УДК 551.24:552.311(5-012)

Тектоно-магматические факторы локализации литий-фтористых гранитов Востока России

В.И.АЛЕКСЕЕВ

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Как цитировать эту статью: Алексеев В.И. Тектоно-магматические факторы локализации литий-фтористых гранитов Востока России // Записки Горного института. 2021. Т. 248. С. 173-179. DOI: 10.31897/PMI.2021.2.1

Аннотация. Исследованы тектоно-магматические факторы локализации литий-фтористых гранитов Востока России. В основу исследования положены представления дальневосточных геологов о глубинных структурах внутриплитной активизации. Использована модель очаговой структуры с мантийными источниками тепла и рудогенерирующими магматическими комплексами. Проведен специальный металлогенический анализ Востока России в приложении к редкометалльно-оловоносной формации субщелочных лейкогранитов, в том числе литий-фтористых гранитов.

Главным фактором тектоно-магматического развития Востока России, локализации рудогенерирующих гранитов и формирования редкометалльно-оловорудных районов являются очаговые структуры. На глубоких ярусах очаговых структур располагаются области разуплотнения мантии и земной коры, источники тепла, магм, флюидов и гранитоидные криптобатолиты. Вблизи современной поверхности сосредоточены относительно крупные массивы лейкогранитов, малые интрузии оловоносных монзонитоидов и литий-фтористых гранитов. Очаговые структуры соответствуют рангу рудного района. Приведены примеры очаговых структур на юге региона: Баджалская, Мяо-Чанская, Иппато-Мерекская, Хогду-Льянчлинская, Арминская и др.; на севере: Певекская, Куйвиев-Пыркакайская, Куэвунь-Экиатапская, Иультинская, Телекайская, Центрально-Полосная, Омсукчанская и др. Выделены три типа рудных районов по степени эрозионного среза очаговых структур и литий-фтористых гранитов.

Намечены закономерности эволюции очаговых структур и место в геологической истории рудоносных гранитов. Предложена классификация очаговых структур и ее сопоставление с классификациями региональных интрузивных и металлогенических подразделений. Установлено, что, несмотря на многообразие тектонических и геолого-петрологических обстановок Востока России, интрузии литий-фтористых гранитов подчиняются единым тектоническим и магматическим факторам. Выделены и классифицированы тектоно-магматические факторы локализации литий-фтористых гранитов Востока России: геофизический, орогенный, геоблоковый, магматический, метасоматический и дизъюнктивный.

Ключевые слова: факторы локализации; литий-фтористые граниты; очаговая структура; ороген; криптобатолит; рудный район; Восток России

Введение. Литий-фтористые граниты (ЛФГ) выделены в 1960-х годах как породы, содержащие редкометалльную (Ta, Nb, Li, Be, Rb, Cs, REE, W, Sn) минерализацию. Специфический минеральный состав ЛФГ и стратегическое значение связанных с ними полезных ископаемых обусловили высокий научный и практический интерес к ним и разработку многочисленных геохимических, петрологических, минералогических и геодинамических классификаций [2, 3, 18].

Земная кора Востока России включает массивы всех известных гранитоидов, в том числе рудоносных ЛФГ [1]. В недрах региона находятся значительные запасы олова, вольфрама, ниобия, индия, висмута и других редких металлов, связанных с ЛФГ. Поэтому весьма актуальным является изучение факторов локализации рудоносных гранитов.

Известно, что в российском секторе Тихоокеанского пояса наблюдаются магмоконтролирующие кольцевые геоструктуры трех гранитоидных провинций – Новосибирско-Чукотской, Яно-Колымской и Сихотэ-Алинской [1]. Установлен геодинамический фактор возникновения и развития редкометалльно-гранитового магматизма – мантийные тепловые потоки в окнах разрыва литосферного слэба. Ареалы ЛФГ и рудные районы региона пространственно приурочены к кольцевым структурам с отрицательными аномалиями силы тяжести [1]. Область распространения магматических образований выходит далеко за пределы границ активной Тихоокеанской континентальной окраины, охватывая внутриконтинентальные мезокайнозойские складчатые сооружения и более древние структуры [15, 17]. Цель статьи – анализ и классификация тектоно-магматических факторов локализации ЛФГ Востока России.

