



УДК 551.24:552.311(5-012)

Глубинное строение и геодинамические условия гранитоидного магматизма Востока России

В.И.АЛЕКСЕЕВ*Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия*

Исследованы закономерности глубинного строения литосферы и геодинамические условия гранитоидного магматизма Востока России в границах Дальневосточного федерального округа. Актуальность работы определяется необходимостью установления геотектонических и геодинамических условий петрогенезиса гранитоидов и рудогенеза в российском секторе Тихоокеанского рудного пояса. Цель статьи – изучение элементов глубинного строения литосферы и определение геодинамических условий гранитоидного магматизма Востока России. Используются авторские данные о магматизме рудных районов, корреляции гранитоидов региона, фондовые и опубликованные материалы Госгеолкарты, обзорного картирования, глубинного сейсмического зондирования земной коры, гравиметрических, геотермических съемок и другие материалы геофизических исследований вдоль геотраверсов. Выделены магмоконтролирующие кольцевые геоструктуры региона и изучено их глубинное строение. Прослежена связь плюмового магматизма с глубинными структурами. Цепочка кольцевых геоструктур Востока России контролирует трансрегиональную зону лейкокрастизации земной коры шириной более 1000 км, которая включает Дальневосточный пояс литий-фтористых гранитов. Магмоконтролирующие кольцевые геоструктуры сконцентрированы в трех гранитоидных провинциях: Новосибирско-Чукотской, Яно-Колымской и Сихотэ-Алинской. Движущей силой геодинамических процессов и гранитоидного магматизма являлись мантийные тепловые потоки в окнах разрыва литосферного слэба. Распределение астеносферных окон по простиранию Тихоокеанского подвижного пояса определяет размещение кольцевых геоструктур и масштабы гранитоидного магматизма в провинциях региона. Мантийные диапиры служат ядрами гранитоидных рудно-магматических систем. Размещение наиболее важных рудных районов Востока России в кольцевых геоструктурах с ареалами отрицательных аномалий силы тяжести – важнейшая региональная металлогеническая закономерность, отражающая связь рудоносности с глубинным строением земной коры.

Ключевые слова: магмоконтролирующие кольцевые геоструктуры; литосфера; мантийный диапир; Мохо; гравитационная аномалия; гранитоидный магматизм; Восток России

Как цитировать эту статью: 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

Введение. В 1946 г. академик С.С.Смирнов выделил Тихоокеанский рудный пояс – один из главных источников минеральных ресурсов мира. Металлогения российского сектора Тихоокеанского пояса определяется интенсивным гранитоидным магматизмом на границе континентальных и океанических литосферных плит [4, 11, 15, 19, 21]. Ранее автором была рассмотрена история тектонического развития и магматизма Востока России*, включающая формирование Дальневосточного пояса литий-фтористых гранитов [1, 2]. Для совершенствования концепции тектономагматической эволюции региона необходимо исследовать строение его земной коры, механизмы образования и эволюции гранитоидов и рудных месторождений. Цель статьи – изучение элементов глубинного строения литосферы и определение геодинамических условий гранитоидного магматизма Востока России.

Геологическая характеристика Востока России. Континентальная окраина Северо-Восточной Азии характеризуется многообразием тектонических и петрологических обстановок, но уже более полувека выделяется как единая глобальная структура, изобилующая проявлениями гранитоидного магматизма и рудными месторождениями (Е.С.Andrews, 1925; Э.Ог, 1932; П.Н.Кропоткин, 1965). Восток России представляет собой гигантский фрагмент Тихоокеанского пояса – закономерную совокупность геоструктур и магматических комплексов, заложенных на гетерогенном кристаллическом фундаменте. Установлена полицикличность тектономагматического развития и рудообразования региона с раннего протерозоя до конца мезозоя. Зафиксировано уменьшение возраста магматических образований и повышение основности гранитоид-

* Восток России – восточная часть России, которая охватывает бассейны рек, впадающих в Тихий океан, и моря Восточной Арктики, и соответствует Дальневосточному федеральному округу.



дов при переходе от континента к океану [1, 2, 4, 19, 21, 22, 24, 25]. Мезозойская эндогенная активность на Востоке России породила множество месторождений олова, вольфрама, золота и других полезных ископаемых. В недрах Дальнего Востока разведано (млн т): Mn 15,1, Sn 2,1, W 0,4, Pb 1,8, Zn 2,5, Cu 0,8, флюорита 16,7, Ti 10,3, В 3,5; (тыс.т): Ag 38, Au 2, Hg 31, Sb 254; Pt 47 т.

