

УДК 553.04(553.777)

Литиевые месторождения сподуменовых пегматитов Сибири

А. Г. ВЛАДИМИРОВ^{1,7,9}, Н. З. ЛЯХОВ², В. Е. ЗАГОРСКИЙ³, В. М. МАКАГОН³, Л. Г. КУЗНЕЦОВА³, С. З. СМИРНОВ^{1,8},
В. П. ИСУПОВ², И. М. БЕЛОЗЕРОВ⁴, А. Н. УВАРОВ⁵, Г. С. ГУСЕВ⁶, Т. С. ЮСУПОВ¹, И. Ю. АННИКОВА¹, С. М. БЕСКИН⁶,
С. П. ШОКАЛЬСКИЙ⁷, Е. И. МИХЕЕВ^{1,8}, П. Д. КОТЛЕР^{1,8}, Е. Н. МОРОЗ¹, О. А. ГАВРЮШКИНА^{1,8}

¹Институт геологии и минералогии Сибирского отделения РАН,
проспект Академика Коптюга, 3, Новосибирск 630090 (Россия)

E-mail: vladimir@igm.nsc.ru

²Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения РАН,
ул. Кутателадзе, 18, Новосибирск 630128 (Россия)

³Институт геохимии им. А. П. Виноградова Сибирского отделения РАН,
ул. Фаворского, 1а, Иркутск 664033 (Россия)

⁴НФ ОАО ГСПИ – Новосибирский ВНИПИЭТ,
ул. Б. Хмельницкого, 2, Новосибирск 630075 (Россия)

⁵ФГУП “Запсибгеолсъемка”,
ул. Школьная, 5, пос. Елань, Кемеровская обл. 654219 (Россия)

⁶Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов,
ул. Вересаева, 15, Москва 121357 (Россия)

⁷Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,
Средний пр., 74, Санкт-Петербург 199106 (Россия)

⁸Новосибирский государственный университет,
ул. Пирогова, 2, Новосибирск 630090 (Россия)

⁹Томский государственный университет,
проспект Ленина, 36, Томск 634050 (Россия)

Аннотация

Проведен сравнительный анализ литиевых месторождений и рудопроявлений сподуменовых пегматитов Сибири с целью их разработки и обоснования инвестиционной привлекательности для атомной, электрохимической промышленности и военной техники. Приведена характеристика геологического строения рудных полей сподуменовых пегматитов и минералого-геохимическая характеристика содержащихся в них литиеносных комплексов. Наиболее богаты литием сподуменовые руды месторождений Восточного Саяна, Тувы и Восточного Забайкалья. Сопоставимым содержанием оксида лития в руде характеризуются руды Ташелгинского месторождения в Горной Шории. Руды Алахинского штока, расположенного на юге Горного Алтая, имеют самое низкое содержание оксида лития, однако благодаря равномерности его распределения и значительным масштабам оруденения здесь сосредоточены крупные запасы. При обогащении руд концентрат преимущественно состоит из сподумена. Из наиболее значительных примесей следует отметить железо. Степень обогащения концентратов оксидом лития определяется его содержанием в сподумене. В этом отношении наиболее перспективными из исследованных месторождений представляются пегматиты Восточного Саяна (месторождение Гольцовое). Подчеркивается необходимость проведения дополнительных геолого-разведочных, химико-технологических и реви-зионных работ с целью выделения участков с наиболее богатыми литиевыми рудами в пределах Завитинского месторождения (Забайкалье), а также на Гольцовом, Белореченском и Урикском месторождениях (Восточный Саян), месторождении Тастыг (Тыва) и перспективных рудопроявлениях Ташелга (Горная Шория) и Алаха (Горный Алтай). Сделан вывод, что сподуменовые пегматиты Сибири способны стать необходимой и достаточной минерально-сырьевой базой для развития литиевой отрасли России.

Ключевые слова: литий, сподумен, пегматиты, геологическое строение, минералогия, геохимия, Сибирь

© Владимир А. Г., Ляхов Н. З., Загорский В. Е., Макагон В. М., Кузнецова Л. Г., Смирнов С. З., Исупов В. П., Белозеров И. М., Уваров А. Н., Гусев Г. С., Юсупов Т. С., Анникова И. Ю., Бескин С. М., Шокальский С. П., Михеев Е. И., Котлер П. Д., Мороз Е. Н., Гаврюшкина О. А.

Оглавление

Введение	4
Объекты исследования	5
Восточное Забайкалье	5
Восточный Саян	8
Сангиленское нагорье (Тыва)	11
Горная Шория, Горный Алтай	13
Электрохимическая энергетика	17
Выводы	18

ВВЕДЕНИЕ

Литий – литофильный элемент, типичный для гранитных магм. Чаще всего он накапливается в позднемагматических образованиях с большим количеством летучих компонентов – пегматитах. В крупных пегматитовых месторождениях лития пегматиты обычно образуют “свиты” жильных тел значительной протяженности, представляют собой жилы или линзы в гранитных массивах, с крупно- и гигантозернистой структурой. Из 150 литийсодержащих минералов промышленное значение имеют только пять: сподумен $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$, лепидолит $\text{K}\{(\text{Li},\text{Al})_3[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH},\text{F})_2\}$, петалит $\text{Li}[\text{AlSi}_4\text{O}_{10}]$, амблигонит $\text{LiAl}[\text{PO}_4](\text{OH},\text{F})$, циннвальдит $\text{K}\{(\text{Li},\text{Fe},\text{Al})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH},\text{F})_2\}$. На переработке этих минералов базируется горная отрасль литийдобывающей промышленности России. В то же время существует и другая ветвь промышленности – гидроминеральная отрасль, ориентированная на переработку минерализованных растворов и рапы высокогорных соляных озер (саларов). Детальный анализ мирового сырьевого рынка лития показал, что на первое место сегодня вышли гидроминеральные месторождения, в частности салары Южной Америки и Тибета [1–5]. Однако литиевое сподумен-пегматитовое минеральное сырье не только не утратило своей экономической значимости и инвестиционной привлекательности, но и перерабатывается во все больших масштабах [6].

Возрастающий интерес к литиевому сподумен-пегматитовому минеральному сырью связан с несколькими факторами. Во-первых, изначально крупнейшие продуценты лития из саларов практически монополизировали мировой рынок, снизив цены до 3–3.5 долл. США

за 1 кг карбоната лития и поставив горно-обогатительные комбинаты во всех странах на грань банкротства. Однако в дальнейшем, заняв крупный сектор рынка, эти компании-монополисты постепенно подняли цены выше уровня 90-х годов прошлого века (6–6.5 долл. США/1 кг карбонат лития). В результате выжившие горно-обогатительные комбинаты успешно возобновили свою деятельность. Во-вторых, принятое в ряде стран решение о замене урановых стержней на танталовые в оружии сверхточного наведения привело к резкому росту цен на тантал, а один из главных его источников – редкометалльные сподуменсодержащие пегматиты. Очевидно, что это стало стимулирующим фактором для развития горнодобывающей промышленности во всех странах. В-третьих, использование алюмосиликатного сырья позволяет получать перспективные литиевые материалы для электрохимической промышленности непосредственно из сподуменного концентрата.

В литиевой отрасли России, доля которой на мировом рынке в начале 1990-х годов достигала 20 %, наблюдается иная ситуация. Неблагоприятные факторы, связанные с общими отрицательными процессами в перестройке экономики России, привели к утрате позиций на внутреннем и внешнем рынках и стагнации всего отечественного литиевого комплекса. Для выхода из создавшегося положения Сибирское отделение РАН, Госкорпорация “Росатом” и ОАО ТВЭЛ в рамках протоколов о научно-техническом сотрудничестве и междисциплинарных интеграционных проектов приняли решение о возобновлении переработки пегматитового литиевого сырья в Сибири. Одной из основных задач для решения этой проблемы было проведение

экспедиционных работ с целью геологического доизучения, отбора опытно-лабораторных проб из литиевых месторождений различных регионов Сибири (Восточное Забайкалье, Восточный Саян, Тува, Кузнецкий Алатау, Горный Алтай), их детального минералогического анализа и обогащения руд для получения сподуменовых концентратов с дальнейшей аттестацией и испытаниями на химико-металлургических заводах.

В настоящей статье проведен сравнительный обзор месторождений и рудопроявлений сподуменовых пегматитов Сибири как минерально-сырьевой базы для литиевой отрасли России.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 1 показаны литиеносные и потенциально рудоносные металлогенические провинции Южной Сибири и Восточного Казахстана. Перечень геологических объектов и их тектоническая позиция определенно указывают на высокий литиеносный потенциал Центрально-Азиатского складчатого пояса. Основное внимание уделено инвестиционно привлекательным рудным объектам Южной Сибири, которые способны обеспечить сырьем атомную и электрохимическую энергетику, а также военную технику России. Геологическая, геохимическая и минералогическая характеристики Восточно-Казахстанской литиевой рудной провинции приведены в работах [7–16] и в настоящей статье не рассматривается.

Восточное Забайкалье

В пределах Монголо-Охотского складчатого пояса хорошо известна Забайкальская мезозойская провинция редкометалльных гранитов и пегматитов [17]. Все содержащие литиевую минерализацию пегматитовые поля этой провинции – Седловское, Завитинское, Кангинское, Кулиндинское – приурочены к краевым частям Ононского террейна (Агинского массива), зажато между двумя ветвями Монголо-Охотской сутуры, сформировавшейся в результате коллизии Сибирского кратона и Аргунского микроконтинента в средней-поздней юре [18, 19]. Наибольший интерес представляет Завитинское поле с од-

ноименным литиевым месторождением сподуменовых пегматитов, служивших промышленным источником лития в России.

Завитинское месторождение лития контролируется Ингодино-Шилкинской ветвью Монголо-Охотской шовной зоны и пространственно ассоциирует с гранитами кукульбейского комплекса (J_3-K_1). По данным U–Pb изотопного датирования, Завитинская гранитно-пегматитовая система является полихронной. Ее формирование совпадает с периодом смены геодинамических режимов в регионе на рубеже J_3-K_1 : возраст ранних гранитных компонентов системы соответствует времени завершения коллизионного процесса (167–147 млн лет), тогда как образование сподуменовых пегматитов приурочено к началу этапа рифтогенеза (130 млн лет) [20, 21].