Методология исследований. Анализ факторов локализации ЛФГ продолжает начатое ранее изучение глубинного строения и геодинамических условий гранитоидного магматизма на основе сейсмического, гравиметрического, геотермического моделирования [1]. В основу работы положены представления российских геологов о глубинных структурах внутриплитной активизации – областях разуплотнения вещества литосферы в районах интенсивного магматизма и рудообразования [7, 8, 10, 11]. При изучении факторов локализации гранитоидов в статье использована модель очаговой структуры, разработанная И.Н.Томсоном, М.А.Фаворской и Ю.П.Дежиным для сквозных кольцевых структур с мантийными источниками тепла и рудогенерирующими магматическими комплексами [13]. Классификация очаговых структур (ОС) построена на систематике орогенов Н.П.Митрофанова [14].

Оригинальность предложенного в статье научного метода заключается в применении представлений дальневосточных геологов о глубинных структурах земной коры для новых целей – реконструкции истории гранитоидного магматизма и эволюции состава магматических серий. Принципиально новым научным подходом является анализ на современной геодинамической основе состава интрузивных серий Дальнего Востока, завершающихся рудоносным гранитоидным магматизмом.

Такой подход создает практическую возможность выявлять факторы локализации и рудоносности интрузий и предлагать на этой основе критерии прогнозирования крупнейших редкометалльно-оловянных месторождений Востока России. Поскольку ОС контролируют важнейшие рудные районы региона, нами проведен специальный металлогенический анализ. Использовано понятие «тектонно-магматические факторы локализации», введенное Ю.А.Билибиным при изучении металлогении Северо-Востока и обозначающее тектонические и структурно-геологические условия проявления, а также особенности состава и эволюции рудоносных магматических комплексов определенной формационной принадлежности [4]. Это понятие применено к редкометалльно-оловоносной формации субщелочных литий-фтористых гранитов [2, 3, 5]. В статье кратко обсуждается распространенность ЛФГ в мире, что позволяет считать выявленные тектонно-магматические факторы локализации универсальными, действующими на территории Евразии и, прежде всего, в смежных с Дальним Востоком регионах Забайкалья и Китая.

Очаговые структуры как главный тектонно-магматический фактор локализации литий-фтористых гранитов. Необходимая геологическая характеристика Востока России дана в работах [1, 5]. Особенность гранитоидного магматизма региона заключается в преобладании умеренно-коллизонных условий, возникавших при надсубдукционном столкновении Азиатской плиты и островных дуг и формировании трансформных континентальных окраин. В областях разрывов субдуцируемой Тихоокеанской плиты возникали сквозьлитосферные потоки вещества и тепла, определявшие формирование ОС и завершенных интрузивных серий с ЛФГ. На глубоких горизонтах ОС располагаются гранитоидные криптобатолиты. Вблизи современной поверхности сосредоточены относительно крупные массивы лейкогранитов и малые интрузии оловоносных монцонитоидов и ЛФГ [1, 3, 4, 7-9, 11-13, 15-17, 19, 20].

Очаговая структура – мантийно-коровая структура центрального типа, состоящая из трех ярусов, связанных процессами обмена веществом и энергией [7, 8, 13-17, 19]. Нижний ярус мантийного разуплотнения представляет собой реликт магматического очага в сводовой части мантийного диапира. Средний ярус в нижней и средней коре включает разуплотненный магнопроницаемый канал с магматическими очагами, верхний из которых трансформирован в гранитоидный батолит. Верхний ярус сформирован на фоне сводово-глыбовых дислокаций складчатых толщ, континентального вулканизма и полиэтапного интрузивного магматизма. Этот ярус включает комплексы лейкогранитов, монцонитоидов и ЛФГ с сопутствующими гидротермально-метасоматическими и рудными образованиями (см. рисунок).

