

УДК 553.45:571.621

ДЖАЛИНДИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ: ГЕНЕЗИС И ПОЛОЖЕНИЕ В КЛАССИФИКАЦИИ ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ПРИАМУРЬЕ, РОССИЯ)

© 2009 г. П. Г. Коростелев*, В. Г. Гоневчук*, Б. И. Семеняк*, Н. В. Гореликова**,
А. А. Карабцов*, А. М. Кокорин*, В. В. Кононов*, А. А. Орехов*,
П. П. Сафронов*, Е. Я. Синяков***

*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН
690022, Владивосток, проспект 100-я Владивостока, 159

**Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН
119017, Москва, Ж-17, Старомонетный пер., 35

***ООО "Регис"

675016, Благовещенск, ул. Ленина, 121

Поступила в редакцию 27.03.2009 г.

Джалиндинское месторождение деревянистого олова расположено на восточной окраине Буреинского массива и по принятой (в России) классификации оловорудных месторождений относится к риолитовой формации. Проведено сравнение его с месторождениями, расположенными в юго-западных районах США и в северных районах Мексики. При их сходстве обнаружены и описаны существенные отличия Джалиндинского месторождения по составу рудоносных риолитов, типу и составу руд. По мнению авторов, это обусловлено генетическими причинами. Предполагается, что эволюция рудоносного риолитового расплава на Джалиндинском месторождении происходила не по обычной для таких месторождений "онгонитовой" модели, а с образованием на заключительной ее стадии высококремнистого, относительно бедного фтором, литием, но обогащенного оловом расплава. Резкое изменение физико-химических параметров системы, обусловленное эволюцией расплава в приповерхностных условиях (жерло палеовулкана), приводило к отделению кремний-оловянных комплексов, распад которых сопровождался отложением различных модификаций кремнезема и оолитоподобных образований деревянистого олова.

ВВЕДЕНИЕ

Среди разных по генезису оловорудных месторождений большой интерес представляют месторождения деревянистого олова в риолитах. Несмотря на слабую распространенность и относительно малую промышленную значимость, они привлекают внимание исследователей: 1) необычным почковидным строением скоплений касситерита, на срезе напоминающим годовые кольца деревьев; 2) размещением среди ультракислых риолитов, с которыми они, возможно, генетически связаны; 3) практическим отсутствием характерных для гидротермальных месторождений олова чехлов околорудного изменения вмещающих пород и другими особенностями, указывающими на необычный генезис этих образований.

Впервые деревянистое олово было описано Ф.А. Гентом (Genth, 1887), на которого ссылаются В. Фошаг и С. Фрайз (Foshag, Fries, 1942), составившие очерк "Месторождения олова республики Мексика". Более детально деревянистое олово описано К. Фрайзом (Fries, 1940) в оловоносном районе Блэк

Рэйндж, расположенном в штате Нью Мексико (США). Известны также проявления деревянистого олова в риолитах штатов Невада и Калифорния. По имеющимся сведениям (Lufkin, 1977), в оловорудном районе Блэк Рэйндж за период с начала второй мировой войны до 70-х годов было добыто около 50 т оловянного концентрата, в том числе деревянистого олова.

На территории России деревянистое олово встречено в россыпях, сопровождающих месторождения в трубках взрыва, выполненных оруденелыми эксплозивными брекчиями (месторождение Высокогорское, Приморье). В Суворовском месторождении (Хетинский рудный район, Чукотка) деревянистое олово, формируясь в жерле вулкана, замещало фельзосферолитовый риолит и частично отлагалось в пустотах (Лугов и др., 1974). Деревянистое олово известно в оловянных рудах и связанных с ними россыпях Шерловогорского месторождения Забайкалья, в оловорудных месторождениях Балыктыгского массива Тувы (Лебедев и др., 2005) и в некоторых гидротермальных месторождениях Приморья (Генкин, 1964).

Адрес для переписки: Н.В. Гореликова. E-mail: ngor@igem.ru

Самое крупное проявление деревянистого олова, открытое в 1952 г. П.Н. Кошманом и получившее статус месторождения – Джалиндинское, расположено в Хингано-Олонойском оловорудном районе Малого Хингана. В 50-х годах прошлого века на этом месторождении была проведена предварительная разведка (подсчитанные запасы составили около 100 т Sn) и выполнен комплекс научно-исследовательских работ сотрудниками ВСЕГЕИ совместно с геологами ДВГУ (Ициксон и др., 1959) и ИГЕМ (Комарова, Новороссова, 1959).

Джалиндинское месторождение рассматривается одним из немногих типовых объектов формирования деревянистого олова в эффузивах (риолитовая) (Радкевич, 1956, 1968, 1975; Ициксон и др., 1959), к которой отнесены оловорудные месторождения Мексики и юго-западных штатов США. Е.А. Радкевич считала, что желваки деревянистого олова Джалиндинского месторождения привнесены из жерловины вулкана риолитами. Однако по составу руд, обилию кварца и некоторым другим особенностям оно отличается от этих месторождений, в связи с чем новая информация, дополняющая сведения о его минеральном составе и генезисе, представляет, на наш взгляд, несомненный интерес.

В середине 80-х годов месторождение было отработано открытым способом старательской артелью Хинганского ГОКа (добыто 14 т Sn). В это время авторы посетили месторождение и смогли отобрать представительный материал, результаты обработки которого обсуждаются ниже.

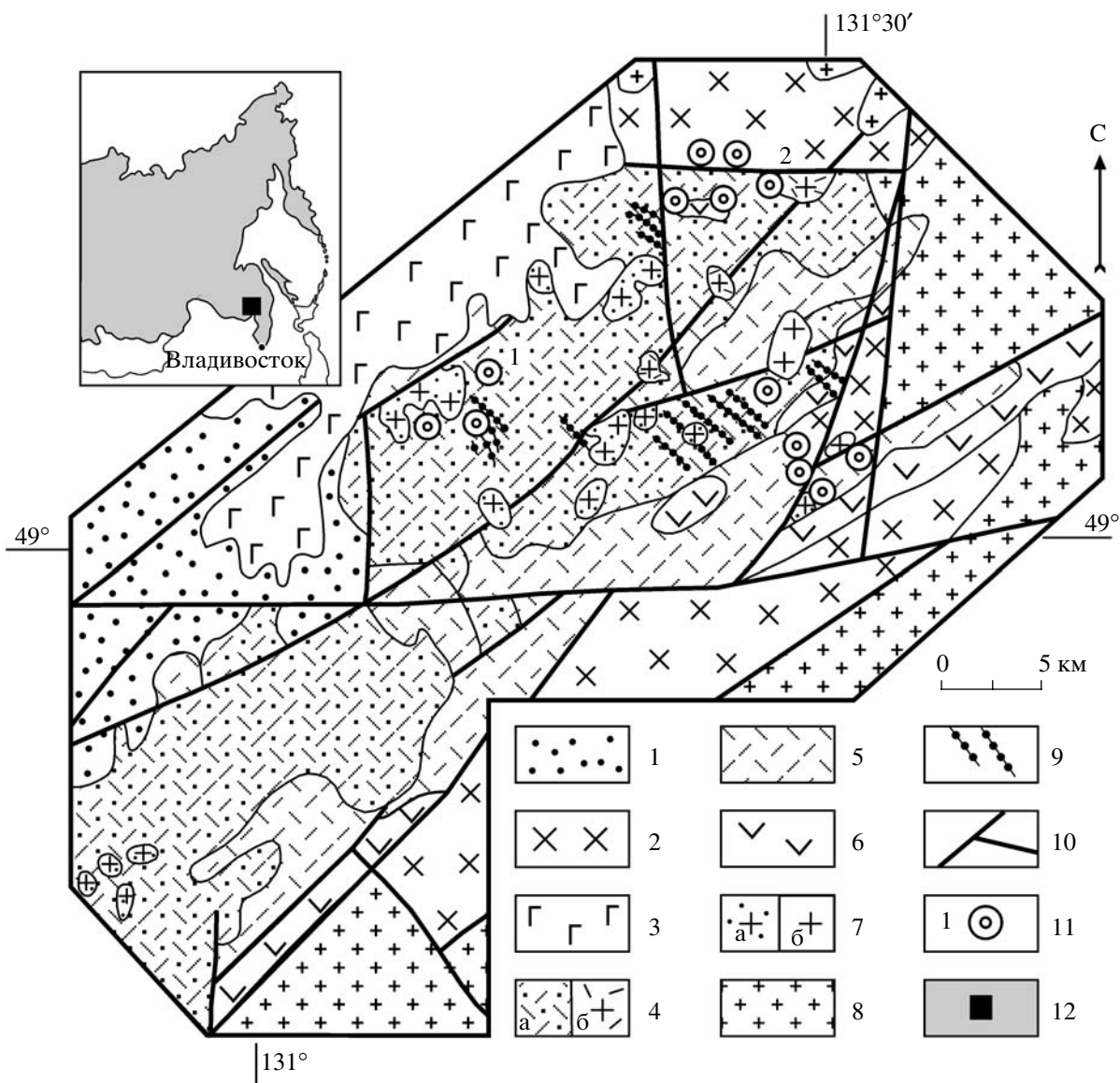
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Джалиндинское месторождение деревянистого олова расположено на северо-восточной окраине Хингано-Олонойского рудного района и приурочено к северной субширотной зоне повышенной трещиноватости (фиг. 1), которая, кроме рассматриваемого месторождения, контролирует размещение ряда проявлений оловоносных грейзенов, а также даек диабазовых и плагипорфиритов, имеющих северо-северо-западное простирание и крутое падение. Площадь месторождения сложена раннемеловыми эффузивами обманьской свиты, среди которых преобладают риолиты и в меньшей степени распространены их туфолоавы и лавобрекчии. Эффузивные и туфо-эффузивные породы этой свиты слагают большую часть площади Хингано-Олонойского рудного района. В разрезе вулканогенных пород на их долю приходится более 50% (>1200 м). Некоторые исследователи отмечают закономерное понижение количества SiO₂ в породах свиты от ранних к поздним образованиям при одновременном увеличении содержания щелочей (Федчин, Федчина, 1970; Гоневчук, 2002). Антидромное направление эволюции магматизма при формировании обманьской свиты с изменением состава пород от риолитов до