На рис. 2 показано геологическое строение Завитинского поля. В его пределах по минеральному составу и текстурным особенностям выделено четыре типа пегматитовых агрегатов: 1) гранит-пегматиты; 2) неравномернозернистые крупнокристаллические (до блоковых) калишпатовые и двуполевошпатовые пегматиты; 3) существенно альбитовые пегматиты; 4) резко неравномернозернистые сподумен-альбитовые пегматиты, часто образующие совместно с альбитовыми и сподумен-альбитовыми породами аплитовой и гранитной структур жильные тела полосчатой текстуры [23].

Завитинское месторождение, служившее минерально-сырьевой базой для Забайкальского горно-обогатительного комбината (ЗабГОК), представлено свитой сближенных жил северо-западного простирания протяженностью около 2.5 км при ширине до 1.2 км. В его пределах можно условно выделить несколько параллельных жильных серий (пучков). Свита жил круто падает на северо-восток, под расположенный над ней этаж, насыщенный лейкогранитами, безрудными и умеренно редкометалльными (Be, Sn) пегматитами. С большой долей вероятности предполагается склонение этой жильной свиты на северо-запад. На юго-восточном фланге Завитинского месторождения эта свита ограничивается Шаманским и Слюдянским разломами. Здесь, в лежащем боку свиты жил, установлена максимальная насыщенность пегматитами с наиболее богатыми литиевыми рудами. Рудные тела

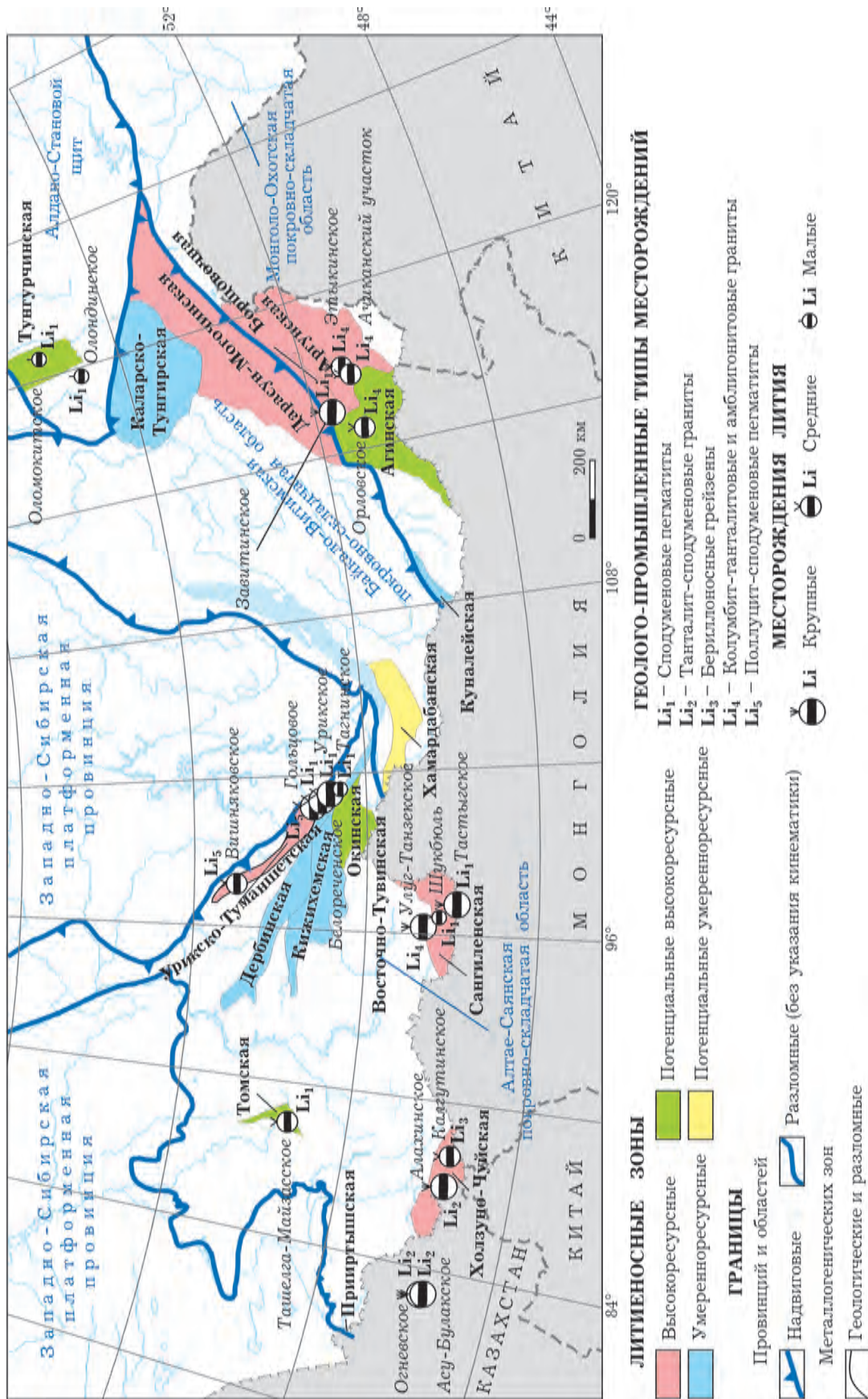


Рис. 1. Литиеносные и потенциально рудоносные металлогенетические провинции Южной Сибири. Карта составлена Г. С. Гусевым [3] с изменениями и дополнением А. Г. Владимировой, В. Е. Загорского, В. М. Макагона, Л. Г. Кузнецовой, С. З. Смирнова, Е. Н. Мороз.