Размеры ОС Востока России составляют в поперечнике 100-400 км и с позиций металлогении соответствуют рангу рудного района [8, 13, 14]. Выделены три типа рудных районов:

- интрузии ЛФГ прорывают крупные массивы лейкогранитов (Верхнеурмийский, Хаяргастахский, Арга-Ыннах-Хайский, Омчикандинский, Северный) или локализованы в их экзоконтакте (Лево-Джелакагский, Лево-Эрикитский, Восточно-Иульгинский) и сопровождаются рудоносными цвиттерами и турмалинитами во вмещающих толщах;

- самостоятельные интрузии ЛФГ в осадочных и вулканических толщах (Вознесенский, Пограничный, Тигринный, Забытый, Нютский, Сфинкс, Светлый) с сопутствующими цвиттерами и турмалинитами;

- «слепые» интрузии ЛФГ с экзоконтактовыми рудными грейзенами, турмалинитами и хлоритовыми метасоматитами (Кавалеровский, Дуссе-Алинский, Хингано-Олонойский, Южно-Омсулчанский, Депутатский, Иультинский районы).

Эти типы отличаются степенью эрозионного среза ОС, демонстрируют в целом слабую эродированность комплексов ЛФГ Востока России и уменьшение эрозионного среза от Чукотки и Якутии в направлении Приамурья и Приморья.

Формирование ОС начинается с быстрого подъема из мантии к подошве земной коры магм и флюидов, разуплотняющих и прорывающих астеносферу, формирующих магмопроницаемый канал в земной коре. Базитовый материал накапливается в виде линз в астеносфере на границе Мохо, где зарождаются первичные магматические очаги. Эволюция ОС развивается под действием восходящей базальтовой магмы, которая инициирует плавление гранитоидного и метаморфического вещества, формирование промежуточных среднекоровых гранитоидных очагов, ранний орогенез и внутриплитный средний и основной вулканизм. Возникшие гранитоидные магмы «всплывают» по ранее образованному каналу, дифференцируются и взаимодействуют с базитовыми магмами и мантийными щелочными флюидами. Магматическая эволюция ведет к лейкократизации коры, формированию промежуточных монцонитоидных очагов и внедрению на верхнем ярусе ОС интрузий монцонитоидов и лейкогранитов. Как результат взаимодействия лейкогранитовой магмы и трансмагматических флюидов возникают наиболее поздние редкометалльно-гранитовые расплавы, определяющие образование интрузий ЛФГ, сопутствующих редкометалльно-оловорудных метасоматитов и месторождений. На завершающей стадии развития ОС формируются щелочнобазальтовые вулканы и редкие интрузии щелочных гранитов. Таким образом, ОС являются главным фактором тектоно-магматического развития Востока России, локализации рудогенерирующих ЛФГ и формирования редкометалльно-оловорудных районов.

В соответствии с классификациями [13, 14] за элементарную ОС принята структура, выраженная на поверхности в виде орогенного свода площадью в тысячи квадратных километров и совпадающая с гравитационным минимумом, фиксирующим скрытый на глубине батолит (табл. 1).

Модель глубинной очаговой структуры с литий-фтористыми гранитами Востока России (по источникам [7, 8], с дополнениями автора)

1 – геологические границы; 2, 3 – геофизические границы консолидированной коры (2) и Мохо (3); 4, 5 – слои земной коры: консолидированной (4), чехла (5); 6-7 – слои мантии: нормальной (6) и аномальной (7) плотности; 8 – магмопроницаемый канал; 9-12 – интрузивные тела: гранитоидный криптобатолит (9), массивы лейкогранитов (10), малые интрузии монцонитоидов (11) и литий-фтористых гранитов (12); 13 – месторождения, связанные с лейкогранитами и монцонитоидами (а) и с литий-фтористыми гранитами (б); 14 – ярусы очаговой структуры: I – нижний, II – средний, III – верхний

Таблица 1

Региональные таксономические подразделения Востока России (по [8, 10, 11])

Таксономическое подразделение			Площадь, км ²
Тектоно-магматическое	Интрузивное	Металлогеническое	
Тектоносферная провинция	Гранитоидная провинция	Рудная провинция	$n \cdot 10^5$
Очаговая мегаструктура	Ряд гранитоидных комплексов	Рудная область	$n \cdot 10^4$
Очаговая структура	Гранитоидная серия	Рудный район	$n \cdot 10^3$
Часть очаговой структуры	Гранитоидный комплекс	Рудный узел	$n \cdot 10^2$

Примечание. $n = 1-9$.