андезитов подтверждается результатами геолого-геохимической съемки северной части Хингано-Олонойского района масштаба 1 : 25000, выполненной в 1977–1984 гг. Позднее В.Н. Кудрявцев, обобщая результаты детальных поисковых и разведочных работ в восточной части района, пришел к заключению, что риодациты и андезиты представлены субщелочными разностями – трахидацитами и трахиандезитами. Изотопный (⁴⁰Ar/³⁹Ar) возраст трахидацитов, по данным А.А. Сорокина и др. (2004), – 99 млн. лет.

В рудном поле Джалиндинского месторождения обманьские риолиты прорваны дайкой диабазовых порфиритов. По геологическим наблюдениям (П.Н. Кошман, устное сообщение), подобные порфириты пересекают также и рудные тела. В целом же для района соотношение таких даек с оловянной минерализацией представляется сложным, поскольку на разных объектах они фиксируются как до-, син- и пострудные (Гоневчук, 2002), что может свидетельствовать об участии в рудообразовании глубинного источника.

По мнению Г.В. Ициксон и др. (1959), месторождение приурочено к зоне окварцованных и серицитизированных риолитов, простирающейся в северо-восточном (10°–30°) направлении на протяжении около 1000 м с крутым (60°–90°) падением к северо-западу (фиг. 2). Мощность измененных пород в северной части месторождения не превышает 80 м. К югу зона расщепляется на серию отдельных протяженных тел и ее суммарная мощность постепенно увеличивается, достигая на южном фланге 250–300 м. В целом морфология зоны близка к структуре “конского хвоста”. Отдельные ветви в ней представляют участки дробления и каолинизации риолитов, распространяющиеся на глубину до 25–30 м и содержащие обломки кварц-серицитовых или кварцевых (вплоть до кремнеподобных) пород. Как считают Ициксон и др, такая структура возникла в результате тектонических подвижек. Однако возможно и другое объяснение. В частности, характеризую структуру месторождений деревянистого олова в оловоносном районе Блэк Рейндж, К. Фрайз писал о длинных узких зонах, с весьма крутым или даже вертикальным положением слоев лавы, которые расходятся от какой-то центральной зоны и в поперечном сечении имеют форму веера. Он предполагал, что веерообразная слоистость могла возникнуть в процессе излияния магмы, и отмечал положение эруптивной трещины (Fries, 1940). Подобное не исключено и в случае Джалиндинского месторождения, тем более что зоны дробления относятся, по нашим данным, к пострудным близповерхностным образованиям и не установлены на глубине. Кроме того, они не влияют на распространение касситерита, отложение которого имеет гнездовый характер, а отдельные гнезда, как правило, изолированы друг от друга в покрове риолитов.

