр элементов, среди которых выделяются

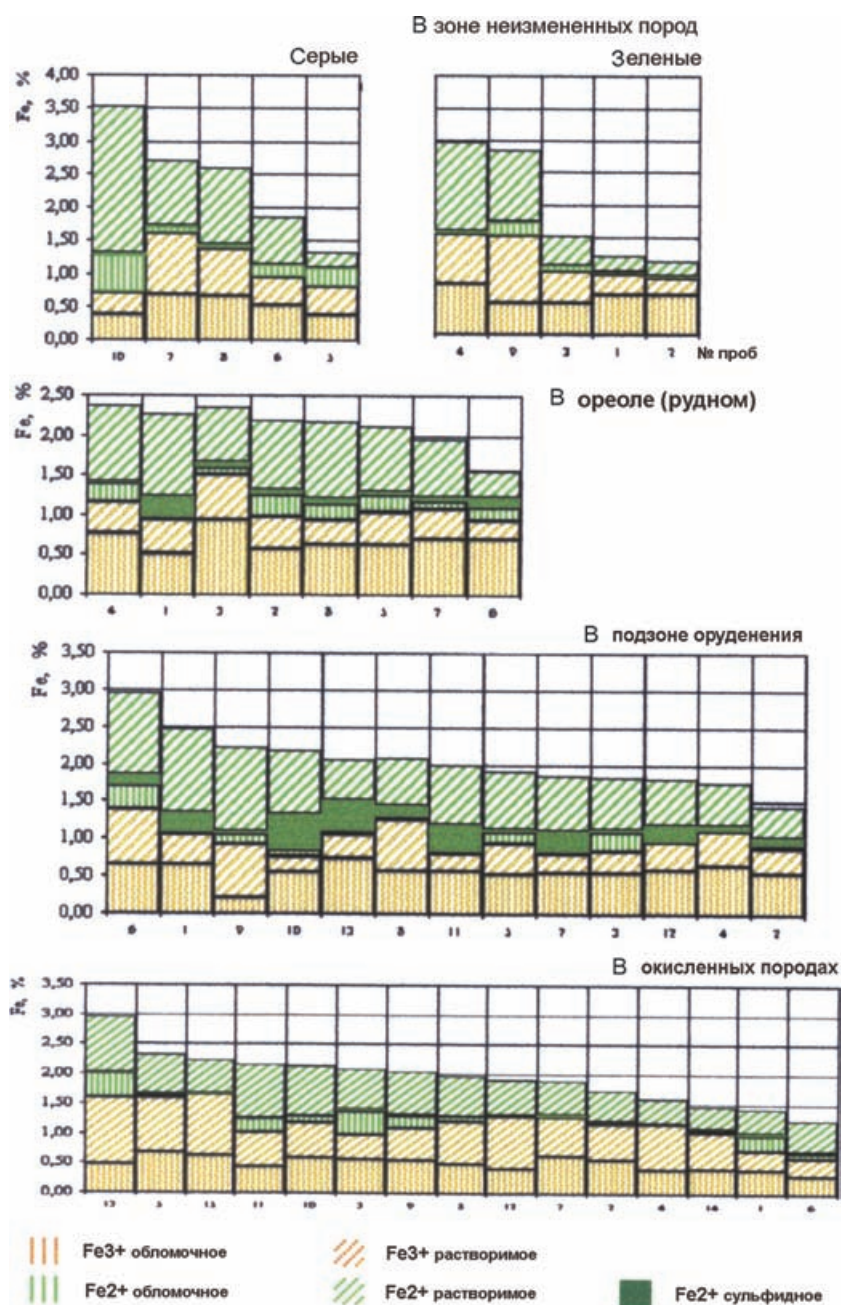


Рис. 1. Гистограммы фазового состояния железа в эпигенетической зональности

две группы. Первая состоит из элементов-спутников урана, во вторую объединяются элементы, уменьшающие свою концентрацию в рудах.

Элементы-спутники представлены обычной ассоциацией, характерной для экзогенных урановых месторождений: Se, V, Mo, Pb. Рудные концентрации Se (в меньшей степени V) развиты более равномерно, чем U. Среднее содержание Mo незначительно. Корреляционные связи в этой ассоциации (кроме Mo) $> 0,85$. К спутникам урана можно отнести также Y (табл. 1, рис. 3).

Во вторую группу входят Ni, Co, Zn, Cu, Sr. Они находятся в отрицательной корреляции со спутниками урана и отчетливо положительной со щелочными и щелочноземельными элемен-

тами, несколько варьируя в разных подзонах (рис. 3). Эта ассоциация хорошо изучена в эндогенных процессах. На Малиновском месторождении ее, вероятно, можно связывать с поступлением флюидов из доюрского фундамента.

Валовое содержание железа приблизительно сохраняет свой уровень (рис. 1, табл. 3). Значительно увеличивается доля сульфидного Fe, сокращается окисная растворимая фаза, как и на всех месторождениях окислительной зональности. Показатель восстановленности увеличивается до 2,34. Нестабильность геохимической обстановки отражается в значительной вариации $K_{вос}$ от 1,2 до 5,7. Характерно отсутствие корреляции между содержанием U и $K_{вос}$ (рис. 4). Следует отметить, что степень восстановленности