Верхний ярус ОС включает серию интрузивных комплексов, зонально размещенных метасоматитов и рудных месторождений (см. рисунок). ОС Востока России располагаются в складчатых поясах (Куйвиеем-Пыркакайская на Чукотке, Центрально-Полоусная в Якутии, Арминская в Приморье), вулканических зонах (Омсукчанская на Колыме, Баджальская в Приамурье) и срединных массивах (Хинганская в Приамурье, Вознесенская в Приморье) и соответствуют одноименным рудным районам [5, 7-9].

Элементарные ОС входят в состав структур более высокого порядка – очаговых мегаструктур, представленных на поверхности округлыми мегаподнятиями площадью в десятки тысяч квадратных километров. Мегаструктуры служат эпицентрами региональных глубинных разуплотнений литосферы на глубине до 220 км и мантийных диапиров, расположены на пересечении региональных разломов, входящих в трансрегиональные разрывные системы. Очаговая мегаструктура контролирует ряд интрузивных комплексов, который включает в центральной части мегасвода крупные комплексы гранитов и лейкогранитов, а по периферии – комплекс ЛФГ. Каждая мегаструктура в металлогеническом отношении отвечает рудной области и охватывает несколько рудных районов. Так, на юге Дальнего Востока известна Баджало-Ямалинская очаговая мегаструктура с Баджальским и Дуссе-Алинским криптобатолитами. В состав мегаструктуры входят Баджальская, Мяо-Чанская, Иппато-Мерекская, Хогду-Льянчлинская ОС и одноименные рудные районы. На севере региона Чаунская очаговая мегаструктура «опирается» на Чаунский и Куэкувунь-Иультинский криптобатолиты и включает Певекскую, Куйвиеем-Пыркакайскую, Куэкувунь-Экиатапскую, Иультинскую, Телекайскую ОС и соответствующие рудные районы. Всего на Востоке России расположено 11 очаговых мегаструктур, соответствующих ранее выделенным магмоконтролирующим кольцевым геоструктурам [1].

Высшим иерархическим уровнем глубинных структур Востока России являются группировки очаговых мегаструктур, охватывающие региональные фрагменты литосферы – тектоносферные провинции. Им соответствуют гранитоидные и рудные провинции: Новосибирско-Чукотская, Яно-Колымская и Сихотэ-Алинская [1, 14, 15].

Тектоно-магматические факторы локализации литий-фтористых гранитов. Несмотря на многообразие тектонических и геолого-петрологических обстановок на Востоке России, интрузии ЛФГ подчиняются единым тектоно-магматическим факторам локализации.

Геофизический фактор локализации. Важным фактором размещения ЛФГ является трансрегиональная Индокитай-Чукотская гравитационная ступень – субмеридиональная зона перехода от континентальной коры к маломощной коре переходного типа. Изгиб подошвы земной коры шириной до 150 км и протяженностью в тысячи километров фиксирует зону тектонического напряжения литосферы, выраженную в системе глубинных разломов, а также зону вещественного перерождения коры в процессе азиатско-тихоокеанского плейт-тектонизма. На севере региона Индокитай-Чукотская ступень маркируется Охотско-Чукотским вулканоплутоническим поясом, а на юге, где эта ступень чаще называется Пограничной, – Хингано-Охотским вулканическим поясом [8, 16]. ОС Востока России и ареалы интрузий ЛФГ располагаются в зоне Индокитай-Чукотской ступени от Новосибирско-Чукотской до Сихотэ-Алинской гранитоидных провинций [1].

Орогенный фактор локализации. ЛФГ размещены в гетерогенных тектонических структурах, подвергшихся тектоно-магматической активизации. Преобладают позднеюрско-раннемеловые складчатые комплексы, возникшие на пассивных и активных континентальных окраинах. Эволюция ОС сопровождается внедрением интрузий в кольцевые складчато-глыбовые морфоструктуры – орогены [13, 14, 19, 20]. Орогенные сооружения выражены на поверхности в виде изометрических и овальных сводов размерами в десятки километров. Внутри орогенов размещение ЛФГ контролируется разрывными нарушениями и изгибами складчатых структур.