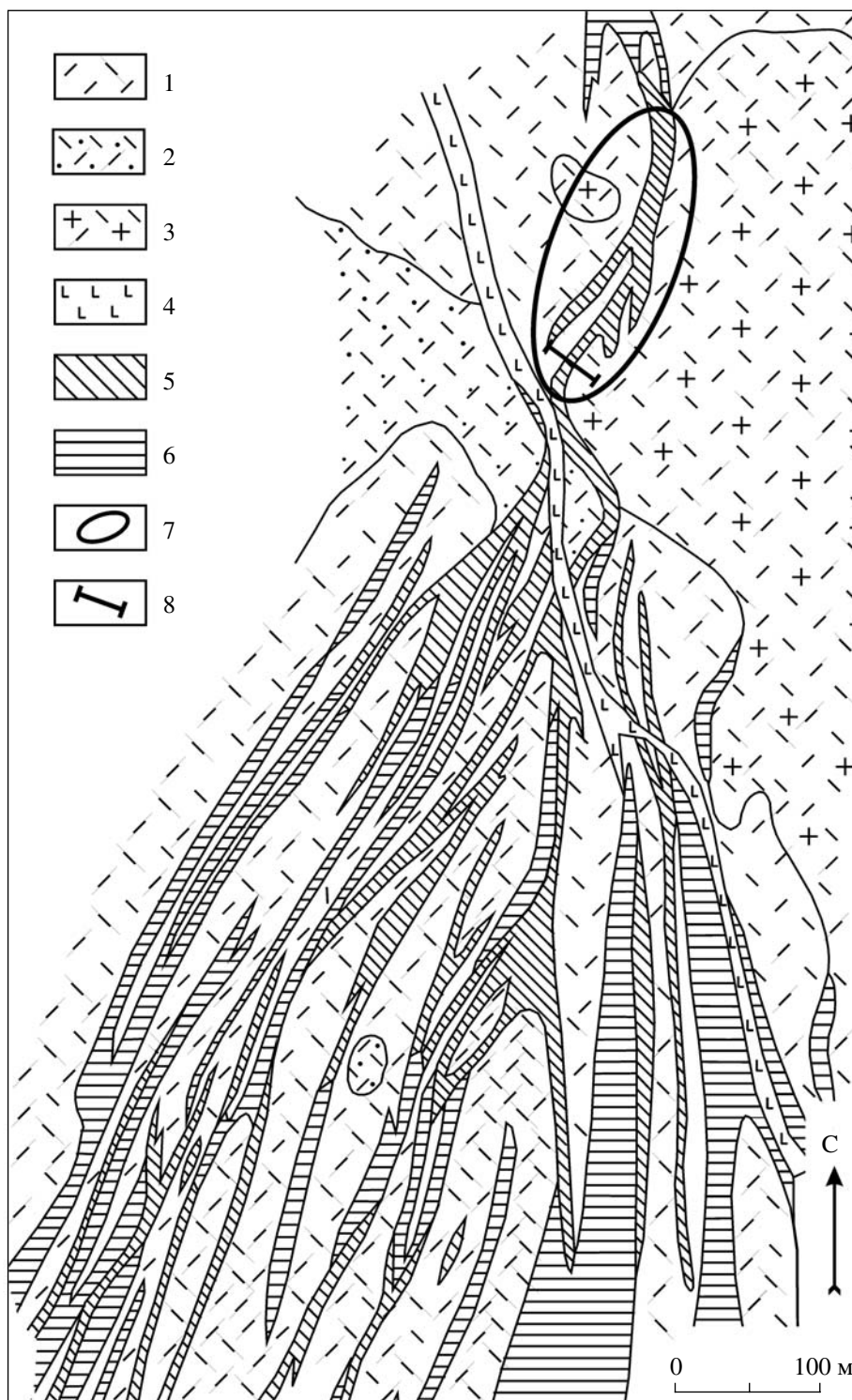


Фиг. 1. Геологическая схема Хингано-Олонойского рудного района (Гоневчук, 2002).

1 – мезозойские терригенные отложения; 2 – метаморфизованные породы фундамента (Буреинский массив); 3 – неогеновые базальты и долериты; 4 – риолитовые порфиры, их туфы и туфогенно-осадочные породы (обманйская свита): покровные (а), экструзивные (б); 5 – риолиты, порфировые риолиты и их туфы (солонечная свита); 6 – андезитовые порфиры и их туфы (станолйрская свита); 7 – гранит-порфиры (хинганские, кимканские) (а), лейкограниты (олонойские) (б); 8 – палеозойские гранитоиды; 9 – дайки диабазов; 10 – разломы; 11 – оловорудные месторождения: 1 – Хинганское, 2 – Джалиндинское; 12 – положение рудного района на схеме Востока России.

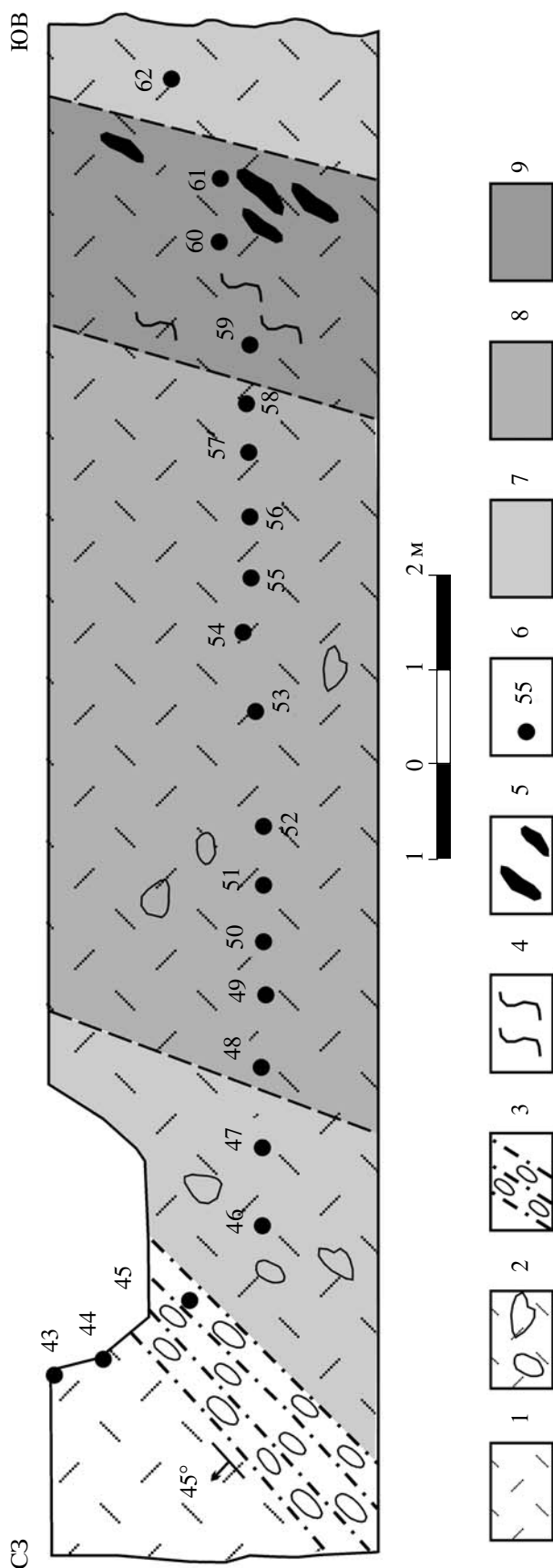
Промышленное оловянное оруденение, выявленное в северной части месторождения, представляет собой участок сближенных маломощных зон окварцованных и серицитизированных риолитов, в пределах которого опробованием выделено рудное тело протяженностью около 100 м и мощностью от 1 до 13.5 м при содержании олова от 0.10 до 26.9 мас. % (среднее 0.98 мас. %). Интенсивность

оруденения резко убывает с глубиной и ниже 6 м от поверхности содержание олова не превышает 0.3 мас. %, а на глубине 25–30 м оловянная минерализация почти полностью затухает (0.01–0.1 мас. %). В этом же направлении уменьшается интенсивность окварцевания пород, распространяющегося не ниже 90 м от современной поверхности. В южной части месторождения, несмотря на значительные объемы



Фиг. 2. Геологическая схема Джалиндинского месторождения (Ициксон и др., 1959; с изменениями и дополнениями авторов).

1 – риолиты; 2 – туфы риолитов; 3 – литокристаллокластические туфы риолитов; 4 – дайка диабазовых порфиритов; 5 – зоны дробления и каолинизации; 6 – участки серицит-кварцевых и существенно кварцевых метасоматитов; 7 – Северная зона оруденения с повышенным содержанием “деревянистого олова”; 8 – линия отбора проб.



измененных риолитов, промышленные концентрации олова не выявлены.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Магматические породы

При тесной пространственной ассоциации оруденения с покровными риолитами обманьинской свиты связь минерализации Джалиндинского месторождения предполагается с экструзивными риолитами – “интрузивными кварцевыми порфирами” (Ициксон и др., 1959). Такие образования широко развиты в районе, характеризуя переход от вулканического к плутоническому этапу в эволюции оловоносного обманьинского комплекса (Федчин, Федчина, 1970; Гоневчук Г., Гоневчук В., 1998; Гоневчук, 2002). На площади рассматриваемого месторождения они слагают сложное по форме тело на границе поля вулкаников и пород фундамента, фиксирующее, по данным Н.В. Огнянова (Геология оловорудных..., 1986), жерло палеовулкана. В его составе Г.В. Ициксон выделила приповерхностную и глубинную фации, связывая рудную минерализацию с развитием метасоматического кварца и серицита по риолитам первой из них (фиг. 2). Экструзивные риолиты сопровождаются эруптивными брекчиями, в обломках которых отмечены андезиты, породы близкие хинганским гранит-порфирам, сферолитовые риолиты и другие, вынесенные из нижележащих горизонтов вмещающей толщи.

Химический состав неизмененных (слабо измененных) риолитов месторождения близок к среднему составу наиболее кислых покровных риолитов обманьинской свиты и их экструзивной фации – “интрузивных кварцевых порфиров” (табл. 1). В общем плане рассматриваемые риолиты близки к группе онгориолитов (Наумов и др., 1984) или топазовых риолитов (Burt *et al.*, 1982; Christiansen *et al.*, 1983, 1984). С последними риолиты Джалиндинского месторождения близки также по содержанию и распределению характерных для них редких и рассеянных, в том числе редкоземельных и рудогенных элементов (табл. 2).