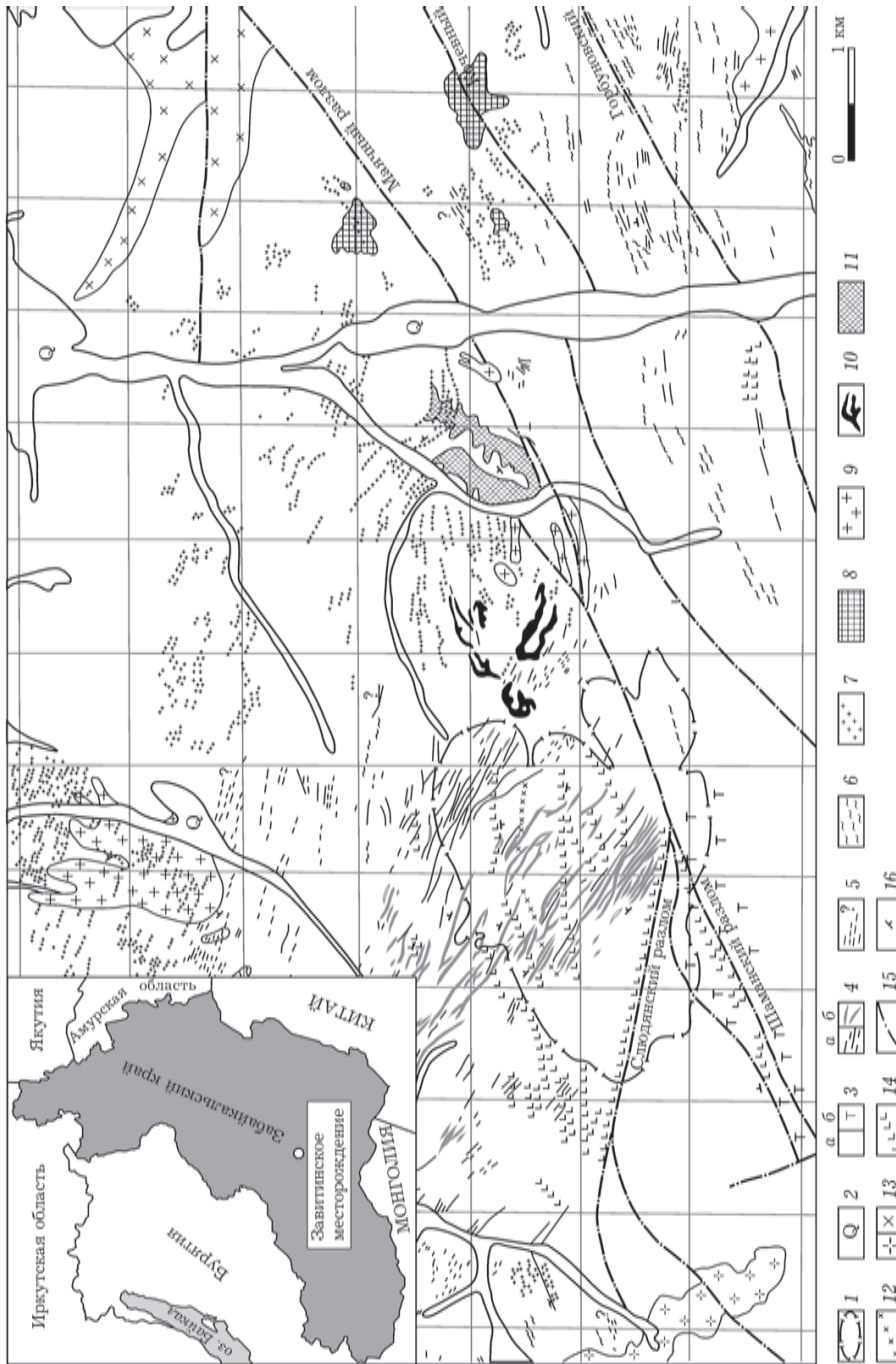


Рис. 2. Геологическая схема размещения гранитов и пегматитов в западной и центральной частях Завитинского пегматитового поля (составлена С. М. Бескиным, В. А. Банцеевым, Т. К. Прокофьевой с использованием фондовых материалов В. А. Грабонинова с соавт. (1986), Г. И. Петрова с соавт. (1961)); цифры радиологического возраста – по данным [20]); 1 – контур карьера и отвалов; 2 – современный аллювий; 3 – метатерригенные породы верхнего триаса (а) и динамометаморфиты по ним (б); 4–14 – магматические породы: 4, 5 – юный субщелочной комплекс, возраст 130 млн лет – по сподумен-альбитовым пегматитам (4 – альбитовые пегматитовидные граниты, аллиты, пегматиты III (а) и сподумен-альбитовые пегматитовидные граниты, аллиты и пегматиты IV (б); 5 – то же, предпологаемые, без разделения на типы); 6 – дайки и тела гранит-порфиров и альбитофиров; 7, 8 – молодой комплекс (возраст 140 млн лет – по двуполошпатовым гранитам и двуполошпатовым пегматитам П); 7 – жилы и тела сложной формы калишатовых и двуполошпатовых пегматитов II; 8 – равномерно-среднезернистые двуполошпатовые с гранатом, часто мелкопегматитовидные (пегматиты I) лейкограниты; 9 – средний комплекс (возраст 148 млн лет): средне- и мелкозернистые неравнозернистые, часто слабо порфировидные двуполошпатовые граниты, нерасчлененно; 10, 11 – совмещенные образования разных комплексов, нерасчлененно: 10 – залежи из мелкозернистых двуполошпатовых гранитов и лейкогранитов, альбитовых и сподумен-альбитовых гранитов, аллитов и разных пегматитов (средний, молодой и юный комплексы); 11 – залежи из мелкозернистых двуполошпатовых гранитов и лейкогранитов, калишатовых и двуполошпатовых пегматитов II (средний и молодой комплексы); 12 – дайки меланократовых микрогранитов; 13 – древний комплекс, меланограниты (возраст 169 млн лет – по биотитовым гранитам); порфировидные граниты (а) и порфировидные роговообманково-биотитовые граниты и адамеллиты (б); 14 – дайки лампрофиров и диоритовых порфиров; 15 – тектонические нарушения; 16 – элементы залегания горнопо-родных тел.

(пегматитовые жилы) достигают нескольких сотен метров в длину при мощности до 10 м.

Для рудных тел Завитинского месторождения характерно сложное внутреннее строение. В них выделяются следующие структурно-минеральные комплексы:

I. Мелкозернистый кварц-альбитовый (“белый аплит”).

II. Мелкозернистый сподумен-кварц-альбитовый (“серый аплит”).

III. Кварц-(±сподумен)-альбитовый гранитовидный.

IV. Резко неравномернозернистый крупнокристаллический сподумен-(±калишпат, мусковит)-кварц-альбитовый (собственно пегматит), содержащий иногда блоковые участки кварц-сподуменового состава.

V. Средне-крупнозернистый кварц-мусковитовый (“грейзеновый”).

Яркая особенность внутреннего строения большинства рудных тел – полосчатость, конформная их контактам и обусловленная незакономерным чередованием указанных выше минеральных комплексов. Мощность полос варьирует от 2–3 см до 2,5 м. Полосы могут разветвляться, выклиниваться и вновь появляться. Контакты сподуменсодержащих и бессподуменовых зон бывают как резкими, так и относительно расплывчатыми. Независимо от мощности полос и четкости их контактов, кристаллы сподумена обычно ориентированы длинной стороной по нормали к простиранию полос, количество которых в поперечном сечении жил может достигать 10–20 и более. В крупных телах, особенно в раздувах, нередко наблюдается нарушение полосчатости с подрезанием или пересечением одних полос другими (в том числе, и себе подобных), изгибы и разрывы полос, смещение и поворот соседних частей полосчатого тела относительно друг друга. Имеются две точки зрения на образование полосчатости в пегматитах месторождения: 1) последовательное внедрение типа “дайка в дайку” расплавов, отвечающих ассоциациям I, III, IV; 2) внедрение гетерогенного по составу расплава, изначально дифференцированного по содержаниям редких элементов и магматогенного флюида.

Средние содержания лития в сподумен-(±калишпат, мусковит)-кварц-альбитовом комплексе (IV) почти в четыре раза выше, чем

в сподумен-кварц-альбитовом “сером” аплите (III). В участках кварц-сподуменового состава массовая доля лития достигает 3,9 % (табл. 1). Сподумен содержит 6,2–7,2 мас. % Li_2O . Содержание лития в рудах месторождения определяется количественным соотношением главных минеральных комплексов, которое значительно варьирует по падению и простиранию рудных тел, пегматитовых пучков и жильной “свиты” в целом. С глубиной возрастает роль аплитов- и гранитовидных пород относительно собственно пегматитовых разновидностей, однако эта тенденция имеет нелинейный характер. Кроме того, в пределах Завитинского месторождения сотрудниками ФГУП ИМГРЭ выделены четыре пространственно разобщенных блока с поперечными размерами от 200×200 м до 600×900 м с повышенным содержанием литиеносных комплексов (рудные столбы древовидной формы, типы III, IV) [20, 21]. В отличие от остальных, в одном из таких столбов – юго-западном – содержание литиеносных минеральных комплексов с глубиной не снижается, а, напротив, возрастает (см. рис. 1). На нижних горизонтах карьера, в его юго-восточной части, вскрыто крупное тело, основу которого составляет богатый литием сподумен-кварц-альбитовый пегматит с участками кварц-сподуменового состава. Эти и другие примеры свидетельствуют о том, что рудный потенциал Завитинского месторождения не исчерпан, и его наиболее богатые участки могут рассматриваться как инвестиционно привлекательные объекты для добычи качественного сподуменового сырья, учитывая развитую инфраструктуру района и производственные мощности ЗабГОК.

Восточный Саян

Восточно-Саянский пегматитовый пояс протягивается вдоль юго-западной окраины Сибирской платформы на расстояние более 500 км и включает рудные поля литиевых, тантал-олово-литиевых и комплексных (Ta–Cs–Li) пегматитов нижнепротерозойского и рифейского возрастов. Этот пояс подразделяется на две части – юго-восточную и северо-западную. Для первой характерны сподуменовые пегматиты, формировавшиеся в ус-

ловиях повышенного начального давления (5–3 кбар). Они приурочены к Урикско-Ийскому грабену, сложенному нижнепротерозойскими сланцами и амфиболитами. В северо-западной части пояса распространены относительно низкобарические (3.5–2 кбар) петалитовые пегматиты, залегающие в амфиболитах нижнепротерозойской толщи Елашского грабена.

В Урикско-Ийском грабене расположен ряд интрузивных массивов саянского комплекса, сложенных сериями пород от габбро до гранит-лейкогранитов и пегматитов. Имеющиеся датировки возраста гранитоидов саянского комплекса, полученные U–Pb-изотопным методом (циркон) и Rb–Sr-изотопным методом (вал – слюды), составляют 1858 и 1817 млн лет соответственно [26–28]. Поля редкометалльных пегматитов пространственно тяготеют к массивам этих гранитоидов. Возраст сподуменовых пегматитов, определенный Rb–Sr-изотопным методом, составляет 1690 млн лет, а петалитовых пегматитов – 1490 млн лет. Это свидетельствует о том, что их формирование шло независимо от этапа формирования гранитов. Положение пегматитовых полей контролируется зонами глубинных разломов [28, 29].

Гольцовое, Урикское и Белореченское литиевые месторождения в Урикско-Ийском грабене расположены на расстоянии 20–30 км друг от друга, образуя единый рудный узел. Они представлены жилами или сериями жил сподуменовых пегматитов. Основные минеральные комплексы, слагающие жильные тела, приведены в табл. 1. Наибольший интерес представляет Гольцовое месторождение в северо-восточном борту Урикско-Ийского грабена.

Гольцовое месторождение. Структурно-геологическая схема месторождения приведена на рис. 3. Протяженность поля составляет около 20 км, площадь – 30 кв. км. Главные структурные элементы, контролирующие размещение сподуменовых пегматитов, – крупные тектонические нарушения взбросо-сдвигового типа с северо-западным простиранием и падением на юго-запад под углами 35–60° [27–30]. Пегматиты выполняют косесекущие и межпластовые трещины. Один из самых крупных разломов, вдоль которого узкой полосой вытянуты жильные тела и серии жил, разделяет пегматитовое поле на Западный и Восточный структурно-тектонические блоки.

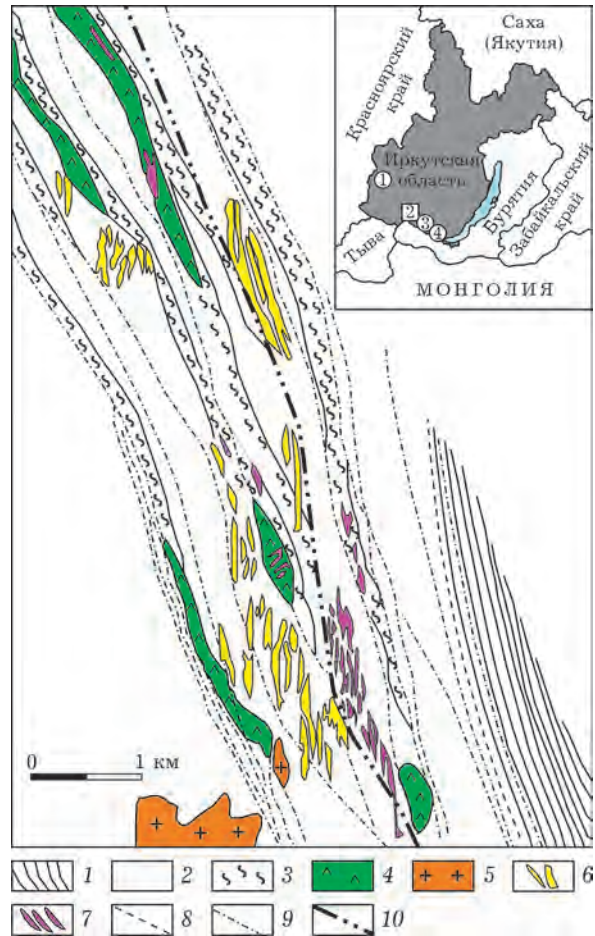


Рис. 3. Геологическая схема южной части Гольцового поля редкометалльных пегматитов Восточного Саяна (составлена А. Г. Теремецкой, В. Е. Рябенко, Ф. П. Чернухой и др. [30] с изменениями и дополнениями В. М. Макагона [27]): 1 – архейские гнейсы; 2 – биотитовые, мусковит-биотитовые, биотит-хлоритовые сланцы протерозоя; 3 – амфиболовые сланцы; 4 – амфиболизированные габброиды; 5 – граниты и гранодиориты; 6 – литиевые пегматиты; 7 – цезий-тантал-литиевые (комплексные) пегматиты; 8 – региональный разлом; 9 – тектонические нарушения; 10 – “Главный” разлом; на врезке показана географическая схема расположения основных литиевых месторождений Иркутской области: 1 – Вишняковское, 2 – Гольцовое, 3 – Белореченское, 4 – Урикское.