Важную роль в тектогенезе, петрогенезе и рудогенезе Востока России сыграл гранитоидный магматизм. Юрско-меловые граниты занимают 75 % площади гранитоидных плутонов территории [17]. Выделены четыре этапа мезозойской истории магматизма: юрско-раннемеловой – образование батолитов высокоглиноземистых гранитов; раннемеловой – образование комплексов известково-щелочных гранитов, гранодиоритов; позднемеловой – образование комплексов субщелочных лейкогранитов и литий-фтористых гранитов; позднемеловой-палеогеновый – образование щелочных гранитов [1].

Методика исследований. Проявления тихоокеанского гранитоидного магматизма и рудогенеза отражают глубинные преобразования вещества земной коры при взаимодействии Евроазиатской, Тихоокеанской и Гиперборейской литосферных плит. Ключом к пониманию тектономагматической истории региона является изучение глубинного строения литосферы и геодинамических условий ее развития. Для этого использованы методы геологического картирования и региональной корреляции гранитоидов, формационный анализ, результаты интерпретации глубинного сейсмического зондирования земной коры, гравиметрических, геотермических съемок и других геофизических материалов вдоль геотраверсов Востока России. Используются авторские материалы о гранитоидах рудных районов. Данные о составе, строении и геодинамике литосферы Востока России получены из материалов Госгеолкарты [1] и обзорного геокартирования [18], монографий и диссертаций Н.Л.Добрецова [7], Ю.Ф.Малышева [6], Ю.А.Павлова [12], Л.М.Парфенова [11], А.М.Петрищевского [13], В.Г.Сахно [16], А.С.Егорова [8], коллективных монографий дальневосточных геологов [3, 19, 21], сотрудников ИТИГ [4, 5], ВСЕГЕИ [17]. Важная информация о тектоносфере региона получена из зарубежных работ [22-25]. Используются геодинамические модели Ю.Я.Ващилова [14], А.И.Ханчука [21], В.Е.Хаина [20], А.С.Егорова [9], дополненные концепцией рудно-магматических систем Н.П.Романовского [15].

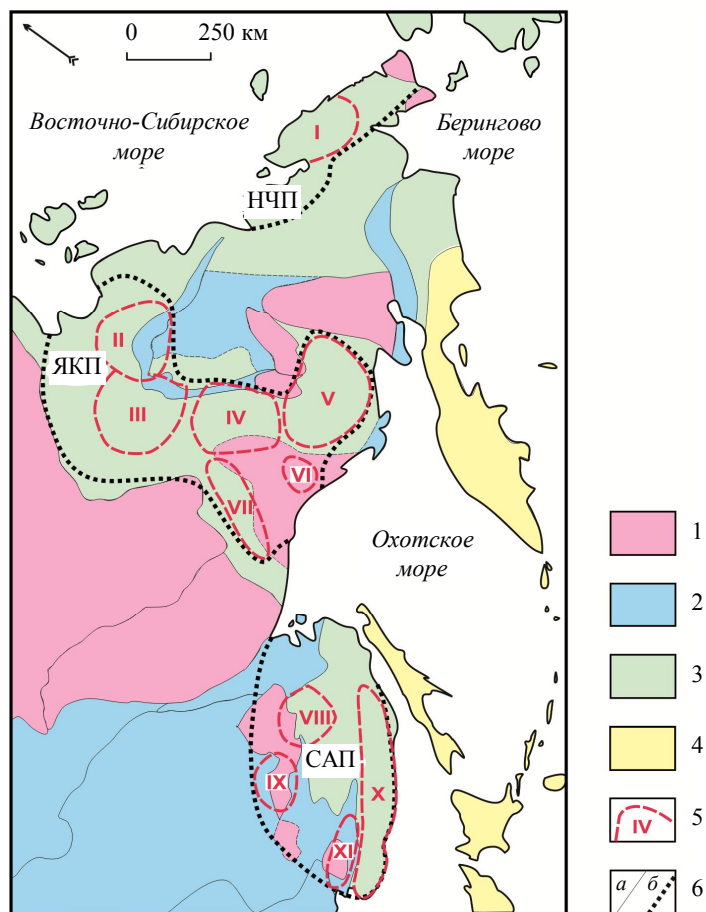
Магмоконтролирующие кольцевые геоструктуры Востока России. Грандиозный позднемезозойский магматизм Востока России, распространившийся глубоко внутрь дальневосточной континентальной окраины, связан с активизацией мантии и подъемом магм в верхние горизонты земной коры. Эти события сопряжены с распадом Пангеи и горизонтальным перемещением литосферных плит. Растяжение коры сопровождалось формированием вулканических поясов, а в орогенах происходило массовое внедрение гранитоидных интрузий [1, 16, 24]. Тихоокеанский магматизм сменил пермско-триасовый магматизм Центральной Азии, проявившийся на окраинах Эмейшаньской и Сибирской трапповых провинций [7, 23]. По современным данным, плутонические и вулканические пояса Востока России сходны по составу и строению с проявлениями Центрально-Азиатского плюмового магматизма [7, 16]. Это позволило разработать модель тихоокеанского магматизма с участием малоглубинных плюмов (мантийных диапиров) в участках отрыва субдуцированной литосферы – так называемых слэб-виндоу [8, 20-22]. Отличие заключается в том, что в Азиатском складчатом поясе развиты коллизионные магматические и метаморфические образования, а в Тихоокеанском поясе преобладают эпиокеанические осадочные толщи с субдукционными, коллизионными и рифтогенными магматическими комплексами.