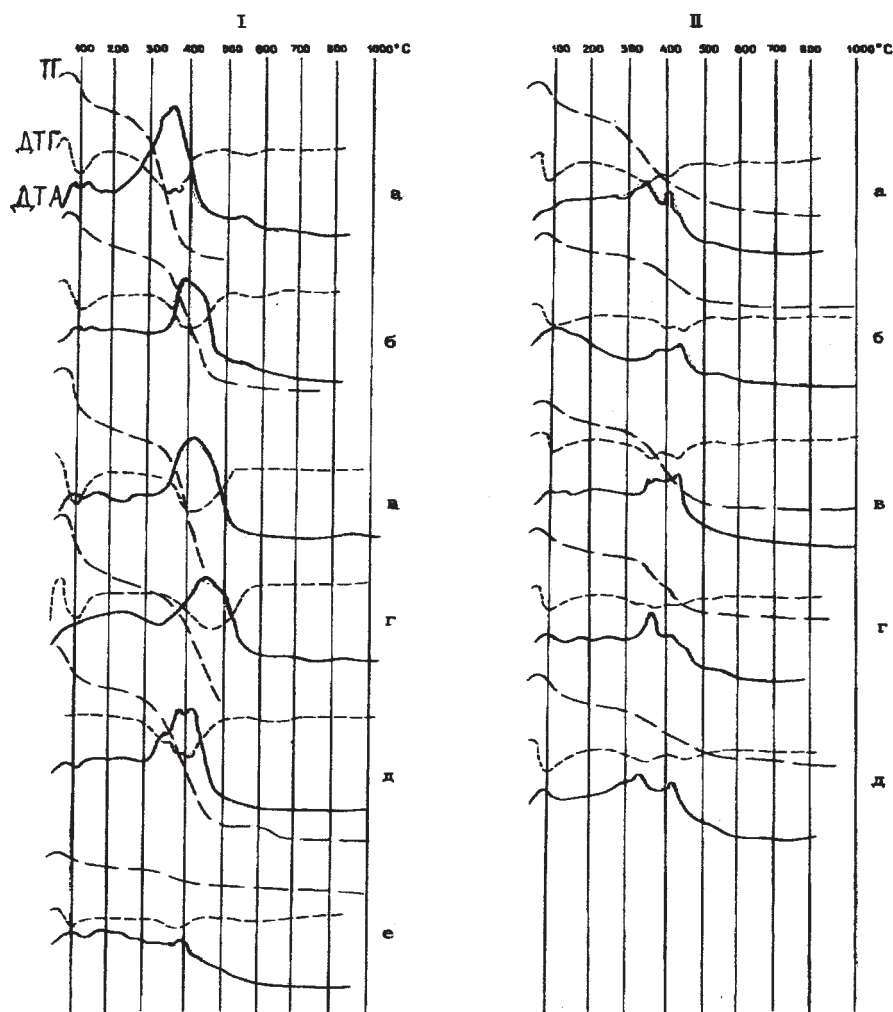


Рис. 2. Термограмма углей (I) и мелкого углистого детрита (II) из различных зон эпигенетической зональности:

а — зона неизменных пород, *б* — ореол рассеяния (рудный), *в*, *г* — подзона уранового оруденения, *д* — зона окисления, *е* — гуминофицированный уголь в зоне окисления

оруденелых пород в целом низкая. Это хорошо видно при сравнении их со слабовосстановленными верхнемеловыми осадками Чу-Сарысуйской урановорудной провинции Казахстана, где $K_{вос}$ руды в два раза выше (4,4), чем в зарудной зоне.

В угле и углистом детрите (менее отчетливо) увеличивается степень метаморфизма. Отражательная способность витринита поднимается до $Ra = 9,5\%$. T_0 и T_{max} заметно сдвигаются в область более высоких температур (рис. 2). Подобные преобразования связываются с радиационным воздействием [7].

Характер поведения элементов-примесей в органическом веществе трех выделенных групп проявляется различно. Элементы первой группы накапливаются в руде. Для Ge, P, As это характерно как для прослоев угля, так и для детрита, а для Mo и Zn только для детрита. Высокие концентрации U в углистых остатках установлены на основании единичных определений PCA. Уран также относится к элементам, типоморфным для углей. Его накопление позволяет предполагать возможность аккумуляции в углях других типоморфных элементов — Se, Au, Ag, высокие содержания которых под-

тверждены единичными анализами. Hg, W, Sr спектральным анализом не установлены. Среди элементов второй группы накапливается V, что отвечает его типоморфным свойствам. Другие члены «ванадиевой ассоциации», а также Cu, Sn увеличиваются незначительно. Прочие элементы сохраняют свой уровень накопления. В третьей группе незначительно уменьшается содержание Mn и Y и несколько увеличивается Zr и Nb (табл. 2).

Минералогический состав глинистой фракции по данным рентгеноструктурного анализа во всех зонах одинаков. Отмечается появление в богатых рудах новообразованного железистого хлорита (типа шамозита) и более диффузной структуры монтмориллонита.

Зона окисления визуально плохо диагностируется. Пески окрашены в желтовато-зеленые, зеленые, реже желтые и буро-желтые тона. Среднее содержание урана 23,6 г/т. Обстановка слабой фиксации урана сохраняется не только вблизи выклинивания, но и в мелких прослойках на удалении от него в форме сорбированной лимонитом (табл. 1). Медианное значение U на удалении от выклинивания зоны составляет 5,5 г/т. Для многих элементов уровень содержания

**СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В УГЛИСТЫХ ПРОСЛОЙКАХ И ДЕТРИТЕ
В РАЗЛИЧНЫХ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИХ ЗОНАХ**