Для того чтобы были понятны последующие выводы и позиция авторов по генезису месторождения, подробнее охарактеризуем “окварцованные риолиты”.

В разной степени измененные риолиты и их кристалло- и литокристаллокластические туфы вскрыты в южной части рудного поля уступом карьера,

Фиг. 3. Стенка уступа карьера (см. фиг. 2).

1 – риолит; 2 – туф риолита; 3 – зона дробления и каолинизации; 4 – прожилковые обособления касситерита; 5 – гнезда колломорфного касситерита; 6 – места отбора проб; 7–9 – степень “окварцевания”: 7 – слабая, 8 – средняя, 9 – сильная.

Таблица 1. Химический состав пород Джалиндинского месторождения

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Мас. %											
SiO ₂	76.60	77.35	75.00	76.80	77.20	83.00	90.40	91.10	76.81	75.81	75.00
TiO ₂	0.50	0.04	0.05	0.05	0.20	0.17	0.17	0.04	0.16	0.15	0.28
Al ₂ O ₃	11.60	12.87	14.16	14.08	12.86	9.31	2.32	4.97	11.95	12.27	13.10
Fe ₂ O ₃	0.48	0.32	0.16	0.60	1.00	0.29	0.49	0.20	1.08	0.82	1.26
FeO	1.57	1.00	1.50	1.07	2.15	2.86	4.85	0.32	0.95	1.12	
MnO	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	0.10	0.15	0.04
MgO	0.32	0.20	0.05	0.14	0.07	0.07	0.12	0.12	0.17	0.37	0.19
CaO	0.95	0.59	1.61	0.10	0.63	0.55	0.55	0.14	0.52	0.65	0.82
Na ₂ O	1.88	2.22	1.78	2.70	1.07	0.10	0.06	0.47	2.96	2.22	3.48
K ₂ O	5.18	4.24	4.26	2.45	3.34	2.46	0.65	1.42	4.49	5.21	5.51
H ₂ O ⁻	0.26	0.20	0.12	0.22	0.08	–	0.04				
П.п.п.	0.88	1.08	1.18	1.26	1.15	1.08	–	1.20			
F	0.27	0.17	0.43	0.20	0.19	0.09	0.06	0.05	0.03	0.08	0.19
Г/т											
Ni				3	9	6	14	4	4	3	
Co				–	1	0	1	–	1	1	
Cr				–	6	12	34	5	1	2	
V				3	5	6	12	2	8	11	
Cu				24	35	31	48	7	11	34	
Sn				24	196	332	9287	18	11	21	
Pb				100	233	1664	157	93	34	41	
Zn				160	462	177	148	190	110	63	
As				11	61	626	332		20	59	
Nb					37	61	46	40	50	43	40
Zr					274	326	122	300	400	355	190

Примечание. 1–3 – химический анализ (Ицксон и др., 1959): 1 – кварцевый порфир глубинной фации; 2–3 – кварцевый порфир приповерхностной фации; 4–10 – химический и количественный (эмиссионный) спектральный анализы (данные авторов): 4 – осветленный порфировый риолит с линзочками туфа, 5 – риолит из зоны минерализации, 6 – “окварцованный” риолит, 7 – сильно “окварцованный” риолит с колломорфным касситеритом, 8 – сильно “окварцованный” риолит без видимого касситерита, 9 – наиболее кислые риолиты обманьской свиты (среднее из 4) (Гоневчук, Гоневчук, 1998), 10 – интрузивные “кварцевые порфиры” (среднее из 7) (Гоневчук, Гоневчук, 1998); 11 – топазовые риолиты Провинции Бассейнов и Хребтов США (Christiansen *et al.*, 1984). Пропуск – нет данных; “–” – содержание ниже предела обнаружения метода.

которым была отработана рудная зона. В западной части этого разреза (фиг. 3) обнажены светло-серые (почти белые) иногда пористые риолиты с порфировыми выделениями кварца, слабо серицитизированных полевых шпатов и рассеянными в основной массе микровключениями касситерита и гематита сферической и неправильной формы. Риолиты пересечены зоной дробления мощностью около 3 м, в которой отмечаются их интенсивно серицитизированные разновеликие обломки, сцементированные глинистым веществом.

К востоку от зоны дробления на интервале около 10 м вскрыты “окварцованные риолиты” – магматические брекчии, в которых обломки риолитов (ана-

логи риолитов западной части разреза) погружены в кремнистую массу. Макроскопически цементирующая обломки масса – сливной кварц от серого до светло-серого цвета. Под микроскопом он криптокристаллический с примесью чешуек серицита, которые подчеркивают флюидальную микротекстуру “цемента”, обволакивающего обломки. Вокруг мелких обломков образуются оторочки перлитовидного сливного кварца, которые на сколах напоминают обсидиан (фиг. 4а).

Количество обломков в основной массе с приближением к центру рассматриваемого интервала уменьшается и соответственно усиливается интенсивность “окварцевания”. Обломки риолитов здесь

Таблица 2. Распределение редких и редкоземельных элементов в породах Джалиндинского месторождения

Элементы, г/т	5	6	7	9	11	11
Rb	126.6	192.2		229	186	377
Sr	18.85	4.15		55.1	83	25
Y	48.51	79.24	100.7	63.6	35	42
La	91.47	25.43	79.25	46.5	73	
Ce	153.0	80.91	217.5	103	132	129
Pr	17.10	10.74	24.64	12.9		
Nd	60.43	45.82	95.44	48	63	35
Sm	13.86	13.83	25.99	11.24	8.80	
Eu	6.40	0.29	1.48	0.82	1.20	0.21
Gd	12.29	14.47	23.97	11.6		
Tb	1.99	2.90	3.47	1.93	1.3	1.2
Dy	10.26	18.09	16.35	11.9		
Ho	2.38	3.94	3.01	2.44		
Er	6.08	11.51	7.56	7.12		
Tm	0.88	1.70	1.0	1.09		
Yb	6.83	10.88	6.16	7.30	4.0	9.8
Lu	0.75	1.60	0.97	1.13	0.53	0.90
Th	133.6	36.84	48.81	22.9	25	60
U	3.05	6.7		7.78	5	15

Примечание. Номера проб: 5, 6, 7, 9, 11 (см. табл. 1). Пропуск – нет данных. Метод ICP-MS. Анализы выполнены в ИГЕМ РАН (аналитики – С.А. Горбачева, Л.С. Цимлянская, В.Д. Сидельникова).

действительно подверглись окварцеванию и серицитизации, а в основной массе появились обособления (линзы, гнезда) гранобластового кварца (фиг. 4б). В этих обособлениях серицит приобретает отчетливое пластинчатое строение и по облику приближается к мусковиту. В центральной части в кварце основной массы наблюдаются лишь реликты обломков риолитов, определяемые по более темной окраске.

На протяжении почти всего интервала “окварцевания” в прозрачных шлифах установлен кристаллический касситерит в виде рассеянных зерен и их мелких агрегатов, в основном приуроченных к контактам основной массы – криптокристаллического кварца – и обломков. В центральной его части появляются видимые макроскопически агрегаты касситерита (фиг. 4в). Здесь же обнаруживаются линзовидные обособления деревянистого олова в прерывистой оторочке опаловидного кварца и его

отдельные почки в замещенной криптокристаллическим кварцем породе (фиг. 4г).

РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ

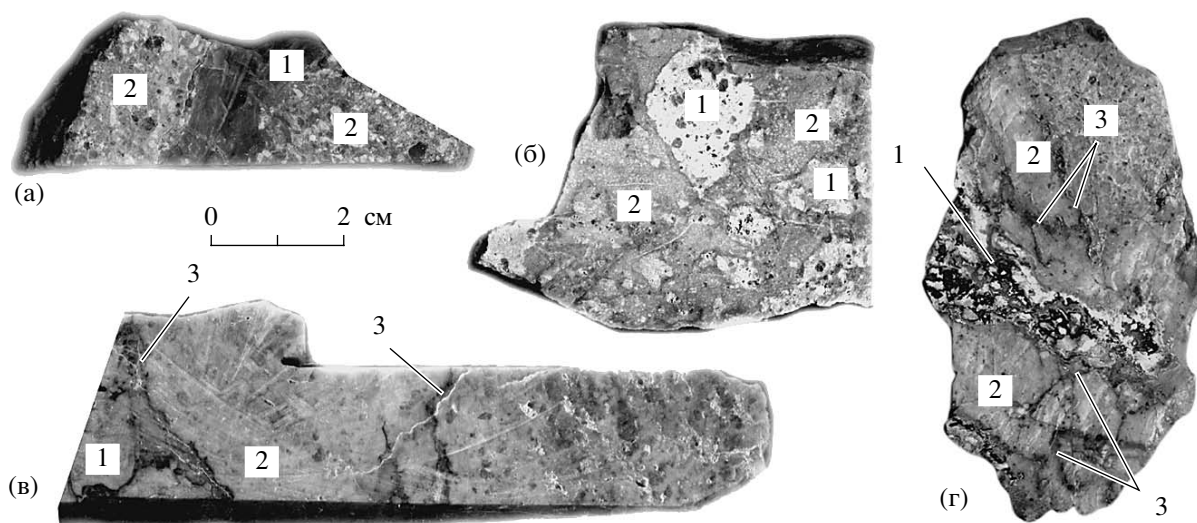
Основная рудная минерализация в виде агрегатов деревянистого олова образует линзы или жиллообразные гнезда размером до 30 см в поперечнике в “окварцованных” риолитах. Меньше распространен тонкокристаллический касситерит, в основном рассеянный в кварцевом матриксе риолитов.

В качестве незначительной примеси в рудах встречается микроскопическая вкрапленность арсенипирита, пирита, галенита, халькопирита и сложные соединения свинца, меди, мышьяка, олова, алюминия. По данным Р.П. Феклович (Усенко, Чеботарев, 1973), в протолочках руды присутствуют хлорит, флюорит, самородный висмут, базовишмутин, шеелит, гематит и эпидот.

Деревянистое олово (колломорфный касситерит) имеет облик оолитоподобных (почковидных) скорлуповых на сколах и концентрически-зональных в разрезе агрегатов с чередованием колец от черной до темно-коричневой, желто-бурой и белой окраски. Размеры отдельных почек варьируют от 0.1 мм до 2–3 см в диаметре. При этом по морфологии агрегатов можно выделить две генерации колломорфного касситерита. Касситерит I слагает крупные (до 15 см в поперечнике) агрегаты, состоящие из отдельных выделений правильной округлой формы, достигающих 2 см в диаметре. Часто можно наблюдать дробление этих агрегатов, когда отдельные обломки касситерита I цементируются касситеритом II такой же оолитоподобной формы, но гораздо меньшего размера (фиг. 5а, 5б).

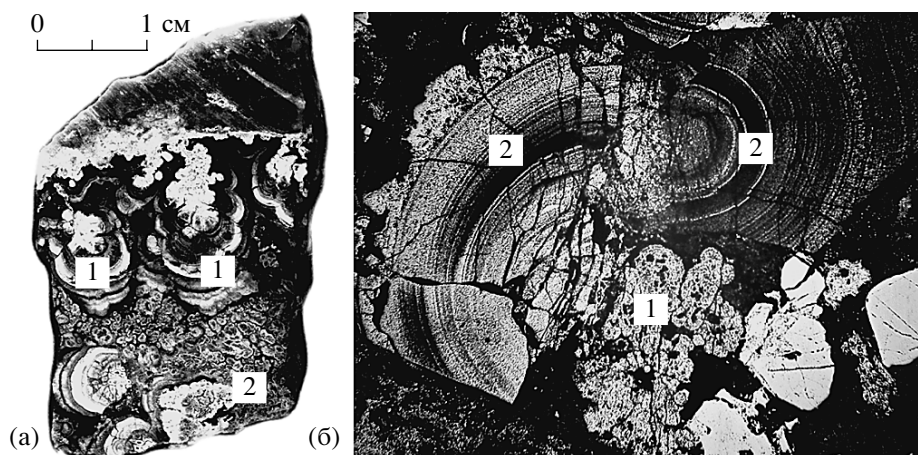
Г.Н. Комарова, Л.Е. Новороссова (1959) и Г.В. Ициксон и др. (1959) отметили высокую индиенность касситерита Джалиндинского месторождения, которая, как оказалось, связана с присутствием в рассекающих его тончайших (волосовидных) кварцевых прожилках минералов индия: сульфоиנדита железа – индита – и замещающего его гидроксида индия – джалиндита (Генкин, Муравьева, 1963). В этих же прожилках кварца нами обнаружена фаза, отражательная способность которой несколько ниже касситерита. Микронзондовый анализ показал следующий ее состав (мас. %): Fe – 1.69, In – 39.24, Si – 54.16, Sn – 7.70, As – 0.61, сумма – 103.40 (Коростелев и др., 2000). Если исключить из анализа олово, представленное субмикроскопическими включениями касситерита, то оставшаяся часть может соответствовать формуле: $[InSi_4O_{11}]$. В окружающем эту фазу касситерите содержание индия не превышает 0.01 мас. %.

В карьере в слабо измененных риолитах иногда наблюдаются гнезда и невыдержанные по простиранию жиллообразные выделения, сложенные колломорфным касситеритом с незначительной при-



Фиг. 4. Типы “окварцевания” риолитов.

а – прожилок кварца перлитового строения (1) в туфе риолита (2); б – брекчия туфа риолита (1) в кварце (2); в – слабо окварцованный риолит (1) с обособлением кварца, насыщенного мелкими обломками риолита (2), касситерит (3); г – линзовидное обособление колломорфного касситерита (1), окруженное опаловидным кварцем (белое) в криптокристаллическом кварце (2), прожилки касситерита (3).



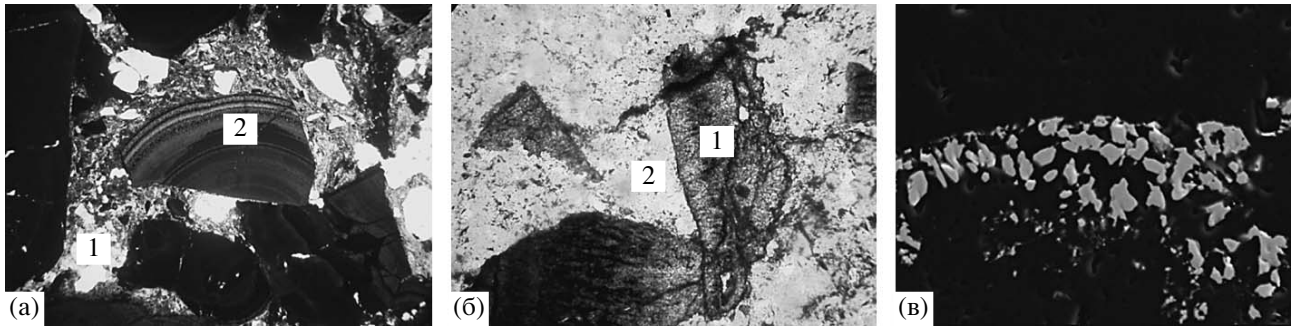
Фиг. 5. Взаимоотношение колломорфного касситерита I и II генерации.

а – полированный штуф: касситерит I – крупные почки (1), касситерит II – мелкие почки (2); б – мелкие почки касситерита II (1) секут крупные почки касситерита I (2) (полированный шлиф, увел. 45).

месью кварца, в которых заключены крупные обломки риолитов. Границы большинства таких обособлений – четкие, ровные и лишь иногда осложняются заливами и тупо выклинивающимися ответвлениями в обе стороны от контактов. Изредка вдоль контакта появляются полоски (3–5 мм) тридимита, халцедона и опаловидного кварца. В основном же тридимит и опаловидный кварц выполняют пространство между почками касситерита.