В Западном блоке разведаны одиночные пегматитовые жилы плитообразной, линзовидной и четковидной формы, протяженность которых достигает 1.5 км с мощностью в раздувах до 30 м. Для Восточного блока характерны серии многочисленных жильных тел сложной формы, многократно соединяющиеся и ветвящиеся, с раздувами и многочисленными апофизами. Общая мощность жильных пегматитовых серий достигает 100–140 м, протя-

ТАБЛИЦА 1

Минеральные комплексы сподумен-пегматитовых месторождений Сибири

Месторождения	Минеральные комплексы	Содержание Li ₂ O, мас. %
<i>Восточное Забайкалье</i>		
Завитинское	Мелкозернистый кварц-альбитовый (“белый аплит”)	0.04–0.06
	Мелкозернистый сподумен-кварц-альбитовый (“серый аплит”)	0.38–2.21
	Неравномернозернистый сподумен-(±калишпат, мусковит)-кварц-альбитовый (собственно пегматит)	1.10–2.78
	Кварц-сподуменовый	до 3.90
<i>Восточный Саян</i>		
Гольцовое	Крупнокристаллический альбит-кварц-сподумен-микроклиновый	0.81–2.66
	Мелкозернистый микроклин-сподумен-кварц-альбитовый	0.97–2.26
Урикское	Крупнокристаллический альбит-кварц-сподумен-микроклиновый	1.24–2.69
	Крупнозернистый альбит-кварц-сподуменовый с турмалином	до 3.62
Белореченское	Мелкоблоковый микроклин-кварц-сподумен-альбитовый с мусковитом	1.65–1.94
	Крупноблоковый альбит-кварц-сподумен-микроклиновый	2.44–2.58
	Мелкоблоковый петалитовый с микроклином	до 4.28
<i>Сангиленское нагорье (Тыва)</i>		
Тастыгское	Мелко-среднезернистый калишпат-кварц-сподумен-плагноклазовый	1.2–2.5
	Мелкозернистый плагноклаз-кварц-сподуменовый	2.5–4.3
Сутлугское	Мелко-среднезернистый калишпат-кварц-сподумен-плагноклазовый	1.4–3.0
Шук-Бюль	Среднезернистый калишпат-кварц-сподумен-плагноклазовый	1.3–2.3
	Мелкозернистый плагноклаз-кварц-сподуменовый	2.3–3.8
	Мелкозернистый кварц-альбит-лепидолитовый с турмалином	до 1.7
<i>Алтай и Горная Шория</i>		
Мраморное (Ташелгинское)	Аплитовидный кварц-полевошпатовый комплекс	0.08–0.39
	Крупнозернистый кварц-сподумен-калишпат-альбитовый с мусковитом	0.022–2.24
Алахинское*	Порфириовидный мусковит-сподумен-альбитовый	0.24–1.46

*Приведено среднее содержание.

женность – 2–2.5 км. Разведанные участки с промышленным орудением имеют площадь около 5 кв. км [27–31]. Характеристики минеральных комплексов приведены в табл. 1. Содержание Li₂O в сподумене составляет 6.5–7.7 мас. %. Гольцовое месторождение является комплексным, так как в промышленных масштабах содержит запасы тантала, цезия и других элементов-примесей.

Урикское месторождение расположено в юго-восточной части Урикско-Ийского грабена в непосредственной близости от Главного Саянского разлома. Протяженность – 2 км, ширина – около 500 м. Сподуменсодержащие пегматитовые жилы имеют крутое падение на юго-запад [27–31]. Характеристики литиеносных структурно-минералогических комплексов приведены в табл. 1. Содержание Li₂O в сподумене составляет 7.1–7.5 мас. %.

Белореченское месторождение приурочено к юго-западному борту Урикско-Ийского грабена и подразделяется на два участка: Белореченский, с литиевыми пегматитами, и Бельский, содержащий жилы литиевых и тантал-олово-литиевых пегматитов. Белореченское месторождение приурочено к субмеридиональной зоне трещиноватости и смятия метаморфических пород. Протяженность пегматитовых жил составляет десятки и сотни метров, при этом крупные жилы обособлены, а мелкие – образуют жильные серии. Наиболее крупная жила литиевых пегматитов Белореченского участка имеет северо-восточное простирание и крутые углы падения, форма ее неправильная, плитообразная с резкими коленообразными изгибами. Строение жилы зональное, причем наиболее мощная зона – мелкоблоковая кварц-сподумен-

микроклин-альбитовая – составляет около 75 % всего объема жилы, достигая мощности 40–50 м. В одной из жил этого участка наблюдается зона петалитового блокового пегматита с микроклином, в боковой части которой находятся сподумен и эвкрипит. Характеристики литиеносных структурно-минеральных комплексов приведены в табл. 1. Содержание Li_2O в сподумене Белореченского месторождения составляет 6.7–7.0 мас. %.

Имеющиеся данные по геологии литиевых месторождений сподуменных пегматитов и их технико-экономические показатели определенно указывают на перспективность Восточно-Саянского пояса для промышленного освоения, а Гольцовое месторождение является лучшим по геолого-экономическим показателям среди объектов данного геолого-промышленного типа. В Восточном Саяне это месторождение находится в относительно выгодных географических условиях и практически готово для промышленного освоения.

Сангиленское нагорье (Тыва)

Южно-Сангиленский пояс сподуменных пегматитов имеет протяженность более 120 км, субшироко ориентирован и отчетливо контролируется тектоническим швом (рис. 4). Он включает несколько полей, в том числе Хусуингольское, Бурчинское, Церигиинольское, Качикское, где насчитывается более двух десятков жильных серий литиеносных редкометалльных пегматитов разного масштаба. Нередко они расположены вблизи крупных гранитных массивов кыстарысского комплекса раннепалеозойского возраста [32]. Вмещающие породы – венд-нижнекембрийские карбонатные и терригенно-карбонатные. Все литиеносные пегматиты Южно-Сангиленского пояса относятся к сподуменовому типу. Наряду с высоким содержанием лития (первые проценты), в них отмечаются повышенные содержания Ta, Nb, Sn, Be. Наиболее крупное месторождение литиевых пегматитов этого пояса – Тастыг – включает несколько десятков жил мощностью 2–25 м, прослеженных на глубину до 700 м; протяженность его рудной зоны достигает 1000 м. Качикское поле включает два крупных рудопроявления литиевых пегматитов – Сутлугское и Хар-

тынское. Возраст сподуменных пегматитов месторождения Тастыг и рудопроявления Сутлуг составляет 483 и 494 млн лет соответственно и близок к возрасту гранитов кыстарысского комплекса [32, 33].

В центральной части Сангиленского нагорья расположено Сольбельдерское поле редкометалльных пегматитов, приуроченное к системе глубинных разломов (надвигов) северо-западного простирания (см. рис. 4). В нем выявлено несколько жильных серий сподуменных пегматитов литиевой специализации с повышенными содержаниями Li, Nb, Ta, Sn, Be, наиболее крупные из которых – месторождения Шук-Бюль и Кара-Адыр [32, 33]. Месторождение Шук-Бюль включает более десяти жил, образующих в апикальной части раздвиг с минерализацией Li–Cs–Ta–Sn–Be редкометалльного типа. Кроме сподуменных пегматитов, в Сольбельдерском поле имеются две жильные серии редкометалльных пегматитов альбит-лепидолитового типа, обогащенных B, F, Be, Li, Ta. Это рудное поле всегда считалось северной ветвью раннепалеозойского Южно-Сангиленского пегматитового пояса, однако, согласно новым данным, сподуменные пегматиты Сольбельдерского поля значительно моложе: возраст месторождений Шук-Бюль и Кара-Адыр составляет 272 и 292 млн лет соответственно [32].

Большинство сподуменных пегматитов Сангиленского нагорья приурочены к трещинам отслоения во вмещающих породах, оперяющим линейные крутопадающие разломы. Они имеют все признаки интрузивного происхождения и группируются в серии сближенных субвертикальных плитообразных и (или) изогнутых даек протяженностью до нескольких сотен метров, мощностью от 1 до 25 м. Слабо выраженная зональность их внутреннего строения обусловлена преобладающим развитием (до 80 % объема) кварц-сподумен-полевошпатового минерального комплекса, соотношения минералов в котором сильно варьируют. Единственным минералом-концентратором лития в этих породах является сподумен, содержащий от 6.5 до 7.6 мас. % Li_2O .

При довольно однообразном минеральном составе пород им свойственна текстурная неоднородность, проявляющаяся в сочетании тонкозернистых гранит-аплитовых и грубозерни-



Рис. 4. Геологическая схема распространения раннепалеозойских гранитных комплексов и связанных с ними литиевых пегматитов Восточного Саяна (составлена Л. Г. Кузнецовой и С. П. Шокальским на основе разномасштабных геолого-съёмочных карт и прогнозно-поисковых работ [32]): 1, 2 – монометаморфический нарынский комплекс Тувино-Монгольского массива (V- C_1): 1 – карбонатные и терригенно-карбонатные толщи, 2 – метатерригенные толщи; 3–6 – поля интрузий раннепалеозойского возраста: 3 – таннуольского комплекса (C_2), 4 – аргольского, сархойского и кыстарьского комплексов (O), 5 – бреньского комплекса (D_1), 6 – саянского комплекса (D_1); 7 – разломные зоны; 8 – участки распространения литиевых пегматитов; цифры на схеме: 1–7 – наиболее крупные проявления литиевых пегматитов: Тастыг (1), Пичи-Тастыг (2), Бурчинская группа (3), Сутлугское (4), Харгынское (5), Караадырское (6), Шук-Бюль (7); I–III – массивы гранитов: Дзос-Хусунгольский (I), Тумэнчулу (II), Сольбельдерский (III); на врезке показана географическая схема расположения сподуменпегматитовых рудных полей на территории Республики Тыва.