Элементы	Углистые прослойки				Детрит			Кларк бурых углей; условия накопления элементов по Э.Я. Юдовичу и др. [10]
	Зарудная зона, 4 ан.	Ореол, 3 ан.	Руда, 1 ан.	Зона окисления, 3 ан.	Ореол, 3 ан.	Руда, 5 ан.	Зона окисле- ния, 3 ан.	
Ge	< -2	< -6	6	<	<	$\frac{20-50}{30}$	<	1,5 ± 0,3, типоморфен
P	$\frac{< -43}{<}$	<	300	$\frac{< -500}{<}$	<	$\frac{< -500}{300}$	<	130 ± 35, типоморфен
As	<	<	300	150	<	$\frac{< -1000}{350}$	<	14 ± 4, типоморфен
Mo	$\frac{0,06-0,14}{0,09}$	$\frac{0,15-0,3}{0,2}$	<	20	0,2	$\frac{0,5-120}{63}$	< -1,5	2,4 ± 2, типоморфен
Zn	Сл. -6,1	< -15	<	<	< -80	$\frac{< -300}{110}$	< -60	18 ± 4, син- и эпигене- тические накопления
Ag	$\frac{0,11-0,039}{0,018}$	< -0,01	<	<	<	<	<	0,3 ± 1, син- и эпиге- нетические накопления
V	$\frac{110-980}{400}$	$\frac{1000-3000}{1800}$	200	$\frac{1000-5000}{4000}$	250	$\frac{300-3000}{1200}$	$\frac{300-1000}{700}$	45 ± 5, в углистых вклю- чениях 800–1000, типо- морфен
Ti	$\frac{86-2000}{810}$	$\frac{75-4000}{1200}$	300	$\frac{5000-8000}{7000}$	1000	$\frac{400-3000}{1500}$	$\frac{400-5000}{2000}$	500 ± 300, накаплива- ется в составе «вана- диевой ассоциации»
Cr	$\frac{22-46}{37}$	$\frac{38-50}{45}$	<	$\frac{80-300}{230}$	50	$\frac{30-80}{40}$	$\frac{30-500}{(30)}$	12 ± 2, в углистых включениях много вы- ше; слабо типоморфен
Co	$\frac{0,9-1,5}{1,3}$	$\frac{0,8-4,5}{2,4}$	<	$\frac{30-60}{50}$	4–15	$\frac{5-30}{15}$	30	3,4 + 0,3 в углистых включениях в 2 раза выше, средняя типо- морфность,
Ni	$\frac{2,2-3,7}{2,8}$	$\frac{3,0-3,8}{3,3}$	<	40	15	$\frac{6-25}{15}$	1–30	8 ± 2 в углях включе- ния в 2 раза выше, слабая типоморфность
Sr	$\frac{130-220}{180}$	$\frac{110-300}{200}$	30	250	300	$\frac{200-500}{350}$	$\frac{400-3000}{1000}$	130 ± 24, типоморфен (?), диагенетическое на- копление
Sc	$\frac{1,8-5,0}{2,8}$	$\frac{1,2-5,9}{3,7}$	<	40	6	$\frac{6-15}{11}$	$\frac{6-10}{8}$	2–3, слабо типоморфен
La	$\frac{1,2-2,9}{2,2}$	$\frac{0,79-4,9}{2,9}$	<	< -30	сл	сл–50	$\frac{сл-60}{(60)}$	3–10
Sn	$\frac{0,22-0,97}{0,38}$	$\frac{0,22-2,0}{0,9}$	<	20	< -1,0	<	< -10	10 ± 0,2, слабо изучен
Cu	$\frac{0,72-24}{8,03(3,7)}$	$\frac{1,5-2,0}{11,5}$	0,1	100	30	$\frac{20-200}{60}$	$\frac{30-100}{70}$	7,5 ± 2,1, син- и эпигене- тические накопление, не- высокая типоморфность
Mn	$\frac{180-2900}{812}$	$\frac{300-990}{630}$	200	$\frac{1000-5000}{4000}$	$\frac{200-800}{500}$	$\frac{100-600}{280}$	$\frac{300-2000}{1000(500)}$	100 ± 12, не типомор- фен
Zr	$\frac{8,6-120}{81(95)}$	$\frac{75-1000}{338}$	100	300	150	$\frac{150-500}{250}$	200	30 ± 3, не типоморфен
Nb	$\frac{2,9-22}{9,2}$	$\frac{3-30}{15,2}$	<	$\frac{40-60}{50}$	12	$\frac{< -30}{20}$	$\frac{10-40}{23}$	1–2 ± 0,4, не типомор- фен
Y	$\frac{19-140}{62(29)}$	$\frac{20-69}{48,5}$	<	45	30	$\frac{10-50}{27}$	$\frac{25-150}{75}$	6–7, во включениях много выше, слабо ти- поморфен

Примечание. В числителе минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее, в скобках – количество анализов.

ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗА В ЭПИГЕНЕТИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ
(аналитики Н.Ю. Бунакова, М.Б. Богданова, Т.А. Тарасова – ВСЕГЕИ)

Эпигенетические зоны	Fe _{вал}	Fe ²⁺						Fe ³⁺				$\frac{Fe_p^{2+} + Fe_s^{2+}}{Fe_p^{3+}}$
		раствори- мое		сульфидное		обломочное		растворимое		обломочное		
		сод., %	% от Fe _{вал}	сод., %	% от Fe _{вал}	сод., %	% от Fe _{вал}	сод., %	% от Fe _{вал}	сод., %	% от Fe _{вал}	
Неизмененных пород, 10 ан.	2,18	0,88	40,4	0,012	0,6	0,16	7,3	0,57	26,1	0,56	25,7	1,56
Оруденения												
ореол, 8 ан.	2,11	0,79	37,4	0,09	4,5	0,17	7,9	0,39	18,5	0,67	31,7	2,25
руда, 13 ан.	2,04	0,75	36,8	0,21	10,3	0,11	5,4	0,41	20,6	0,55	26,9	2,34
Окисления, 15 ан.	1,94	0,62	32,1	0,02	1,1	0,13	6,7	0,67	34,0	0,49	26,0	0,95

соизмерим с таковым в ореоле рассеяния (рудном) при значительно большем коэффициенте вариации (табл. 1). Резко падает содержание Se (медиана 1 г/т), но вблизи выклинивания зоны отдельные участки обогащены им до 140 г/т, V распространен более равномерно, но концентрации > 0,01 % развиты лишь непосредственно на контакте с рудой (1 м). В заметных концентрациях здесь же присутствует Y. Его распределение крайне неравномерно — при медианных значениях, соизмеримых с ореолом «начальным», стандартное отклонение выше, чем в руде (табл. 1).