Геоблоковый фактор локализации. Ареалы ЛФГ на Востоке России размещаются по границам срединных массивов – Куульского, Омолонского, Колымского, Охотского, Буреинского, Ханкайского и др. (табл.2). Геоблоки древней стабилизации участвуют в мезозойской коллизии на границе с Сибирским и Северо-Китайским кратами, стимулируя развитие ОС, орогенез и гранитоидный магматизм. При этом протерозойский фундамент, перекрытый каледонидами и герцинидами, испытывает тектоно-магматическую активизацию. Палеозойский платформенный

чехол в обрамлении срединных массивов локально преобразован в орогенные сооружения с гранитоидными плутонами и малыми интрузиями ЛФГ: Полоусненское, Тас-Хаяхтасское на Северо-Востоке, Баджалское в Приамурье, Спасско-Вознесенское в Приморье и др. [6, 17]. В результате глубокой активизации древних геоблоков образованы такие рудные районы с ЛФГ как Чаунский на Чукотке, Центрально-Полоусный в Якутии, Баджалский в Приамурье, Ханкайский в Приморье и др.

Таблица 2

Тектоно-магматические факторы локализации литий-фтористых гранитов Востока России

Шток ЛФГ*	Гранитоидный массив	Очаговая структура**	Криптобатолит	Срединный массив
[Иультинский]	Иультинский	Иультинская (I)	Куэкувунский	Куульский
Кулювеемский	Северный	Пыркакайская (I)	Чаунский	Киберовский
Кайнваамский	Ичувеемский пояс	Пыркакайская (I)	Чаунский	Киберовский
Одинокий	Омчикандинский	Центрально-Полоусная (II)	–	Омолонский
Полярный	Омчикандинский	Центрально-Полоусная (II)	–	Омолонский
[Депутатский]	Депутатский	Депутатская (II)	Депутатский	Омолонский
Кестерский	Арга-Ыннах-Хайский	Центрально-Янская (III)	–	Омолонский
Джелакагский-2	Джелакагский	Южно-Янская (III)	–	Омолонский
Волшебник	Лево-Эрикитский	Чибагалах-Эрикитская (IV)	–	Омолонский
[Невский-2]	Невский	Южно-Омсулчанская (V)	–	Омолонский
Оротуканский	Верхне-Оротуканский	Оротуканская (V)	–	Колымский
[Бутугычагский]	Западно-Бутугычагский	Аян-Юряхская (V)	–	Колымский
Нютские штоки	Левонилгысыгский	Нилгысыгская (VI)	–	Охотский
Кютепский	Кютепский	Кутская (VII)	–	Охотский
Дождливый	Верхнеурмийский	Баджалская (VIII)	Урмийский	Буреинский
Дайки онгонитов	Орокотский пояс	Баджалская (VIII)	Урмийский	Буреинский
Обманийский	–	Хинганская (IX)	Хинганский	Буреинский
Тигринный	Излучинский	Бикино-Малиновская (X)	Бикинский	Ханкайский
Забытый	Приисковый	Бикино-Малиновская (X)	Бикинский	Ханкайский
Вознесенский	Вознесенский	Ханкайская (XI)	Вознесенский	Ханкайский
Пограничный	Вознесенский	Ханкайская (XI)	Вознесенский	Ханкайский

Примечания. * В скобках – слепые штоки ЛФГ. ** В скобках номера очаговых мегаструктур по статье [1]. Прочерк – нет данных.

Магматический фактор локализации. Интрузии ЛФГ и связанные с ними редкометалльно-оловянные месторождения Востока России располагаются в салических блоках, тяготея к скрытым на глубине или частично эродированным плутонам лейкогранитов, определяющим контуры рудных районов [2]. В потоке мантийного тепла и вещества при развитии ОС, крупные блоки земной коры размерами в сотни километров лейкократазируются, превращаясь в гранитоиды. В основании ОС формируются криптобатолиты, частично вскрытые эрозией на дневной поверхности: Чаунский, Куэкувунский, Депутатский, Баджалский, Бикинский и др. [1]. Подошва батолитов располагается на глубинах 4-16 км [8, 15].

Над гранитоидными криптобатолитами, иногда в их апикальных выступах, располагаются ЛФГ (табл.2). В Баджалской, Центрально-Янской, Пыркакайской, Бикино-Малиновской ОС локализованы правоурмийский, кестерский, пыркакайский, тигринский и другие комплексы ЛФГ и крупные редкометалльно-оловянные месторождения (Правоурмийское, Кестерское, Пыркакайское, Тигриное и др.). Только одна Буреино-Баджалская очаговая мегаструктура включает такие крупные рудные районы Востока России как Баджалский, Комсомольский, Эзопский, Дуссе-Алинский и Ям-Алинский.