стых пегматитовых разновидностей, среди которых первые преобладают. Согласно мировой практике, считается, что богатая литиевая минерализация обычно концентрируется исключительно в пегматитовых минеральных комплексах, сочетающихся с “пустыми” кварц-полевошпатовыми аплитами. Однако в жилах пегматитовых поясов Саяна широко распространены именно богатые литием сподуменовые аплиты и мелкозернистые гранитовидные минеральные комплексы, с которыми связана существенная часть запасов лития, а кварц-полевошпатовые породы без сподумена

либо отсутствуют, либо их доля в общем объеме жил незначительна [34, 35]. Процессы автотометасоматоза в них проявлены очень слабо.

Результаты петрологических исследований позволили объяснить эти особенности. Выявлено, что все сподуменовые гранитоиды Саяна образуют эволюционный ряд, направленный к значительному обогащению пород литием (до 4.3 мас. %), что обусловлено спецификой флюидного режима – его повышенной восстановленностью при низкой активности F, B, H_2O [34, 35]. При этом сподуменовые пегматиты Сольбельдерского поля, в отличие

от сподуменных пегматитов Южно-Сангиленского пояса, формировались при более высоком флюидном давлении (до 5.8 кбар) и сильнее контаминированы известково-карбонатным материалом, особенно в жильных сериях, внедрившихся в известняки [33].

К главным факторам, определяющим высокую продуктивность сподуменных пегматитов Сангиленского нагорья на литий, относятся следующие: а) в жилах слабо представлен бесподуменный кварц-полевошпатовый комплекс, и практически во всем своем объеме они сложены рудоносными породами; б) в жилах не проявлены процессы автотетасоматоза (грейзенизация, альбитизация), способствующие снижению уровня содержания лития; в) признаки экзоконтактных изменений вмещающих известняков выражены минимально, что указывает на отсутствие выноса лития из жил; г) даже в коренных обнажениях породы очень слабо затронуты процессами выветривания.

Полученные новые данные о геохимических особенностях и различном возрасте редкометалльных пегматитов Сангиленского нагорья важны для выявления генетических связей месторождений редких металлов, широко распространенных в данном регионе, и в перспективе – для их будущего экономического освоения. Особое внимание следует уделить литиевому месторождению сподуменных пегматитов Тастыг, сопоставимому по масштабам, качеству руд и запасам с месторождениями Восточно-Саянского редкометалльно-пегматитового пояса. Однако транспортировка руд Тастыга возможна лишь через территорию Монголии, и решение этого вопроса потребует специальных межправительственных соглашений.

Горная Шория, Горный Алтай

Месторождения и проявления лития приурочены здесь к геологическим структурам Алтайской аккреционно-коллизийной системы, сформировавшейся в девоне–карбоне [36–38], а затем испытавшей плюмовое воздействие в перми–триасе [39–41]. Формирование редкометалльных сподумен-пегматитовых полей приурочено как к девон-карбонным событиям коллизийной природы, так и

к наложенным событиям плюмовой природы. В состав Алтайской литиеносной полихронной провинции входят пегматитовые месторождения Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана, а также рудопроявления Горного Алтая и Горной Шории на территории России. Наиболее богатыми являются месторождения Восточного Казахстана, однако на сегодняшний день они в значительной мере уже отработаны [7–10]. Рудогенерирующий потенциал Горной Шории и Горного Алтая пока не востребован. Литиевым месторождениям этого региона (Мраморное и Алахинское) уделено особое внимание в настоящей статье. Прителецкий пояс сподуменных пегматитов [42] сейчас находится в заповедной зоне и не доступен для изучения.

Мраморное (Ташелгинское) пегматитовое поле расположено в Горной Шории в 40 км к югу от г. Междуреченска (Кемеровская обл.). Это проявление пегматитов наиболее близко расположено к Красноярску и Новосибирску и их перерабатывающим предприятиям литиевой отрасли. Существует ряд факторов, благоприятствующих организации добычи руды, такие как наличие дорог, подходящих для тяжелого транспорта, близость железнодорожной станции. Все это определяет актуальность дальнейшего детального исследования геологии, минерального и химического состава сподумен-пегматитовых жил Ташелгинского района.

Пегматитовое поле является частью Ташелгинско-Майасского рудного узла, приуроченного к зоне Кузнецко-Алатаусского глубинного разлома, пересекающего метаморфические породы Томского выступа [43, 44]. Основной структурной единицей Ташелгинско-Майасского рудного узла, в который входит сподумен-пегматитовое поле, служит фрагмент зоны Кузнецко-Алатаусского глубинного разлома (рис. 5). Он выполнен породами ташелгинского полиметаморфического комплекса, представленными в существенной мере амфиболитовыми и карбонатными толщами. Метаморфические породы прорваны небольшими интрузивами основного и кислого состава. Интрузии гранитного состава считаются самыми молодыми геологическими образованиями района. Наиболее крупные их выходы расположены к востоку от зоны Куз-

нецко-Алатаусского разлома. Здесь выделяют массив гранито-гнейсов и гнейсо-гранитов томского комплекса пермь-триасового возраста, и массивы субщелочных гранитов и лейкогранитов порожинского комплекса триасового возраста. Возраст сподуменовых пегматитов был определен U–Pb-методом (SHRIMP II) по магматическому циркону жилы Юрьевской и составляет 407 ± 13 млн лет [45]. Таким образом, молодые граниты, имеющие возраст 211 млн лет [43, 46] не могут претендовать на роль пегматитогенерирующих тел.

В состав пегматитового поля входят олигоклаз-микроклиновые пегматиты с биотитом, микроклин-альбитовые пегматиты с мусковитом и микроклин-альбитовые пегматиты со сподуменом. На рис. 5 видно, что большая часть пегматитовых тел приурочена к “карбонатному” блоку ташелгинского метаморфического комплекса. “Амфиболитовый” блок прорывается только биотитовыми пегматитами, в то время как мусковитовые и сподуменовые пегматиты полностью локализованы в карбонатных породах.

В процессе геолого-поисковых и разведочных работ обнаружены пять жил в коренном залегании и большое количество глыб на склонах гор и в руслах водотоков. Не исключена возможность обнаружения и других тел в пределах Мраморного (Ташелгинского) поля сподуменовых пегматитов.

Тела сподуменовых пегматитов представляют собой жилы размерами более 200 м по простиранию, с мощностью не более 1.5 м. Они обладают структурно-минеральной зональностью. Призальбандовые части жил имеют аплитовое строение, в направлении к осевой части жил аплитовый пегматит сменяется грубозернистым, который в осевой части жилы переходит в зону блокового полевого шпата или блокового кварца. В экзоконтакте жил развита прерывистая зона биотит-мусковит-кварц-плагиоклазового состава. В пределах одной из жил происходит фациальный переход от мусковитового пегматита в основной части жилы к сподуменовому в ее раздувах.

Главные минералы сподуменовых пегматитов – непертитовый калиевый полевой шпат, плагиоклаз, кварц, сподумен и мусковит. Структурно-текстурные особенности минеральных комплексов пегматитов свидетельствуют об обширном влиянии динамометамор-

физма. Кварц образует вытянутые зерна с зазубренными краями, обусловленные процессами катаклазирования. Полевые шпаты разрушены по краям и окатаны. В аксессуарных количествах в пегматитах присутствуют гранат, апатит, танталит-колумбит, струверит, пироклор, касситерит, уранинит, циркон.

Составы литиеносных минеральных комплексов пегматитов Мраморного (Ташелгинского) поля приведены в табл. 1. Наиболее перспективным в качестве руды на Li представляется грубозернистый сподумен-кварц-альбит-микроклиновый комплекс, содержащий второстепенный мусковит. Этот комплекс слагает большую часть объема пегматитовых жил. Руды сподуменовых пегматитов содержат в среднем 1.8 мас. % Li_2O . В различных по минеральному составу комплексах жил содержание лития может варьировать от 0.02 до 2.2 мас. %. Сподумен исследованных пегматитов обладает пониженными содержаниями Li_2O (5.9 мас. %).

Алахинское месторождение представляет специфический геологический объект, который резко отличается от классических сподуменовых пегматитов Сибири [47–49]. Это месторождение представлено Алахинским штоком сподуменовых гранит-порфиров, расположенным на юге Горного Алтая (рис. 6, 7). Установленный с помощью U–Pb- и Rb–Sr-изотопных методов возраст гранит-порфиров составил (201 ± 1.5) млн лет [47]. Сподуменовые гранит-порфиры слагают на юго-восточном фланге Рахмановского гранитного массива (375 ± 11 млн лет [44]) два интрузивных тела общей площадью 0.4 кв. км. Оба тела, скорее всего, представляют собой части единого массива, основная часть которого расположена ниже современного эрозионного среза. Главные разновидности пород массива – мусковит-сподумен-альбитовые гранит-порфиры, мусковит-альбитовые гранит-порфиры и альбититы. Основной объем Алахинского штока сложен мелко-среднезернистыми мусковит-сподумен-альбитовыми гранит-порфирами. Альбититы приурочены к верхней апикальной части штока, где они пространственно совмещены с грейзенизированными породами рамы. Со сподуменовыми гранит-порфирами альбититы имеют постепенные переходы.