Приконтактные и удаленные части зоны окисления различаются по соотношению форм железа — чем дальше от выклинивания, тем отчетливее преобладает Fe⁺³_{раст} — от 20—30 (пробы 10—15) до 40—50 % (пробы 1—3, 8—9) соответственно от валового содержания (рис. 1). Среднее содержание Fe в целом 1,94 %, K_{вос} = 0,95 (табл. 3).

Углистые включения сохраняют свой внешний облик вблизи выклинивания зоны окисления и сильно преобразуются на удалении от него. Начальная степень изменения отражается на термограммах в виде слабой деструкции органического вещества (рис. 2, д). Вдали от выклинивания мелкий детрит полностью выгорает, местоположение его маркировано бурыми гидроокислами железа. Органическое вещество в относительно крупных прослоях приобретает тусклый цвет, клеточная ткань частично замещается хлоритом. Петрографически оно описывается как «органическое вещество с обрывками витринита», Ra = 5,3 %. Резко отлична его термограмма (рис. 2, е). Качественным химическим анализом определен их состав, представленный гуминовыми кислотами (от 60 до 100 %), связанными в органоминеральном комплексе.

Содержание элементов-примесей в зависимости от принадлежности к той или иной груп-

пе либо уменьшается (первая группа) либо увеличивается (вторая и третья группы). Эта тенденция прослеживается как для детрита вблизи выклинивания, так и для гуминофицированного углистого вещества в глубокой зоне окисления. В последней зафиксированы максимальные концентрации V, Ti, Mn, Sr.

Урановое оруденение Малиновского месторождения относится к урано-черниевому с настураном типом. Работами Г. А. Тархановой [1], И. Ф. Бреднихина [2] установлено, что урановые черни являются тонкодисперсными образованиями сажистого облика, сложенные коффицитом и оксидами урана. Они пропитывают глинистые минералы и углефицированные обломки растений в виде рассеянных микровключений, образуют налеты и тонкие корочки на сульфидах, проникают по микротрещинам в кварцевые зерна, нарастают на грани обломочных зерен полевых шпатов. Настуран встречается лишь в богатых рудах (U > 1,0 %) в виде выделений почковидной формы, локализуясь в порах песчаников, а также в обломках углефицированных растительных остатков. Минерал образует почки размером до 0,1 мм. Обладает сильным смоляным блеском. Состав минерала (%): U > 20, Fe — 10, Ti — 0,5 (г/т): V — 1000, Cr — 1000, Cu — 1000, Pb — 150 (аналитик Н. П. Баландина). По данным И. Ф. Бреднихина содержание урана в минерале до 70 %. Некоторые зерна настурана имеют тончайшую вкрапленность галенита и клаусталита. Микронзондовым анализом определен Nb (рис. 5).

В углистых остатках наблюдается определенная зональность: в центре их настуран образует мономинеральные выделения в виде почек и скорлупок, располагаясь по зонам «тяжей» в угольной массе, по периферии настуран ассоциирует с колломорфным пиритом и марказитом, облекая их с краев и проникая внутрь агрегатов. По данным микроспектрального анализа