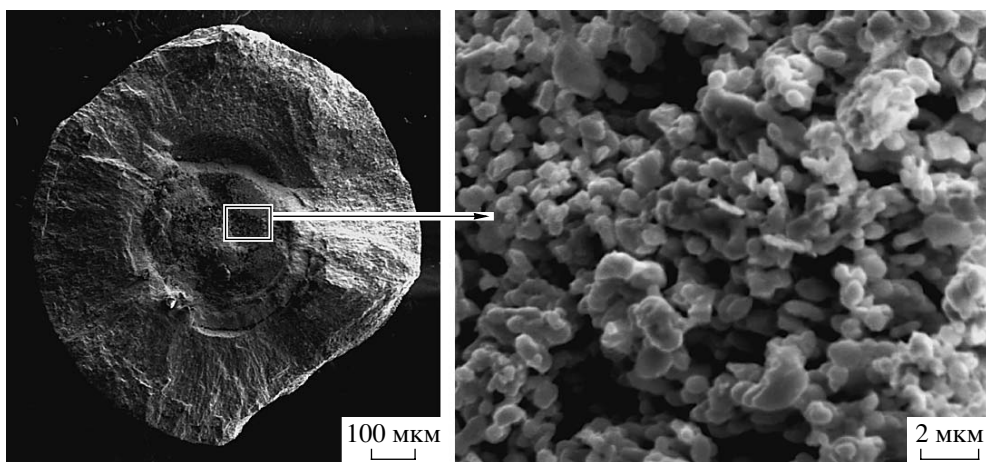
В риолитах по основной массе породы образуются агрегаты колломорфного касситерита, а в пустотах появляется его тонкокристаллическая разновидность.

Очень часто агрегаты колломорфного касситерита раздроблены и их разноориентированные обломки сцементированы “окварцованным риолитом” (фиг. 6а). Кроме того, мелкие фрагменты почек и рассеянные микроскопические выделения кристаллического касситерита заключены в риолите (фиг. 6б). На участках интенсивного окварцевания раздробленных литокристаллокластических туфов риолитов (фиг. 3) по границам обломков появляются субмикроскопические зерна раннего тонкокристаллического касситерита (фиг. 6в). Кварц вокруг отдельных зерен касситерита образует агрегаты концентрически-зонального строения. На удалении



Фиг. 6. Взаимоотношение касситерита с риолитом.

а – риолит (1), деревянистое олово (2); б – обломки деревянистого олова (1) цементируются риолитом (прозрачные шлифы, николи II, увел. 90); в – тонкодисперсный касситерит в окварцованном риолите (деталь фиг. 4в), увел. 900. Рентгеновский микроанализатор “JXA 8100”.

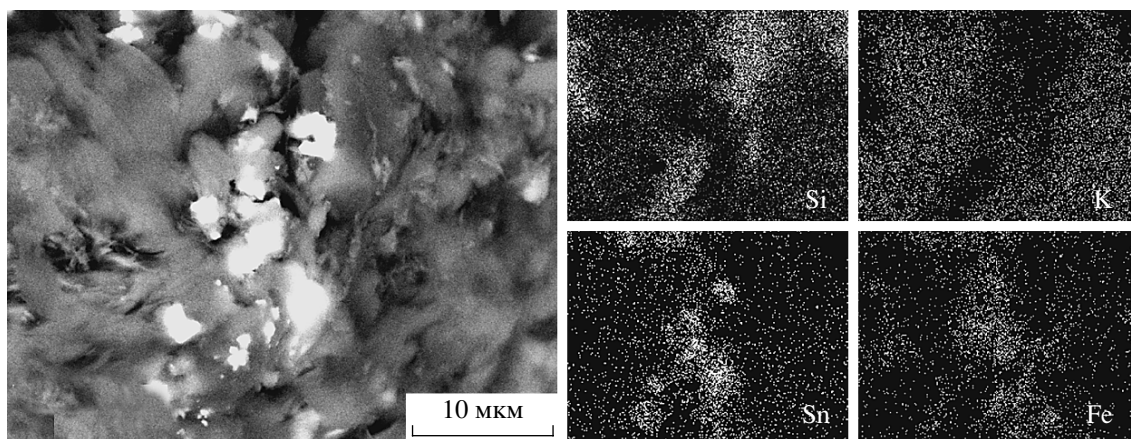


Фиг. 7. Внутренняя структура ядра почки колломорфного касситерита. СЭМ.

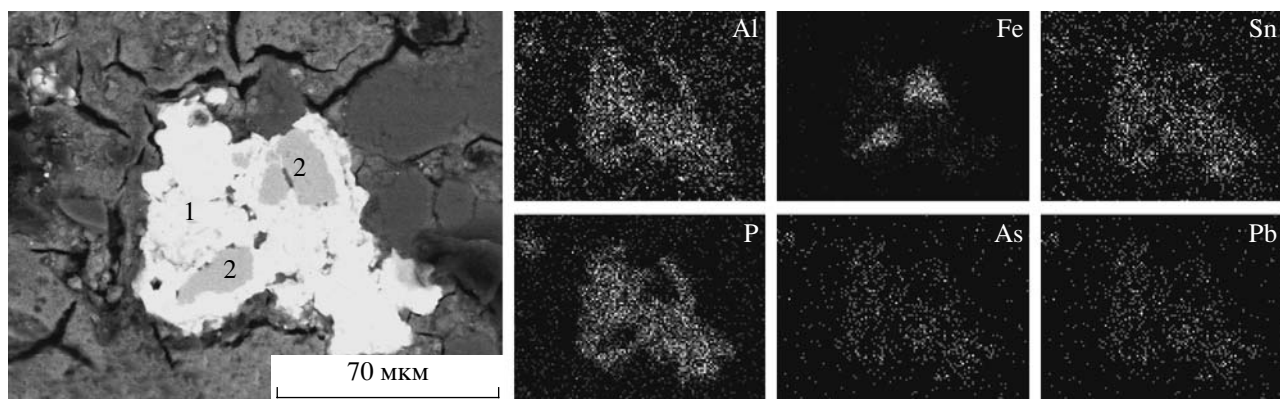
от рудной зоны в туфах риолитов встречаются мелкие округлые выделения (почки, “сферулы”) зонального строения, которые, по данным микрозондового анализа, представлены как относительно чистым касситеритом (Sn – 74.92, O – 26.03, Si – 0.34, Fe – 1.0 мас. %), так и смесями олова с другими компонентами (Sn – 73.72, O – 27.24, Si – 0.52, Zn – 2.00, As – 3.04, Sn – 13.56, O – 54.54, Si – 24.61, Ti – 20.08, Fe – 0.98, Nb – 1.43, W – 0.99 мас. % и др.). Не исключено, что эти смеси могут представлять собой слабо дифференцированные руднокремневые агрегаты, при раскристаллизации которых обособляются касситерит и рутил. Показательно, что среди кристаллов рутила, по данным серии анализов, встречаются индивиды, обогащенные ниобием (до 4 мас. %), оловом (до 1 мас. %), ураном (до 16 мас. %), серебром (до 2.5 мас. %), свинцом (до 9.3 мас. %). В одном из зерен рутила встречены субмикроскопические включения галенита. При микроскопическом изучении риолитов в них обнаружен топаз в виде тонкоигольчатых агрегатов, замещающих полевой шпат. Отдельные более крупные выделения топаза содержат включе-

ния касситерита и рутила, обогащенного оловом и вольфрамом. Кроме этого, топаз встречен в раздробленных и сцементированных риолитом агрегатах колломорфного касситерита.