Сравнение ареалов гранитоидного магматизма в Азиатском и Американском сегментах Тихоокеанского пояса показывает, что в отличие от линейных ареалов Канады, США, Перу, на Востоке России наблюдается цепочка магмоконтролирующих кольцевых геоструктур (МКГС), сконцентрированных в трех гранитоидных провинциях: Новосибирско-Чукотской (НЧП), Яно-Колымской (ЯКП) и Сихотэ-Алинской (САП) (см. рисунок). Массивы гранитоидов тяготеют к краевым зонам геоструктур, обрамляя их амагматичные ядра [2, 10, 15]. Анализ глубинного строения МКГС позволяет сделать вывод об их приуроченности к участкам земной коры повышенной мощности, сложенной дислоцированными осадочными комплексами, где наблюдается избыточный тепловой поток [4, 19, 23].

Изучение гравиметрических и сейсмических данных вдоль геотравверсов показало колебание мощности литосферных горизонтов Востока России [4-6, 15, 17]. В складчатых областях мощность земной коры составляет 25-40 км, в орогенах и кристаллических массивах – 35-45 км, в прогибах и на шельфе окраинных морей – 20-32 км. Мощность сиала уменьшается от тыловой зоны Тихоокеанского пояса (25-30 км) к океану и в районах кайнозойских прогибов (10-12 км). Наибольшая мощность гранитно-метаморфического слоя зафиксирована в докембрийско-палеозойских геоструктурах – Колымо-Омолонском и Буреинском массивах, Монголо-Охотском поясе, на Алданском щите. Отмечается утолщение сиала (до 35 км) и коры в целом (до 45 км) в Баджало-Ямалинском ареале гранитизации [4-6, 17, 22, 24]. Геоэлектрические и геотермические модели фиксируют мощность литосферы 75-100 на Чукотке и в Якутии и 50-100 км в Приморье и Приамурье. Выявлен Мая-Селемджинский астеносферный мегаупол [5, 6], в пределах которого выделено Буреино-Баджальское поднятие с мощностью литосферы 50 км (рисунок).

Плотность теплового потока в мезозойских дислоцированных толщах Востока России составляет 45-70 мВт/м², а в докембрийских массивах 20-50 мВт/м². Приток тепла из мантии ослабевает, так как в тепловом потоке доминирует (40-60 %) радиогенная компонента. Более интенсивен тепловой поток (70-90 мВт/м²) в кайнозойских впадинах региона (Средне-Амурская, Олджойская, Суньяло), в рифтах (Момско-Лаптевский) и вулканогенных зонах (Умлекано-Огоджинская, Большехинганская). Максимальная тепловая плотность 100-120 мВт/м² зафиксирована в Охотско-Чукотском и Восточно-Сихотэ-Алинском вулканических поясах. «Горячие» области пронизаны глубинными дизъюнктивами, например, через восточный борт Суньяло проходит трансрегиональный разлом Таньлу [5, 16].