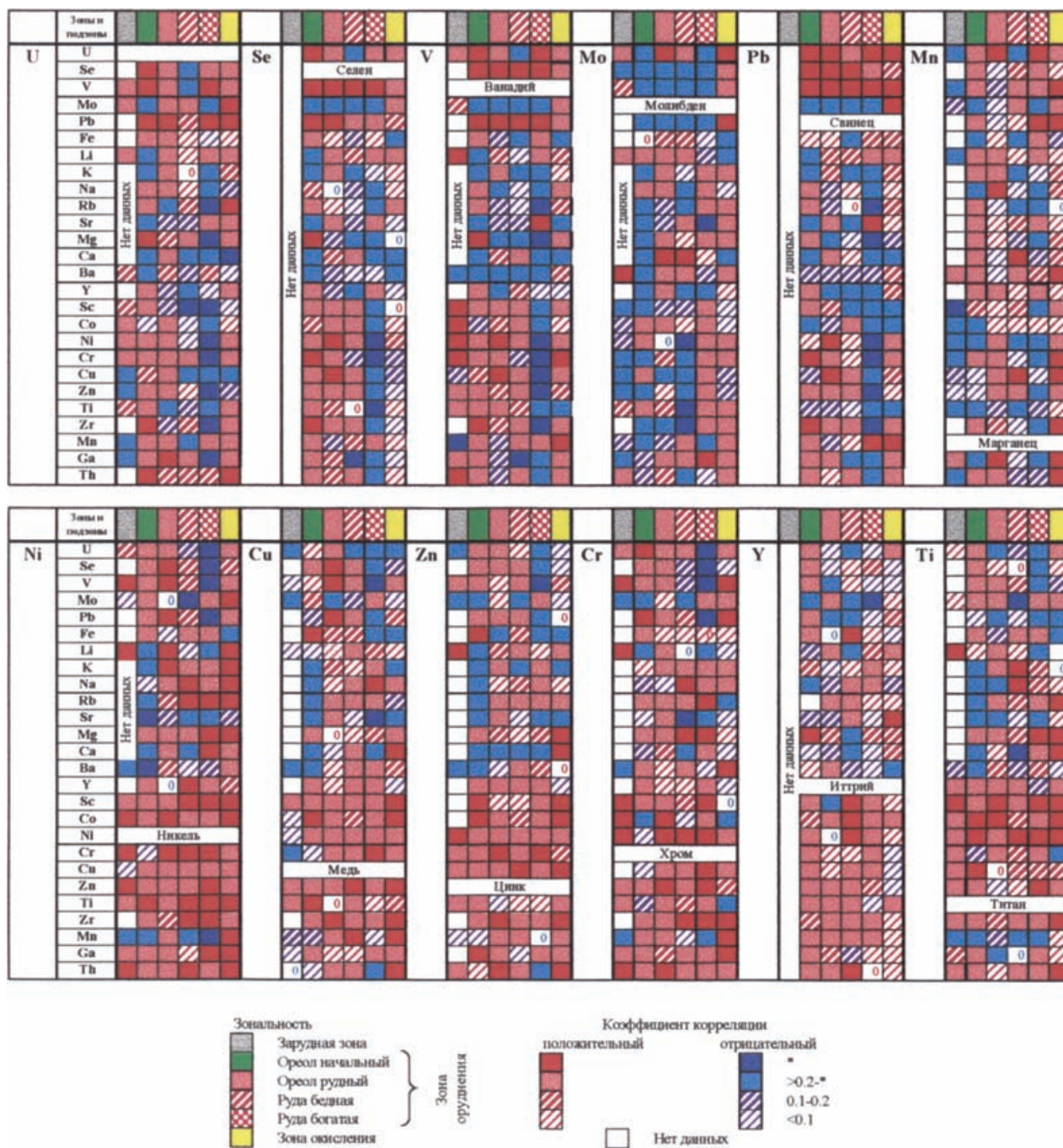


Рис. 3. Корреляция элементов в эпигенетической зональности

настуран-пиритового агрегата: Fe > 10, U — 1, Ti — 0,02, Mn — 0,5, Ba — 0,03 %; V — 150, Cr — 10, Co — 20, Ni — 150, Zr — 80, Y — 60, Cu — 60, As — 200 г/т (аналитик Н. П. Баландина).

В песчаниках, содержащих вкрапления настурана, обломочные зерна плагиоклаза каолинизированы, а по плоскостям спайности плагиоклазов развит гидрогематит.

Валентное состояние урана в рудах изучалось методом химических сдвигов энергии эмиссионных L_{α} и L_{β} примесей. Установлено, что уран в рудах находится одновременно в трех со-

стояниях — четырех-, пяти- и шестивалентном. При этом преобладает U^{5+} (49—70,4 %), меньше U^{6+} (23—48,9 %) и очень мало U^{4+} (1,9—15,6 %). Лишь в одной пробе количество U^{4+} достигает 15,6 %. Эти данные свидетельствуют о высокой степени окисленности урана, что согласуется с минеральным урано-черниевым составом руд, содержащем небольшое количество настурана.

Отношение активностей изотопов $^{234}U/^{238}U$, определенных методом α -спектроскопии, показывает либо значения, близкие к 1 (равновесное

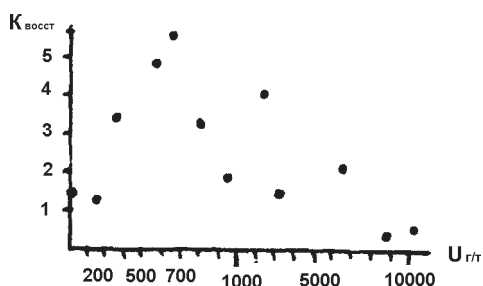


Рис. 4. Соотношение содержания урана и коэффициента восстановления пород по железу

состояние руд), либо характеризуется большим разбросом значений от 0,68 до 1,27. Причем равновесные руды тяготеют к области геохимического барьера.

Урановым минералам в рудах сопутствуют многочисленные сульфиды и окислы: пирит, марказит, ферросилиит, молибденовые черни, монтрозеит, гетит, анатаз. Из петрогенных минералов отмечаются альбит, карбонаты, барит, апатит, флюорит, гипс*.

Пирит встречается в нескольких разновидностях: кристаллический (кубической и октаэдрической форм), некристаллический — зернистые колломорфные агрегаты, скопления мельчайших шариков (фрамбоидальный пирит). Ассоциации с урановыми минералами слагают фрамбоидальные, колломорфные и зернистые модификации пирита.

Марказит — крупные шестоватые кристаллы и их сростания, а также мелкие призматические кристаллы. В урановых ассоциациях встречается гранобластовый и тонкопризматический марказит.

Ферросилиит образует тонкоигльчатые кристаллы и их сростания (двойники, тройники).

Молибденовые черни обнаружены вместе с урановыми в краях угольных «окамышей». Это сажистые образования, содержащие уран (1,7 %) и железо (3,6 %) и молибден (0,06 %).

В ходе выполненных микроскопических исследований (при увеличении 1500х в отраженном свете) обнаружены тонкопластинчатые кристаллы монтрозеита, пронизывающие гуминофицированные разности углей, обогащенные ванадием (> 0,5 %) и железом (> 1,0 %). Серобелый цвет и резкая анизотропия в отраженном свете позволяют отнести этот минерал к монтрозеиту. Этот минерал подтвержден электронно-микроскопическим анализом [1].