Руды имеют порфировидную структуру. Порфировые вкрапленники представлены

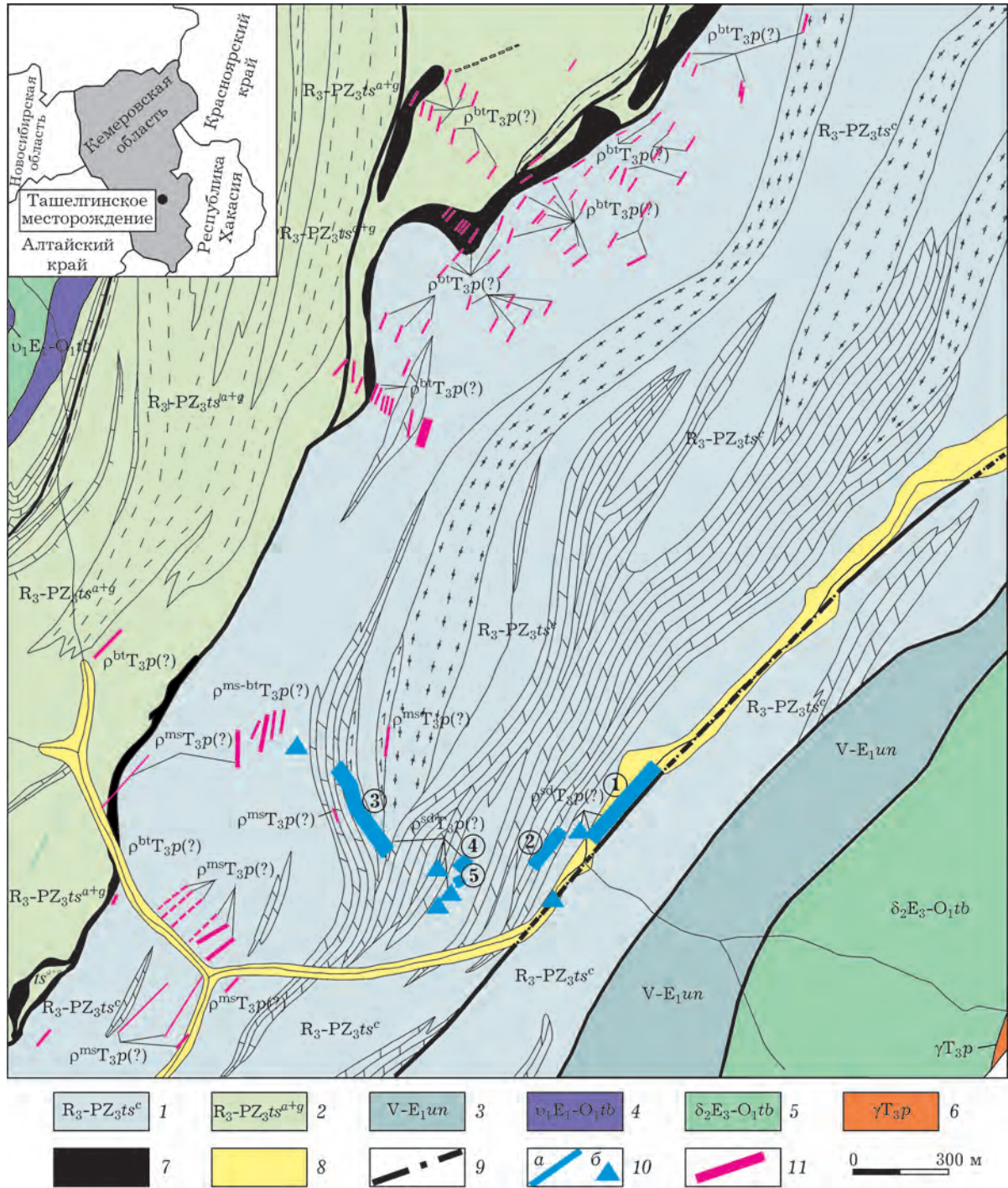


Рис. 5. Геологическая схема Мраморного (Ташелгинского) сподумен-пегматитового рудного поля Горной Шории (составлена А. Н. Уваровым, И. А. Ляпуновым, А. А. Юрьевым и др. [45] с изменениями и дополнениями С. З. Смирнова, А. Г. Владимирова, П. Д. Котлера, Е. И. Михеева, О. А. Гаврюшкиной [22]): 1 – карбонатный подкомплекс ташелгинского полиметаморфического комплекса; 2 – амфиболитовый и мигматит-гнейсовый подкомплексы ташелгинского полиметаморфического комплекса; 3 – усть-анзасский трахит-трахибазальт-базальтовый комплекс; 4 – габброиды тебинского габбро-диоритового комплекса; 5 – диориты тебинского габбро-диоритового комплекса; 6 – гранитоиды порожинского субщелочногранит-лейкогранитового комплекса; 7 – железорудные скарны; 8 – четвертичные аллювиальные отложения; 9 – разрывные нарушения зоны Кузнецко-Алатаусского глубинного разлома; 10 – проявления сподумен-микроклин-альбитовых пегматитов (а – жильные тела, вскрытые разведочными выработками, б – глыбы сподуменовых пегматитов в делювиальных свалах и речном аллювии); 11 – жилы бесподуменовых кварц-альбит-микроклиновых пегматитов с мусковитом или биотитом; цифрами 1–5 на поле рисунка обозначены жилы: Юрьевская (1), Юбилейная (2), Николаевская (3), Ляпуновская (4), Родченковская (5); на врезке показана географическая схема расположения Мраморного (Ташелгинского) рудного поля сподуменовых пегматитов в Кемеровской области.

кварцем (~30 %), альбитом (~35 %), калиевым полевым шпатом (~10 %), мусковитом (~10 %) и сподуменом (0–20 %). Основная масса сложена лейстами альбита, ксеноморфными выделениями кварца, калиевого полевого шпата и чешуйками слюды. Сподумен в этих породах развит неравномерно. Его содержания

варьируют очень широко – от 3–4 до 18–20 %, в некоторых случаях он полностью отсутствует. Среди акцессорных и второстепенных минералов встречаются петалит, поллуцит, апатит, пирит, мангантанталит, манганколумбит, висмутин, гораздо реже – циркон, турмалин, ортит и др.

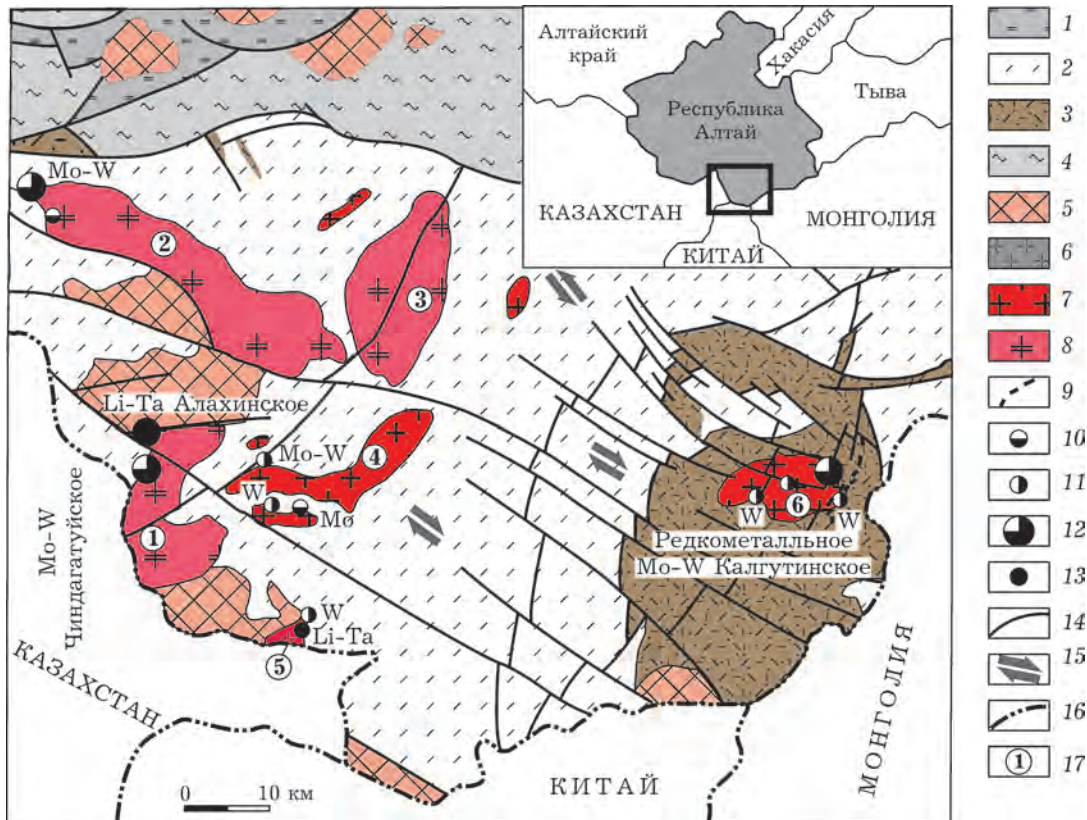


Рис. 6. Геологическая схема расположения раннемезозойских редкометалльных гранитов, онгонитов, эльванов, сподуменовых гранит-порфиров и связанных с ними рудных месторождений в южной части Горного Алтая (составлена А. Г. Владимировым, В. И. Крупчатниковым, И. Ю. Анниковой на основе разномасштабных геолого-съёмочных карт и прогнозно-поисковых работ [50]): 1 – структурно-вещественные комплексы венд-раннекембрийской аккреционной призмы Горного Алтая; 2–4 – Холзунско-Чуйский террейн в составе Алтае-Монгольского микроконтинента: 2 – нижний структурный этаж, представленный турбидитовыми толщами раннепалеозойского возраста, 3 – верхний структурный этаж, представленный осадочно-вулканогенными толщами среднепалеозойского возраста, 4 – коллизионный шов, представленный южно-чуйским метаморфическим комплексом (PZ₁:PZ₂); 5 – среднепалеозойские коллизионные гранитоиды, имеющие известково-щелочной состав в пределах Холзунско-Чуйского террейна и монцитонитовый в пределах Южно-Чуйского коллизионного шва; 6–10 – раннемезозойские магматические комплексы, относящиеся к внутриплитному этапу тектогенеза: 6 – гранит-лейкограниты кунгурджаринского комплекса (T₂kg), 7 – гранит-лейкограниты калгутинского комплекса (T₃-J₁kl), 8 – гранит-лейкограниты чиндагуйского комплекса (J₁čn), 9 – гранит-порфиры, эльваны и онгониты восточно-калгутинского комплекса (J₁vk); 10–13 – редкометалльные гидротермальные и магматогенные рудопроявления и месторождения: 10 – существенно молибденовые, 11 – существенно вольфрамовые, 12 – молибден-вольфрамовые, 13 – литий-танталовые; 14 – раннемезозойские разломы сдвигового и взбросо-сбросового характера; 15 – преобладающая кинематика сдвигов в различных геоблоках; 16 – государственные границы; 17 – номера массивов: 1 – Чиндагуйский, 2 – Орочаганский, 3 – Акалахинский, 4 – Текекундейский, 5 – Кунгурджаринский, 6 – Калгутинский; на врезке показано местоположение изучаемого района.