Исследования руд на сканирующем электронном микроскопе показали, что почки касситерита имеют сложное строение. Их ядра сложены тонкопризматическим полнокристаллическим касситеритом (фиг. 7), размеры отдельных кристаллов которого не превышают первых микронов. В кремнистом матрице риолитов размеры отдельных полнокристаллических зерен касситерита часто значительно меньше микрона в поперечнике (фиг. 8). Иногда они появляются в окружении углерода, пропитывающего вмещающий риолит. В таких участках фиксируются самородное серебро, самородная медь, а также близкие миметезиту смеси оксидов свинца и мышьяка в соединении с хлором. Наиболее сложными являются выделения, состоящие из смеси свинца, алюминия и олова с фосфором и незначительной примесью меди, в которых заключены оксиды железа, близкие гематиту (фиг. 9).



Фиг. 8. Тонкодисперсный касситерит в слабо измененном риолите. СЭМ.



Фиг. 9. Фосфат Sn, Pb, Al, As (1) с вростками гематита (2). СЭМ.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Геологические наблюдения и аналитические данные показывают, что развитые на Джалиндинском месторождении риолиты в целом близки среднестатистическому их типу и типовым образцам (Богатиков и др., 1987), отличаясь повышенной калиево-стью при пониженном содержании окиси натрия. По этому и многим другим признакам (повышенная фтористость, связанная с присутствием топаза; содержание и распределение РЗЭ; повышенные концентрации литофильных элементов (табл. 1 и 2) они близки топазовым риолитам западных штатов США, являясь, как и последние, жерловыми фациями палеовулкана. Однако максимальное содержание фтора в джалиндинских риолитах по результатам анализов составляет 0.43 мас. %, тогда как, например, для топазовых риолитов США (Christiansen *et al.*, 1984) оно фиксируется в интервале 0.3–1.5 мас. %. Топазовые риолиты северной Мексики, с которыми ассоциируется оловянная минерализация (“вмещающие риолиты”; Huspeni *et al.*, 1984), имеют содержания фтора на уровне нескольких процентов. В то же время содержание олова в

риолитах Джалиндинского месторождения оказывается не ниже, а иногда и выше приводимых указанными авторами.

Обсуждая проблему генезиса “окварцованных риолитов”, с которыми, по Г.В. Ициксон и др. (1959), может быть связана оловянная минерализация, обратим внимание на то, что содержание фтора в них закономерно понижается при усилении степени “окварцевания”. При этом его распределение соответствует экспериментально установленной зависимости между содержаниями фтора и кремния в силикатном расплаве (Коваленко В., Коваленко Н., 1979). Это, с учетом изложенных выше результатов исследования, позволяет предположить, что “окварцованные риолиты” – силекситы, образовавшиеся в результате кристаллизации силикатного расплава, степень обогащения фтором которого исключает возможность “онгонитового” тренда его эволюции. В условиях, когда фтор и его соединения с другими элементами могли в какой-то момент относительно быстро улетучиться из магматической камеры, а общее давление резко понизиться (такие условия, очевидно, создавались в жерле палеовулкана при взла-

мывании риолитовой “пробки”), образование таких силекситов вполне вероятно. Возможно, что на каком-то этапе в дегазации расплава участвуют трансмагматические флюиды, что рассматривается одним из факторов формирования высококремнистых фтористых риолитов. О вероятности такого участия свидетельствует, по нашему мнению, отмеченная выше приуроченность месторождения к широкой тектонической структуре, контролирующей локализацию даек субщелочных базальтоидов.

Распределение некоторых рудных и редкоземельных элементов, а также фтора (табл. 1, 2) в риолитах и их “окварцованных” разностях – силекситах – позволяет предполагать, что обогащение рудными компонентами является в основном не следствием гидротермально-метасоматических процессов, а связано с особенностями их фракционирования при эволюции изначально обогащенного этими элементами силикатного расплава в близповерхностной камере.

Анализируя результаты исследования рудной минерализации, отметим, что более широко известные, связанные с риолитами месторождения олова США и Мексики отличаются от Джалиндинского месторождения по морфологии рудных тел, по вещественному составу и, очевидно, по генезису. В этих месторождениях касситерит, в том числе деревянистое олово, и другие минералы отлагались в миароловых пустотах риолитов и трещинах, инкрустируя их стенки. Как полагают исследователи (Fries, 1940; Foshag, Fries 1942; Lufkin, 1976), они являются производными высокотемпературных, преимущественно газовых эманаций. Об этом, по их мнению, свидетельствуют ассоциирующие с кристаллическим касситеритом и деревянистым оловом санидин, топаз, спекуларит, биксбиит, тридимит, температура образования которых превышает 600°C. Эти сведения противоречат экспериментальным данным (Pan, Yrma, 1974) о низкотемпературном генезисе (<150°C) деревянистого олова.

На Джалиндинском месторождении отложение деревянистого олова и тонкодисперсного касситерита происходило, на наш взгляд, в отличных от рассмотренных выше условиях. Это нашло отражение в широком развитии кварца, незначительном присутствии в рудах и породах оксидов железа, среди которых преимущественно развиты гематит и гетит. Не обнаружены биксбиит и псевдобрукит, зато в окварцованных риолитах постоянно присутствует рутил, содержащий примесь Sn, W, Nb, Ag, U. Кроме того, в них установлена вкрапленность сульфидов – пирита, арсенопирита, халькопирита и индита. Присутствие сульфидов, хотя и в незначительных количествах, и обогащенность руд индием заметно отличает Джалиндинское месторождение от похожих месторождений олова Мексики и США.

Генетическая связь с деятельностью палеовулкана определила как сложность состава риолитов

Джалиндинского месторождения, так и сложность оловянного оруденения. В жерловой части вулкана (до извержения) происходили автосоматические (Duffield *et al.*, 1990) изменения риолитов “вулканической пробки” – приповерхностной фации кварцевых порфиров (Ицксон и др., 1959), обусловившие отличия этих пород от покровных риолитов обманьской свиты и их глубинной фации – интрузивных кварцевых порфиров. Здесь же завершилось обособление высококремнистого магматического расплава, в котором наиболее вероятно образование кремний-оловянных комплексов. На их присутствие в риолитовой магме Джалиндинского месторождения и участие в рудообразовании указывает тесная связь олова и кремнезема в краевых частях обособлений колломорфного касситерита.

Распад кремний-оловянных комплексов и отложение касситерита в жерле вулкана, а именно в “пробке” и под ней, где какое-то время происходила дифференциация насыщенной кремнеземом и оловом риолитовой магмы, были наиболее вероятны при изменениях параметров системы, обусловленных периодическими прорывами газов из апикальной части камеры на поверхность. При этом касситерит отлагался в виде колломорфных агрегатов, а разные модификации кремнезема заполняли промежутки между почками касситерита или цементировали их обломки. При последующем массовом извержении эти продукты выносились лавой на дневную поверхность и формировали магматические брекчии, отдельные потоки или покровы, обогащенные оловом. Часть олова, выносившаяся вместе с флюидонасыщенной риолитовой магмой, кристаллизовалась в основной массе породы в виде тонкодисперсных округлых агрегатов колломорфного касситерита с кварцем. В пользу такого вывода свидетельствуют гнездовое, крайне неравномерное распределение касситерита и практически полное отсутствие контроля оруденения разрывными нарушениями.

Оценивая температуру образования касситерита, который в миароловых пустотах и в литофизах риолитов (Блэк Рэндж, Нью Мексико) часто сопровождается биксбиитом, псевдобрукитом и гематитом, а местами также топазом, санидином и монацитом, Д. Люфкин (Lufkin, 1976) указывает, что сосуществование биксбиита с гематитом возможно при температурах выше 640°C, а псевдобрукита – выше 585°C. Исходя из этого, кристаллизация их (и сосуществующего касситерита) происходила из флюидной фазы на поздней стадии кристаллизации риолита при температурах выше 585°C. Ниже этой температуры псевдобрукит распадается на рутил и гематит. В рудах Джалиндинского месторождения биксбиит и псевдобрукит до настоящего времени не установлены. Вместе с тем, возможные продукты распада псевдобрукита – рутил и гематит – широко распространены в риолитах и их туфах, сопровождая агрегаты колломорфного и тонкодисперсного кассите-

рита. Видимо, в данном случае распад железо-титанистых соединений на рутил и гематит произошел (как и дифференциация самого кремний-оловянного комплекса) еще до выхода магмы на поверхность в результате последовательного снижения температуры.