Анатаз образует скопления мелких бипирамидальных кристалликов, нарастающих на стенки клеток углей. Ассоциирует с альбитом и хлоритом.

* Некоторые минералы (в частности альбит и карбонат) распространены не только в рудной зоне, но и в зонах окисления, а также неизменных пород.

Альбит обнаружен на месторождении впервые. В порах песчаников альбит образует белые комочки сросшихся тонкопластинчатых кристалликов и вместе с шамозитом нарастает в виде корочек на поверхности углей, а также развивается по их клеточным пустотам. Рентгеноструктурный анализ зафиксировал структуру плагиоклаза с содержанием анортитовой составляющей 5—10 % и низкой степенью упорядоченности (0,6), что отвечает альбит-олигоклазу № 5—10.

Барит, апатит встречены в тяжелых фракциях песков. Новообразованный барит установлен также в углях в виде удлиненных пластинок размером 1 мк.

Гипс образует наросты на углях. Его удлиненные копьевидные кристаллы либо единичны, либо собраны в пучки, веера.

Опал развит в порах песчаника в виде корок, окрашенных в серо-голубой цвет, (N — 1,510).

Каолинит и хлориты, зонально чередуясь друг с другом, образуют наросты на углях, а также псевдоморфозы по клеточной ткани углей. Представляется, что подобные псевдоморфозы тяготеют к области геохимического барьера. Гетит окрашивает зеленые хлорит-каолинитовые скопления в табачно-бурый и бурый цвет.

Железистые и магнезиально-железистые карбонаты (сидерит, доломит, анкерит) в виде почковидно-зональных и зернистых агрегатов медового, белого, желто-бурого и бурого цвета развиты в межзерновом пространстве. Mn-Fe карбонат встречен в порах песчаников в виде комочков снежно-белого цвета радиально-лучистого строения. Состав минерала подтвержден спектральным анализом. Рентгеноструктурный анализ показал структуру минерала, сходную с родохрозитом, что позволило отнести его к ряду родохрозит—сидерит (О. Ю. Дубик — ВСЕГЕИ).

Флюорит совместно с карбонатом установлен в базальных конгломератах в зоне окисления, где он сопровождается мелкими каплевидными включениями битумоидов (?).

В тяжелых фракциях оруденелых песчаников иногда встречаются сростки кристаллического пирита с халькопиритом, халькопирита со сфалеритом и галенитом.

Спорадически вблизи углистых включений в тяжелых фракциях присутствуют стекловидные образования скорлуповатой, перевитой, сосульковидной форм, имеющие черный, малиновый, коричневый и бежевый цвет со всеми переходами. Скорлупки очень хрупкие и при легком надавливании рассыпаются на мелкие остроугольные обломки. Они изотропны (N — 1,525), рентгеноаморфны. Эти образования являются твердыми гуминовыми кислотами. Гуминовые кислоты бежевого цвета, имеющие форму «сосулек» или «щепок», характеризуются большой вязкостью — при надавливании размазываются по стеклу как паста. Лазерным анализом (В. А. Шишлов — ВСЕГЕИ) в черных раз-

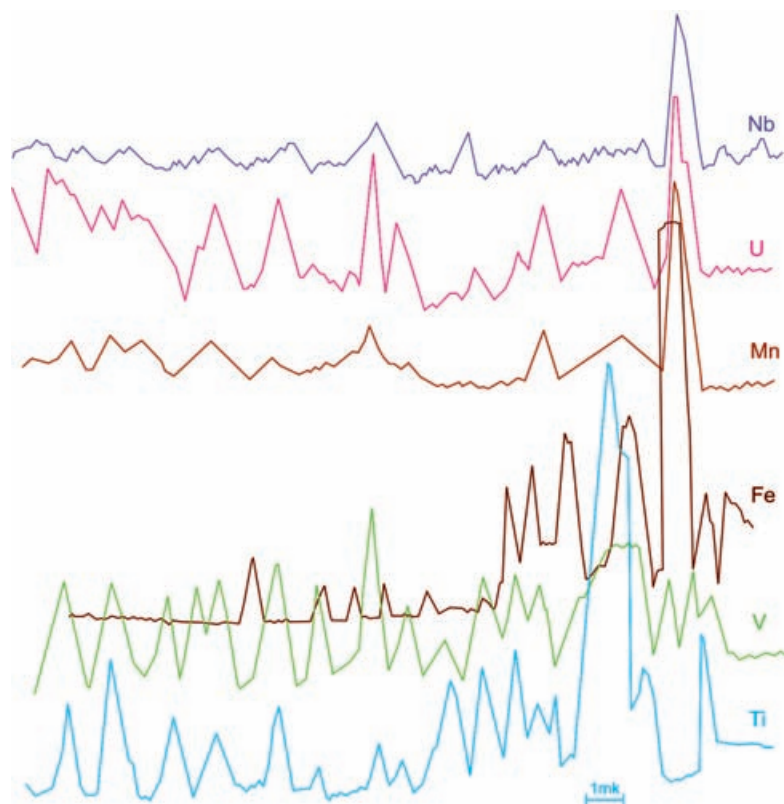


Рис. 5. Характер распределения элементов по микропрофилю в оруденелом песчанике

новидностях установлены: U — 5,3, Th — 0,9 и V — 0,18 %; в малиновых и фиолетово-красных: Mn — 0,23 и Fe — 5,3, что обуславливает их красный цвет; содержание урана в них ниже — 1,6. В коричневых скорлупках фиксируется лишь U — 1,0 и незначительное количество Mn — 0,11. Возможно, что примесь Zr, обнаруженная микроспектральным анализом в желтых «сосульках», придает твердым гуминовым кислотам вязкость (Zr > 1000 г/т, U — 0,1 %).