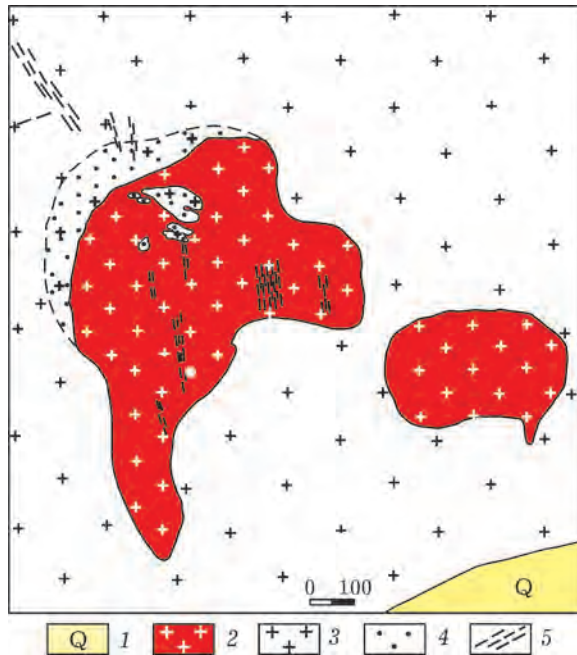


Рис. 7. Геологическая схема Алахинского месторождения сподуменовых гранит-порфиров, расположенного в южной части Горного Алтая (составлена В. И. Тимкиным, В. С. Кудриным, О. Д. Ставровым, Т. Н. Шуригой [48] с изменениями и дополнениями А. Г. Владимирова и Н. Н. Крука [49]): 1 – четвертичные отложения; 2 – сподуменовые гранит-порфиры Алахинского штока, $T = 201.5$ млн лет; 3 – вмещающие кварцдиорит-гранодиорит-граниты рахмановского комплекса, $T = (375 \pm 11)$ млн лет; 4 – зоны грейзенизации; 5 – линейные зоны катаклаза; географическую позицию Алахинского месторождения см. рис. 6.

Основные виды литиевой руды на Алахинском месторождении представлены мусковит-сподумен-альбитовыми и мусковит-сподуменовыми гранит-порфирами (см. табл. 1). Содержание Li_2O в них составляет 0.24–1.46 мас. % при среднем значении 0.98 мас. %. В мусковит-альбитовых гранит-порфирах содержание Li_2O колеблется в пределах 0.02–0.04 мас. %. В альбититах содержания Li_2O составляют 0.02 мас. %.

Сподумен Алахинского штока демонстрирует широкие вариации по содержанию Li_2O аналогично сподумену из Ташелгинских пегматитов имеет пониженные концентрации (5.7–6.6 мас. %). Наиболее высокое содержание Li_2O (6.2–6.6 мас. %) характерно для мусковит-сподуменовых разновидностей, которые составляют главный объем интрузивных тел.

Рудогенерирующий потенциал Алтайской литиеносной провинции до сих пор остается

недооцененным. Необходимо продолжение исследований и проведение сравнительного технико-экономического анализа имеющихся геологических данных и качества сподуменовых концентратов.

ЛИТИЙ В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Металлический литий и его соединения (кобальтит, железо-фосфат и др.) широко используются в литиевых химических источниках тока в качестве катодных и анодных материалов, в литий-ионных проводниках. Другая перспективная область применения соединений лития связана с электрохимическими генераторами (ЭХКГ) на основе топливных элементов с карбонатным расплавленным электролитом (ТЭКЭ) [51]. В таких элементах анод и катод разделены пространством, заполненным эвтектическим расплавом Li_2CO_3 – K_2CO_3 , загущенным высокодисперсным гамма-моноалюминатом лития $\gamma\text{-LiAlO}_2$. Расплав из такой композиции, называемой матричным электролитом, уже не может вытекать. Другая важная функция матричного электролита связана с тем, что он не позволяет “затоплять” или “осушать” анод и катод, обеспечивая тем самым заполнение электродов расплавом по толщине на 50 %. Вторая половина пористых электродов заполнена электроактивными газами. Электрохимический генератор мощностью 100 кВт требует загрузки около 100 кг высокодисперсного гамма-моноалюмината лития с удельной поверхностью более $10 \text{ м}^2/\text{г}$. Существующая сейчас в мире потребность в высокодисперсном $\gamma\text{-LiAlO}_2$, необходимом для функционирования электрохимических генераторов на базе ТЭКЭ, составляет десятки тонн в год. При широкой коммерциализации таких генераторов потребность в высокодисперсном гамма-моноалюминате лития может возрасти на несколько порядков. Если учесть, что в электрохимических генераторах помимо моноалюмината лития используется также значительное количество карбоната лития, то эта отрасль электрохимической энергетики в долгосрочной перспективе представляет собой инвестиционно привлекательную область применения литийсодержащих соединений и материалов.

Эти материалы с успехом могут производиться перерабатывающими предприятиями, расположенными в Сибири.

Экспериментальные исследования показали, что сподуменовые концентраты из пегматитовых месторождений Южной Сибири могут быть успешно использованы для получения двойного гидроксида Li и Al $[\text{LiAl}_2(\text{OH})_6](\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с использованием методики [52]. Из двойного гидроксида Li и Al, применяя методы, изложенные в [53–55], возможно проведение синтеза монофазного гамма моноалюмината лития, степень дисперсности которого приемлема для использования в качестве матричного электролита в карбонат-расплавных топливных элементах. Эксперименты показали, что в качестве сырья для производства двойного гидроксида лития и алюминия можно эффективно использовать концентраты сподумена из всех известных месторождений Южной Сибири.

Выводы

1. Месторождения сподуменовых пегматитов Южной Сибири обладают большими запасами литиевого сырья и характеризуются высоким качеством руд, что позволяет их рассматривать как необходимую и достаточную минерально-сырьевую базу для развития литиевой промышленности России (атомная, электрохимическая энергетика, военная техника и другие отрасли).

2. Руды сподуменовых пегматитов Южной Сибири являются перспективным сырьем, которое может быть использовано как база для создания новых отечественных технологий получения литийсодержащих материалов, что, в свою очередь, будет способствовать развитию экономически рентабельных технологий в электрохимической энергетике.

3. Выбор инвестиционно привлекательных рудных объектов зависит от экономико-геологической оценки с учетом географического расположения месторождений, инфраструктуры, качества руд, новых технологий переработки сырья. Представляется очевидной целесообразность проведения дополнительных геолого-разведочных, химико-технологических и

ревизионных работ с целью выделения участков с наиболее богатыми литиевыми рудами Восточного Забайкалья, Восточного Саяна, Тувы, Горной Шории и Горного Алтая. Наиболее перспективны Гольцовое, Белореченское и Урикское месторождения сподуменовых пегматитов, практически готовые к промышленному освоению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Moores S. // *Ind. Miner.* 2007. Vol. 477. P. 58–69.
- 2 Материалы Всерос. науч.-практ. совещ. с междунар. участ. “Литий России: минерально-сырьевые ресурсы, инновационные технологии, экологическая безопасность” / Н. З. Ляхов, А. Г. Владимиров, В. П. Исупов (отв. ред.). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. С. 201.
- 3 Владимиров А. Г., Ляхов Н. З., Исупов В. П., Загорский В. Е., Гусев Г. С., Белозеров И. М. // *Разведка и охрана недр.* 2011. № 6. С. 13–20.
- 4 Волкова Н. И., Владимиров А. Г., Исупов В. П., Мороз Е. Н. // *Химия уст. разв.* 2012. Т. 20, № 1. С. 21–26.
- 5 Ягольницер М. А., Коцупало Н. П., Рябцев А. Д. // *Химия уст. разв.* 2012. Т. 20, № 1. С. 55–59.
- 6 Двинских Е. М., Крылов Г. Б., Владимиров А. Г. // *Химия уст. разв.* 2012. Т. 20, № 1. С. 49–53.
- 7 Большой Алтай: (геология и металлогения). Кн. 1: Геологическое строение. Алматы: Гылым, 1998. 304 с.
- 8 Большой Алтай: (геология и металлогения). Кн. 2: Металлогения. Алматы: РИО ВАК РК, 2000. 400 с.
- 9 Дьячков Б. А., Майорова Н. П., Рахимбаева Б. Б. // *Рудно-магматические системы орогенных областей.* Ташкент, 2010. С. 331–337.
- 10 Лопатников В. В., Изох Э. П., Ермолов П. В., Пономарева А. П., Степанов А. Е. Магматизм и рудоносность Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана. М.: Наука, 1982. С. 247.
- 11 Belov V. A. // *Granite-Related Ore Deposits in Central Kazakhstan and Adjacent Areas.* St. Petersburg: Glagol, 1996. P. 219–228.
- 12 Beskin S. M., Larin V. N., Marin Yu. B. // *Granite-Related Ore Deposits in Central Kazakhstan and Adjacent Areas.* St. Petersburg: Glagol, 1996. P. 145–154.
- 13 Laumulin T. M., Gubaidulin F. G., Gulyaev A. P. // *Granite-Related Ore Deposits in Central Kazakhstan and Adjacent Areas.* St. Petersburg: Glagol, 1996. P. 187–196.
- 14 Letnikov F. A. // *Ore Bearing Granites of Russia and Adjacent Countries.* Moscow: IGE M RAS, 2000. P. 177–192.
- 15 Дьячков Б. А. // Материалы Всерос. науч.-практ. совещ. с междунар. участ. “Литий России: минерально-сырьевые ресурсы, инновационные технологии, экологическая безопасность”. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. С. 42–47.
- 16 Ермолов П. В., Есимов Б. О. // Материалы Всерос. науч.-практ. совещ. с междунар. участ. “Литий России: минерально-сырьевые ресурсы, инновационные технологии, экологическая безопасность”. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. С. 48–51.
- 17 Поля редкометалльных гранитных пегматитов: геохимическая специализация и закономерности разме-