Метасоматический фактор локализации. Формированию комплексов ЛФГ всегда предшествуют комплексы дорудных метасоматитов. В процессе генерации редкометалльно-гранитовой магмы в очаговой структуре под воздействием мантийных флюидов возникают дорудные пропилиты биотитовой, актинолитовой и эпидотовой фаций [3, 6]. Пропилиты слагают зональные

купола, в ядре которых сосредоточены биотититы – преимущественно слабопроявленные биотитовые метасоматиты повышенной щелочности. Соответственно, возникающие позднее интрузии ЛФГ локализуются в полях биотититов, создающих специфический геохимический фон для последующих гидротермальных процессов. Внедрение ЛФГ сопровождается образованием полистадийных метасоматических комплексов, включающих рудоносные цвиттеры, турмалиниты и хлоритовые метасоматиты. Цвиттер-турмалинитовые комплексы характеризуются едиными условиями локализации, зональным размещением относительно ЛФГ, общностью кислотно-основной эволюции, рудной и геохимической специализации [1].

Дизъюнктивный фактор локализации. Важным фактором заложения ОС и локализации ЛФГ являются глубинные дизъюнктивные нарушения, которые соединяют магматические очаги и возникают в процессе транспортировки магм [9, 14]. Региональный контроль магматизма осуществляется трансрегиональными системами разломов в зоне Индокитай-Чукотской ступени и вдоль границ срединных массивов – Итун-Илань-Курской, Арсеньевско-Тастахской, Таньлу и др. На протяжении всего мезозоя имели магмоконтролирующее значение продольные глубинные разломы: Куветский и Чаунский на Чукотке, Адыча-Тарынский и Иньяли-Дебинский в Якутии, Курский и Хинганский в Приамурье, Арсеньевский и Центральный в Приморье и др. [16]. Глыбовые деформации и внедрение интрузий в верхних ярусах ОС Востока России сопровождалось заложением поперечных, радиальных и кольцевых разрывных структур: Ичувеевской и Телекай-Иультинской на Чукотке, Балыгычан-Сугойской и Чохчуро-Чекурдахской в Якутии, Тигриной и Орокотской на Дальнем Востоке и др. Локальные разрывные структуры определяли размещение малых интрузий ЛФГ в краевых или экзоконтактовых зонах лейкогранитовых плутонов.

Сопоставление с другими регионами. Литий-фтористые граниты описаны В.И.Коваленко в 1969-1971 гг. при изучении малых интрузивов микроклин-альбитовых гранитов на вольфрамово-оловорудных месторождениях Монголии. Затем ЛФГ были обнаружены в Казахстане, Западной Европе и на смежных с Дальним Востоком территориях Забайкалья и Китая [2]. В настоящее время установлено принципиальное сходство тектоно-магматических условий формирования и локализации ЛФГ Востока России [1, 6, 9], Забайкалья [2, 3] и Китая [18, 20]. Важным практическим аспектом установленного сходства ЛФГ Востока России и смежных регионов является возможность создания эффективного комплекса прогнозно-оценочных признаков вольфрамово-оловянной и редкометалльной рудоносности. Таким образом, сходство тектоно-магматических факторов локализации ЛФГ открывает новые возможности поисков крупных и уникальных месторождений W, Sn, Nb, Ta, Li, Be, Rb, Cs, REE [3, 12, 17, 18].