Периферия некоторых окисленных разностей углей вместо монолитной текстуры с раковистым изломом приобретает брусковидную отдельность, обусловленную скоплением длинных тонкоигльчатых кристалликов черного цвета. Они рентгеноаморфны, по данным микроспектрального лазерного анализа содержат: U — 2,7, Th — 0,11, Fe — 3,5, Ti — 0,52, V — 0,16 %. Возможно, что кроме урановых и железистых минералов, здесь может быть Ti-V минерал типа кызылкумита, обнаруженного И. Г. Смысловой [9] в кварц-керитовых жилах в черных сланцах на месторождении Рудное в Центральных Кызылкумах. Результаты микропрофилирования урановых руд, и, в частности, синхронного совпадения пиков титана и ванадия в некоторых участках, свидетельствуют о возможном нахождении в них Ti—V минерала (рис. 5).

Характер соотношения аутигенных и новообразованных минералов в разрезе рудовмещающей толщи, возможно, указывает на их взаимо-

связь с породами домезозойского фундамента. Последние претерпели процесс региональной пропилитизации с образованием эпидот-хлорит-альбитовой с карбонатами минеральной ассоциации. В них отмечаются зоны милонитизации с наложенными более поздними гидротермальными изменениями, представленными хлорит-альбит-апатит-пиритовыми образованиями.

Кора выветривания, развитая на фундаменте, сложена щебенисто-глинистой массой красно-бурого или серо-зеленого цвета. В сероцветных разностях глинистые минералы представлены монтмориллонитом, хлоритом, с примесью гидрослюда, изредка бертьерита. Красноцветные сложены монтмориллонитом с незначительной примесью хлорита.

Из сопоставления минералов, слагающих урановые руды месторождения, вытекает вывод о многократности проявлений процессов минералообразования, включая урановые (табл. 4). Не вызывает сомнений, что основные руды сформировались в результате проявления экзогенных минералообразующих процессов — первая урановая стадия. Однако при обнаружении ряда минералов, присущих низкотемпературным гидротермальным процессам (альбит, монтрозит, клаусталит и др.), большой разброс в значениях отношений радиоактивных изотопов может указывать на полихронность оруденения.

Руды в основном сложены урано-черниевой с фрамбоидальным пиритом ассоциацией. Со-

СХЕМА ПРОЦЕССОВ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ МАЛИНОВСКОЕ
Составлена Л. В. Былинской с использованием материалов ВИМСА и ФГУП «Березовгеология»

Стадии минералообразования				
Дорудная	Урановорудная I		Урановорудная II	Карбонатная
Пирит кристаллический Марказит крупнопластинчатый Иллит Монтмориллонит Хлорит	Пирит фрамбоидальный Марказит тонкошестоватый Ферросилит Урановые черни рыхлые Уран-молибденовые черни Коффинит Монтмориллонит U, V-содержащий Хлорит Mg – Fe (рипидолит) Угли U, V, Mn, Fe-содержащие (сорбция)	Зоны милонитизации в фундаменте с хлорит-кварц-альбит-апатитовой ассоциацией	Пирит колломорфный корковидный Настуран Урановые черни компактные Хлорит Fe-Mg (шамозит) Гидрослюда в сростках с монтмориллонитом, иллитом, каолинитом Альбит Барит Кварц, опал Кальцит Анатаз Монтрозейт Ti-V минерал Клаусталит Твердые гуминовые кислоты U, Th, V, Ti, Mn, Fe-содержащие. Гипс	Кальцит Доломит-анкерит Mn-Fe карбонат Флюорит темно-фиолетовый Битумоид Халькопирит Сфалерит Галенит
Ведущие минеральные ассоциации				
	Пирит-ураночерниевая		Пирит-настурановая Хлорит с гидрослюдой	Кальцит-доломит-анкеритовая Кальцит-флюоритовая
Ведущие элементы геохимического спектра				
	U, Mo, Se, V, Ti, Mn U, Mo, Se – минеральная форма V, Ti, Mn – сорбированная форма		U, V, Ti, Mn, Fe перераспределяются Na, P, Ba – новообразованные	Ca, Mg, Cu, Zn, Ag
Масштаб проявления процесса				
	////////////////////		////////////////////	////////////////////

вместно с ней образуются коффинит, уран-молибденовые черни и ферросилит. Часть урана сорбирована монтмориллонитом и углистым материалом. Геохимический спектр эпигенетических руд характеризуется следующими элементами: U, Mo, Se, Ti, V, Mn, Fe, при этом U, Mo, Se, Fe образуют самостоятельные минералы, а V, Ti, Mn находятся главным образом в сорбированной форме и входят в состав глинистых минералов и углей.

Более поздние процессы минералообразования (вторая урановая стадия, или стадия перетолжения) накладывается на уже сформированные эпигенетические руды, переотлагая ранние рудные концентрации, а также образуя новые минералы, характеризующиеся иным геохимическим спектром. Эти процессы сопровождаются образованием железистого хлорита, гидрослюда, незначительного количества альбита, кварца и каолинита. Монтмориллонит при этом диспергируется.

Ведущей минеральной ассоциацией является настурановая и пирит-настурановая. Урановые черни из рыхлых преобразуются в плотные, компактные. Молибден и селен практически отсутствуют, хотя некоторое количество селена перераспределяется, в отдельных зернах настурана в виде мелкой вкрапленности обнаружен клаусталит. В участках окисленных углей встречены монтрозеит и анатаз. В ассоциации с настураном отмечается титан-ванадиевый минерал, ближе не определенный. С этим же процессом связывается образование твердых гуминовых кислот, обогащенных U, Th, V, Ti, Fe, Mn, Zr. В некоторых настуранах фиксировалась примесь ниобия.