- чения. / Овчинников Л. Н., Кузьменко М. В. (ред.). М.: Наука, 1976. 332 с.
- 18 Зорин Ю. А., Беличенко В. Г., Рутштейн И. Г., Зорина Л. Д., Спиридонов А. М. // Геология и геофизика. 1998. Т. 39, № 11. С. 1578–1586.
 - 19 Ханчук А. И., Парфенов Л. М., Бадарч Г., Беличенко В., Берзин Н. А., Булгатов А. Н., Баямба Дж., Дейкуненко А. В., Дун Ю., Дриль С. И., Гордиенко И. В., Хванг Д.-Х., Ким Б., Кузьмин М. И., Кораго Е. А., Косыко М. К., Огасавара М., Оролмаа Д., Оксман В. С., Попеко Л. И., Прокопьев А. В., Руднев С. Н., Скляров Е. В., Смелов А. П., Судо С., Супруненко О. И., Сун Дж., Тимофеев В. Ф., Томуртоого О., Третьяков Ф. Ф., Верниковский В. А., Владимиров А. Г., Ваquita К., Янь Х., Йе М., Зедгенизов А. Н. // Тез. докл. междунар. конф. “Тектоника и металлогения Центральной и Северо-Восточной Азии”. Новосибирск: Гео, 2002. С. 15–17.
 - 20 Загорский В. Е., Бескин С. М., Шокальский С. П. // Материалы Всерос. науч.-практ. совещ. с междунар. участ. “Литий России: минерально-сырьевые ресурсы, инновационные технологии, экологическая безопасность”. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. С. 51–55.
 - 21 Загорский В. Е., Владимиров А. Г., Макагон В. М., Кузнецова Л. Г., Смирнов С. З., Анникова И. Ю., Уваров А. Н. // Материалы междунар. конф., посвященной памяти академика В. И. Коваленко. М.: изд. ИГЭМ, 2011.
 - 22 Владимиров А. Г., Смирнов С. З., Анникова И. Ю., Мороз Е. Н., Котлер П. Д., Михеев Е. И., Гаврюшкина О. А. // Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участ. “Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скопления литосферных плит”. Владивосток, 2011. С. 187–190.
 - 23 Загорский В. Е., Кузнецова Л. Г. Геохимия сподуменовых пегматитов и щелочно-редкометалльных метасоматитов. Новосибирск: Наука, 1990. 140 с.
 - 24 Козлов В. Д. // Геология и минералогия Забайкалья: Сб. докл. и статей к науч.-произв. конф. Чита: Изд-во ЗабГГПУ, 2010. С. 132–140.
 - 25 Критерии прогноза и оценки литиеворудных сподуменовых пегматитовых районов и полей. Методические рекомендации. М.: ИМГРЭ, 1990. 82 с.
 - 26 Левицкий В. И., Мельников А. И., Резницкий Л. З., Бибикина Е. В., Киринова Т. И., Козаак И. К., Макаров В. А., Плоткина Ю. В. // Геология и геофизика. 2002. Т. 43, № 8. С. 717–731.
 - 27 Макагон В. М. // Материалы Всерос. науч.-практ. совещ. с междунар. участ. “Литий России: минерально-сырьевые ресурсы, инновационные технологии, экологическая безопасность”. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. С. 77–81.
 - 28 Макагон В. М., Лепин В. С., Брандт С. Б. // Геология и геофизика. 2000. Т. 41, № 12. С. 1783–1789.
 - 29 Ткачев А. В., Рундквист Д. В. // Наука и просвещение: к 250-летию Геологического музея РАН. М.: Наука, 2009. С. 209–284.
 - 30 Теремецкая А. Г., Рябенко В. Е., Чернуха Ф. П., Полетаев И. А., Несмелов Г. Г., Фадеев П. Л. // Вестн. МГУ. 1973. № 3. С. 76–84.
 - 31 Емельянов Е. Л., Макагон В. М., Перфильев В. В., Шмакин Б. М. // Материалы Междунар. симп. “Стратегия использования и развития минерально-сырьевой базы редких металлов России в XXI веке”. М.: изд. ВИМС МПР, 1998. С. 59–61.
 - 32 Кузнецова Л. Г., Шокальский С. П. // Материалы Всерос. науч.-практ. совещ. с междунар. участ. “Литий России: минерально-сырьевые ресурсы, инновационные технологии, экологическая безопасность”. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. С. 65–70.
 - 33 Kuznetsova L. G. // Asociacion Geologica Argentina. 2011. Serie D: Publ. Esp. No. 14. Contributions to the 5-th Int. Symp. on Granitic Pegmatites. P. 119–122.
 - 34 Kuznetsova L. G. // Book of Abstr. Int. Symp. “Granitic Pegmatites – the State of the Art”. Porto, 2007. P. 52–53.
 - 35 Кузнецова Л. Г., Прокопьев В. Ю. // Докл. РАН. 2009. Т. 428, № 6. С. 786–791.
 - 36 Владимиров А. Г., Крук Н. Н., Руднев С. Н., Хромых С. В. // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 12. С. 1321–1338.
 - 37 Владимиров А. Г., Крук Н. Н., Полянский О. П., Владимиров В. Г., Бабин Г. А., Руднев С. Н., Анникова И. Ю., Травин А. В., Савиных Я. В., Палесский С. В. // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). М.: ГИН РАН, 2005. С. 182–215.
 - 38 Владимиров А. Г., Крук Н. Н., Хромых С. В., Полянский О. П., Червов В. В., Владимиров В. Г., Травин А. В., Бабин Г. А., Куйбида М. Л., Хомяков В. Д. // Геология и геофизика. 2008. Т. 49, № 7. С. 621–636.
 - 39 Добрецов Н. Л., Владимиров А. Г., Крук Н. Н. // Докл. РАН. 2005. Т. 400, № 4. С. 505–509.
 - 40 Борисенко А. С., Сотников В. И., Изох А. Э., Поляков Г. В., Оболенский А. А. // Геология и геофизика. 2006. Т. 47, № 1. С. 166–182.
 - 41 Mao J. W., Goldfarb R. J., Wang Y. T., Hart C. J., Wang Z., Yang J. // Episodes. 2005. Vol. 28, issue. 1. P. 23–36.
 - 42 Бальтер Б. Л. Минералогия пегматитов Прителецкого района Горного Алтая и участка Сливень Горной Шории. Новокузнецк, 1960.
 - 43 Владимарев А. Г., Пономарева А. П., Каргополов С. А., Бабин Г. А., Плотников А. В., Гибшер А. С., Изох А. Э., Шокальский С. П., Бибикина Е. В., Журавлев Д. З., Пономарчук В. А., Халилов В. А., Травин А. В. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1999. Т. 7, № 5. С. 28–42.
 - 44 Шокальский С. П., Бабин Г. А., Владимиров А. Г., Борисов С. М., Гусев Н. И., Токарев В. Н., Зыбин В. А., Дубский В. С., Мурзин О. В., Кривчиков В. А., Крук Н. Н., Руднев С. Н., Федосеев Г. С., Титов А. В., Сергеев В. П., Лихачев Н. Н., Маллин А. Н., Котельников Е. И., Кузнецов С. А., Зейферт Л. Л., Яшин В. Д., Носков Ю. С., Уваров А. Н., Федак С. И., Гусев А. И., Выставной С. А. Корреляция магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области. / Гл. ред. А. Ф. Морозов. Новосибирск: Гео, 2000. 120 с.
 - 45 Уваров А. Н., Ляпунов И. А., Юрьев А. А., Ключарев Д. С., Левченко Е. Н., Арнт О. В., Юрьева В. В., Калиш Е. А. Прогнозно-поисковые работы на редкие металлы в пределах Ташелгинского рудного района в Кемеровской области за 2005–2007 гг. (в 2-х книгах и 1 папке) // Геол. отчет. Елань: ФГУП “Запсибгеолъсъемка”, 2007. С. 410
 - 46 Бабин Г. А., Владимиров А. Г., Руднев С. Н. // Материалы науч.-практ. конф. “Актуальные вопросы геологии и минералогии юга Сибири” / Гл. ред. А. Г. Владимиров. Новосибирск: Изд-во ИГиЛ СО РАН, 2001. С. 18–30.
 - 47 Владимиров А. Г., Выставной С. А., Титов А. В., Руднев С. Н., Дергачев В. Б., Анникова И. Ю., Тикунов Ю. В. // Геология и геофизика. 1998. Т. 39, № 7. С. 901–916.
 - 48 Кудрин В. С., Ставров О. Д., Шурига Т. Н. // Петрология. 1994. Т. 2, № 1. С. 88–95.
 - 49 Владимиров А. Г., Пономарева А. П., Шокальский С. П., Халилов В. А., Костицын Ю. А., Пономарчук В. А.,

- Руднев С. Н., Выставной С. А., Крук Н. Н., Титов А. В. // Геология и геофизика. 1997. № 4. С. 715–729.
- 50 Анникова И. Ю., Владимиров А. Г., Выставной С. А., Журавлев Д. З., Крук Н. Н., Лепехина Е. Н., Матуков Д. И., Мороз Е. Н., Палесский С. В., Пономарчук В. А., Руднев С. Н., Сергеев С. А. // Петрология. 2006. Т. 14, № 1. С. 90–108.
- 51 Molten Carbonate Fuel Cells. // Fuel Cell Handbook. 7-th Ed. Morgantown: EG&G Tech. Serv., Inc., 2004.
- 52 Научный отчет по теме “Разработка технологии получения лития и его соединений непосредственно из литиевой руды”. Новосибирск, ХМИ, 1960–1961, инв. № 289. 223 с.
- 53 Пат. 2347749 РФ, 2009. МПК C01F 7/04.
- 54 Исупов В. П. // Сб. материалов VIII Междунар. конф. “Фундаментальные проблемы электрохимической энергетики”. Саратов, 2011. С. 117–180.
- 55 Исупов В. П., Владимиров А. Г., Юсупов Т. С., Ляхов Н. З., Чупахина Л. Э. // Тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. “Редкие металлы: минерально-сырьевая база, освоение, производство, потребление”. Москва, 2011. С. 64–65.