Заключение. На территории Востока России размещаются многочисленные глубинные очаговые структуры с мантийными корнями – главный фактор локализации литий-фтористых гранитов. Глубинные структуры выражены на современной поверхности в виде орогенных сооружений и вулcano-плутонических ареалов. Очаговые структуры наложены на разновозрастные тектонические сооружения с различным типом земной коры и являются генератором завершенных интрузивных серий. К тектоно-магматическим факторам локализации литий-фтористых гранитов относятся: геофизический, орогенный, геоблоковый, магматический, метасоматический и дизъюнктивный факторы. Предложенный метод исследования может быть использован при региональном прогнозировании месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.И. Глубинное строение и геодинамические условия гранитоидного магматизма Востока России // Записки Горного института. 2020. Т. 243. С. 259-265. DOI: 10.31897/PMI.2020.3.259
2. Бескин С.М. Металлогеническое районирование областей гранитоидного плутонизма (дедуктивный подход). М.: Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, 2007. 108 с.
3. Бескин С.М. Геодинамические типы редкометалльного гранитового магматизма и ассоциирующие с ними месторождения / С.М.Бескин, Ю.Б.Марин // Записки Горного института. 2013. Т. 200. С. 155-162.
4. Билибин Ю.А. Металлогенические провинции и металлогенические эпохи. М.: Госгеолтехиздат, 1955. 88 с.
5. Бродская Р.Л. Онтогенический анализ на микро- и наноуровне минеральных индивидов и агрегатов для реставрации условий рудообразования и оценки технологических свойств минерального сырья / Р.Л.Бродская, Ю.Б.Марин // Записки Горного института. 2016. Т. 219. С. 369-376. DOI: 10.18454/PMI.2016.3.369
6. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006.

7. Глубинная структура рудных районов очагового типа: Центральноазиатский сегмент Тихоокеанского рудного пояса / Под ред. Л.И.Брянского, Ю.И.Бакулина. М.: Наука, 1992. 155 с.
8. Глубинное строение и металлогения Восточной Азии / Под ред. А.Н.Диденко, Ю.Ф.Малышева, Б.Г.Саксина. Владивосток: Дальнаука, 2010. 332 с.
9. Гоневчук В.Г. Оловоносные магматические системы Дальнего Востока: магматизм и рудогенез. Владивосток: Дальнаука, 2002. 295 с.
10. Евдокимов А.Н. Геохимические особенности и перспективы рудоносности черносланцевых образований Таймыро-Североземельской золотоносной провинции / А.Н.Евдокимов, В.И.Фокин, Н.К.Шануренко // Записки Горного института. 2016. Т. 217. С. 13-23.
11. Егоров А.С. Научно-методические приемы повышения геологической и прогнозно-поисковой эффективности государственного геологического картирования российского арктического шельфа / А.С.Егоров, И.Ю.Винокуров, А.Н.Телегин // Записки Горного института. 2018. Т. 233. С. 447-458. DOI: 10.31897/PMI.2018.5.447
12. Марин Ю.Б. О минералогических исследованиях и использовании минералогической информации при решении проблем петро- и рудогенеза // Записки Российского минералогического общества. 2020. Т. 149. № 4. С. 1-15. DOI: 10.31857/S0869605520040048
13. Металлогения орогенов / И.Н.Томсон, В.С.Кравцов, Н.Т.Кочнева и др. М.: Недра, 1992. 270 с.
14. Митрофанов Н.П. Геодинамические условия формирования месторождений олова в Северо-Западном секторе Тихоокеанского рудного пояса. М.: РИС ВИМС, 2013. 224 с.
15. Романовский Н.П. Тихоокеанский сегмент Земли: глубинное строение, гранитоидные рудно-магматические системы. Хабаровск: Дальневосточное отделение Российской академии наук, 1999. 167 с.
16. Тектоника, глубинное строение и минерагения Приамурья и сопредельных территорий / Под ред. Г.А.Шаткова, А.С.Вольского. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. 188 с.
17. Ханчук А.И. Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 5-34.
18. Highly fractionated granites: Recognition and research / F.Y.Wu, X.C.Liu, W.Q.Ji, J.M.Wang, L.Yang // Science China Earth Sciences. 2017. Vol. 60. № 7. P. 1201-1219. DOI: 10.1007/s11430-016-5139-1
19. Lin W. Late Mesozoic extensional tectonics in the North China block: a crustal response to subcontinental mantle removal? / W.Lin, Q.Wang // Bulletin de la Société géologique de France. 2006. Vol. 177. № 6. P. 287-297. DOI: 10.2113/gssgfbull.177.6.287
20. Pirajno F. The Geology and Tectonic Settings of China's Mineral Deposits. Springer, 2013. 679 p. DOI: 10.1007/978-94-007-4444-8

Автор В.И.Алексеев, д-р геол.-минерал. наук, профессор, Alekseev_VI@pers.spmi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-15-12-9347>
(Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия).

Статья поступила в редакцию 03.08.2020.

Статья принята к публикации 29.03.2021.