ВЫВОДЫ

1. Джалиндинское месторождение является представителем оловорудных месторождений риолитовой формации, типовыми объектами которой рассматриваются месторождения олова в кайнозойских риолитах Мексики и Западных районов США.

2. Месторождение образовано на заключительном этапе формирования обогащенных фтором и оловом позднемеловых вулканогенных пород Хингано-Олонойской вулcano-тектонической депрессии, которые по геохимическим и минералогическим признакам могут быть отнесены к онгориолитам или топазовым риолитам. Однако установленная относительно невысокая степень обогащения расплава фтором и литием, при более высоком обогащении оловом, исключает “онгонитовый” тренд его эволюции, характерный для указанных выше “типовых” объектов, и обуславливает возможность образования высококремнистых дифференциатов, в составе которых присутствуют кремний-оловянные комплексы.

3. Основной тип оловянной минерализации Джалиндинского месторождения – скопления деревянистого олова, сопровождающиеся отложением кварца различных модификаций – продуктом “сброса” кремнезема при распаде гелеподобного кремний-оловянного комплекса, а позднее сульфидов. В этом парагенезисе, отмечающем нехарактерную для типовых объектов активную роль серы в рудообразовании, индит и его окисленная разновидность – джалиндит наиболее ярко подчеркивают индиевую специализацию месторождения.

4. Используя рутил-гематитовый геотермометр, температура отложения колломорфного касситерита Джалиндинского месторождения не ниже 585°C.

На основе полученных результатов, отнесение этого месторождения к риолитовой формации обоснованно и отражает его основную генетическую особенность. Выявленные отличия Джалиндинского месторождения от “типовых” показывают, что и в этой формации существуют внутриформационные типы, характеризующие особенности условий их образования.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность В.Г. Сахно за ценные советы и консультации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследова-

ний (проект 08–05–00381–а) и ДВО РАН (проекты 06–III–А–08–320 и 06–III–В–08–366).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Богатиков О.А., Косарева Л.В., Шарков Е.В.* Средние химические составы магматических пород. М.: Недра, 1987.
- Геология оловорудных месторождений СССР / Под ред. Лугова С.Ф. М.: Недра, 1986. Т. 2. Кн. 1.
- Генкин А.Д.* Оловянные руды // Структурно–текстурные особенности руд. М.: Недра, 1964. С. 497–553.
- Генкин А.Д., Муравьева И.В.* Индит и джалиндит – новые минералы индия // Зап. ВМО. 1963. Ч. XC11. Вып. 4. С. 446–457.
- Гоневчук В.Г.* Оловоносные системы Дальнего Востока: магматизм и рудогенез. Владивосток: Дальнаука, 2002.
- Гоневчук Г.А., Гоневчук В.Г.* Особенности магматизма Малохинганской вулканической зоны // Новые данные по магматизму и металлогении Дальнего Востока. Владивосток: ДВО РАН, 1998. С. 5–21.
- Ицксон Г.В., Рундквист Д.В., Павлова И.Г. и др.* Оловорудные месторождения Малого Хингана. Л.: Тр. ВСЕГЕИ, 1959. Т. 27.
- Коваленко В.И., Коваленко Н.И.* Онгонитовые магмы, проблемы их образования и кристаллизации // Проблемы физико-химической петрологии. М.: Наука, 1977. Т. 1. С. 224–241.
- Комарова Г.Н., Новороссова Л.Е.* О поведении олова и индия в колломорфных агрегатах касситерита на Джалиндинском месторождении на Малом Хингане // Геохимия. 1959. № 8. С. 716–720.
- Коростелев П.Г., Семяк Б.И., Демашов С.Б. и др.* Некоторые особенности вещественного состава руд месторождений олова Хингано-Олонойского района // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. Вып. 1. С. 202–225.
- Лебедев В.И., Кудрявцева А.И., Ойдуп Ч.К. и др.* Сульфидно-касситеритовые руды Тувы // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд: Материалы науч. конф. Иркутск, 2005. С. 11–4.
- Лугов С.Ф., Подольский А.М., Сперанская И.М. и др.* Оловоносность Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Недра, 1974.
- Наумов В.Б., Коваленко В.И., Клоккьятти Р. и др.* Параметры кристаллизации и составы фаз расплавных включений в кварце онгориолитов // Геохимия. 1984. № 4. С. 451–464.
- Радкевич Е.А.* К вопросу о классификации оловорудных месторождений // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1956. № 6. С. 22–36.
- Радкевич Е.А.* Оловорудные формации и их практическое значение // Сов. геология. 1968. № 1. С. 14–24.
- Радкевич Е.А.* Формации олова и вольфрама и условия их образования // Рудные провинции и генетические типы месторождений олова и вольфрама. Новосибирск: Наука, 1975. С. 3–16.
- Сорокин А.А., Пономарчук В.А., Сорокин А.П. и др.* Геохронология и корреляция мезозойских магматических образований северной окраины Амурского супертеррей-

- на // Стратиграфия и геологическая корреляция. 2004. Т. 12. № 6. С. 36–52.
- Усенко С.Ф., Чеботарев М.В. Геология и оловоносность Приамурья. М.: Недра, 1973.
- Федчин Ф.Г., Федчина Г.Н. Магматические породы и оловянная минерализация Хингано-Олонойской вулканической зоны // Взаимоотношение оруденения и магматизма. М.: Наука, 1970. С. 99–118.
- Burt D.M., Sheridan M.F., Bikin J.V., Christiansen E.H. Topaz rhyolites – distribution, origin, and significance for exploration // Econ. Geol. 1982. V. 77. P. 1818–1836.
- Christiansen E.H., Burt D.M., Sheridan M.F., Wilson R.T. Petrogenesis of topaz rhyolites from the western United States // Contrib. to Mineral. and Petrol. 1983. P. 16–30.
- Christiansen E.H., Bikin J.V., Sheridan M.F., Burt D.M. Geochemical evolution of topaz rhyolites from the Tomas Range and Spor Mountain, Utah // Amer. Mineralogist. 1984. V. 69. P. 223–236.
- Duffield W.A., Reed B.I., Richter D.H. Origin of rhyolite-hosted tin mineralization: evidence from the Taylor Creek rhyolite, New Mexico // Econ. Geol. 1990. V. 85. P. 392–398.
- Fries C. Tin deposits of the Black Range, Catron and Sierra Counties, New Mexico // U.S. Geol. Surv. Bull. 922–M. 1940. P. 355–370.
- Foshag F., Fries C. Tin deposits of the Republic of Mexico // U.S. Geol. Surv. Bull. 935–C. 1942. P. 101–176.
- Genth F.A. Contribution to mineralogy // Amer. Philos. Soc. Proc. 1887. V. 24. P. 30–31.
- Huspeni J.R., Kesler S.E., Ruiz J, et al. Petrology and geochemistry of rhyolites associated with tin mineralization in Northern Mexico // Econ. Geol. 1984. V. 79. P. 87–105.
- Lufkin D.L. Oxide minerals in miarolitic rhyolite, Black Range, New Mexico // Amer. Mineralogist. 1976. V. 61. P. 425–430.
- Lufkin D.L. Chemistry and mineralogy of wood-tin, Black Range, New Mexico // Amer. Mineralogist. 1977. V. 62. PP. 100–106.
- Pan Y., Ypma P.J.M. The Mexican type tin deposit – its occurrence, chemistry and physical conditions of deposition (abstr.) // Geol. Soc. Amer. Abstr. Progr. 5. 1973. P. 762.