По особенности своего проявления этот более поздний процесс можно сопоставить с низкотемпературной аргиллизацией, изученной Г. Т. Волостных [4] на урановых месторождениях Забайкалья.

Завершается процесс минералообразования формированием метасоматической и прожилковой карбонатизации с вкраплениями темно-фиолетового флюорита, полиметаллов и каплями битумоидов.

Пострудные минеральные образования отмечаются на Малиновском месторождении Г. А. Тархановой [1], и на Семизбайском месторождении И. А. Кондратьевой [5]. Они связываются с восстановительным эпигенезом в пределах ранее сформированных рудных тел, которые обусловили перераспределение урана.

Логичнее было бы связывать выявленный ряд новообразований, а также такие элементы, как Th, Zr, Nb и др., с поступлением флюидов из фундамента. Это допускает возможность полигенного минералообразования на Малиновском месторождении, проявленного первоначально в виде грунтово-, затем пластово-инфильтрационного и позднее процесса типа аргиллизации.

Основные выводы

1. Рудовмещающие пески и песчаники на изученном профиле Малиновского месторождения характеризуются низкими восстановительными свойствами. Углистые включения в рудной зоне создают локальные восстановительные геохимические барьеры, которые благоприятны для формирования наиболее богатых урановых руд. Богатые руды приурочены также к редким прослоям известковистых песчаников.

2. Своеобразной особенностью комплексного геохимического барьера в пределах профиля является более контрастное проявление его окислительно-восстановительной составляющей и растянутый характер — щелочно-кислотной.

3. Процесс уранового минералообразования на Малиновском месторождении проявлен по крайней мере в два этапа. Первый этап — формирование основных урано-черниевых с коффинитом руд в связи с развитием грунтового и последующих (со времени перекрытия рудовмещающих пород) пластово-инфильтрационных процессов. Второй этап, связанный, вероятно, с поступлением флюидов из доплитного фундамента, приводит к аргиллизации рудовмещающих отложений и перераспределению урана с формированием настурана. Оценка возможности привноса урана из доплитного фундамента в рудовмещающие горизонты требует специальных исследований.

4. Руды месторождения в его центральной части сложены преимущественно U^{5+} при подчиненном количестве U^{6+} и резко подчиненном U^{4+} . Последний в значительных количествах выявлен лишь в богатых рудах (1 %). Это определило ураново-черниевую с коффинитом и настурановую минерализацию.

5. Сопутствующая минерализация в рудах представлена ферросилитом, монтрозеитом, и др. минералами. Спорадически распространенные мелкие выделения твердых гуминовых кислот сорбируют широкий круг элементов: U, Th, V, Mn, Fe, Zr.

6. В изученном профиле выделены две геохимические ассоциации элементов. Одна из них, включающая U, Se, V, Mo, Pb, — традиционна для экзогенных эпигенетических месторождений урана. Другая, объединяющая Ni, Cr, Zr и др., в которой халькофильные элементы коррелируются со щелочами, а с ураном находятся в отрицательной корреляции, проявлена менее контрастно, чем первая. Ее минералогическим выражением являются полиметаллы, флюорит, новообразованный кальцит, а также битумы (?), формирование ее на Малиновском месторождении может быть связано с поступлением флюидов из доюрского фундамента по Кузнецко-Алатауской разрывной структуре. Если это предположение справедливо, то безурановая ассоциация может быть проявлена более масштабно и образовывать собственные минераль-

ные аккумуляции в плитном комплексе, вне связи с урановым оруденением.

1. *Баженов М. И., Машковцев Г. А., Расулова С. Д.* и др. Литолого-геохимические условия локализации уран-полиметального оруденения на Малиновском месторождении // Мат-лы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. Инф. сб. Вып. 137. М., 1995.
2. *Бреднихин И. Ф.* Информационная записка по результатам минералогического анализа руд по скв. 100 Малиновского месторождения. Березовское ПГО, 1995.
3. *Винокуров С. Ф., Дойникова О. А., Крылова Т. Л.* и др. Литолого-геохимические и минералогические особенности Малиновского месторождения урана (Россия) // Геология рудных м-ний. Т. 43. 2001. № 5. С. 404—429.
4. *Волостных Г. Т.* Аргиллизация и оруденения. М.: Недра, 1972.
5. *Кондратьева И. А., Боброва Л. Л., Максимова И. Г.* Эпигенетические изменения рудовмещающих от-

ложений и их роль в локализации уранового оруденения на Семизбайском месторождении // Мат-лы по геологии урановых м-ний. Инф. сб. Вып. 70. М., 1981.

6. *Поцелуев А. А., Арбузов С. Н., Задорин Л. И.* и др. Радиогеохимические особенности и зональность Малиновского месторождения // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Томск, 1996. С. 145—149.
7. *Рихванов Л. П., Арбузов С. Н., Ершов В. В.* и др. Радиоактивные элементы в углях // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Томск, 1996. С. 104—109.
8. *Рубинов И. М., Долгушин А. П., Макарова Т. А.* Гидрогенное урановое оруденение южной части Западно-Сибирской плиты // Мат-лы по геологии урановых м-ний. 2000. № 142. С. 34—37.
9. *Смылова И. Г., Комков А. И., Павшуков В. В., Кузнецова Н. В.* Кызылкумит $V_2Ti_3O_9$ — новый минерал из группы сложных окислов ванадия и титана. ЗВМО. Ч. 110. Вып. 5. 1982.
10. *Юдович Я. М., Кетрис М. П., Мерц А. М.* Элементы-примеси в углях. Л.: Наука, 1985. 239 с.