Литосфера Востока России осложнена Индокитай-Чукотской аномалией силы тяжести в форме ступени северо-северо-восточного простирания. Величина аномалии составляет 50-100 мГал, латеральный градиент 1-2 мГал/км. На поверхности аномалия маркируется субмеридиональными сутурами, заложенными при взаимодействии Тихоокеанской и Азиатской континентальных плит [2]. В плане Индокитай-Чукотская аномалия протягивается на тысячи километров и занимает по широте до 150 км, а ее корни прослеживаются в верхней мантии [5, 17]. Многочисленные МКГС как бы «нанизаны» на дугообразную ось гравитационной аномалии. На севере региона аномалия сопряжена с Охотско-Чукотским вулканоплутоническим поясом. На юге в Приамурье Ю.Ф.Мальшевым [6] выделен Хингано-Охотский элемент этой аномалии на глубинах 34-42 км. Она огибает Буреинский массив с востока и включает гравитационные минимумы Буреино-Баджальской и Бира-Хинганской МКГС (рисунок).



Магмоконтролирующие кольцевые геоструктуры Востока России

1 – докембрийско-палеозойские кратоны, щиты и срединные массивы; 2 – структуры домеловой консолидации; 3 – верховьяныды; 4 – гималаиды (по [18]); 5 – границы кольцевых геоструктур и их номера: I – Чаунская, II – Полоусная, III – Верхне-Янская, IV – Верхне-Индиговская, V – Верхне-Колымская, VI – Охотская, VII – Южно-Верхоянская, VIII – Буреино-Баджальская, IX – Бира-Хинганская, X – Приморская, XI – Ханкайская [10]; 6 – границы тектонических областей (а) и гранитоидных провинций (б)



Индокитай-Чукотская аномалия делит Восток России на Континентальный и Переходный районы. Континентальный район характеризуется отрицательными гравитационными аномалиями на фоне повышенной (40–42 км) мощности земной коры. Наиболее контрастные аномалии приурочены к Охотскому и Ханкайскому щитам и к в Верхоянскому поясу, где соответствуют Полоусной, Верхне-Янской, Верхне-Индибирской, Охотской и Южно-Верхоянской, а также Верхне-Колымской и Ханкайской МКГС. В Переходном районе наблюдается положительное поле силы тяжести, включающее Приморскую и Чаунскую МКГС. Область Приморской аномалии характеризуется сложным рельефом Мохо и пониженной мощностью коры 28–36 км [15, 24]. В южной части региона Мохо углубляется в направлении Северо-Китайской платформы до 38–40 км. На смежной территории Китая гравитационная аномалия известна как Дахинган-Тайханская ступень [23, 25]. Как и на Востоке России, она разделяет литосферу на западную и восточную области различной мощности [2, 17, 22].

Кольцевые геоструктуры Востока России – эпицентры магматических диапиров. Движущей силой геодинамических процессов и гранитоидного магматизма являлись мантийные тепловые потоки в окнах разрыва литосферного слэба [8, 20–22]. Распределение астеносферных окон по простиранию Тихоокеанского подвижного пояса определяет размещение МКГС и масштабы гранитоидного магматизма в провинциях Востока России: Сихотэ-Алинской, Яно-Колымской и Новосибирско-Чукотской [1, 4, 6, 10, 17, 22, 23]. Глубинное строение МКГС установлено с использованием материалов Госгеолкарты и комплекса геолого-геофизических данных вдоль геотраверсов. Установлено, что Охотско-Чукотский, Умлекано-Огоджинский, Большехинганский и Восточно-Сихотэ-Алинский магматические пояса отличаются дифференцированным рельефом кровли мантии [4, 5, 17]. Наиболее важным фактом является то, что МКГС являются эпицентрами гравитационных минимумов, цепочка которых маркирует трансрегиональную зону лейкократизации земной коры шириной более 1000 км. В состав этой зоны входит Дальневосточный пояс литий-фтористых гранитов [1].

В связи с мантийным диапиризмом региональное поле силы тяжести 0–80 мГал осложнено локальными отрицательными аномалиями – 80–160 мГал, которым соответствуют глубинные области дефицита плотности и гранитизации вещества. Геолого-геофизическая интерпретация этого явления содержится в трудах А.И.Ханчука, Э.Н.Лишневского, Ю.Ф.Малышева, Ю.А.Павлова, Л.И.Брянского, Н.П.Романовского, А.С.Егорова, Ю.Я.Ващилова, В.А.Бормотова, А.Н.Диденко, К.Ли, F.Pirajno, W.Lin и других [4–6, 8, 9, 12–15, 23, 25]. На геотраверсах выявлены многочисленные выступы астеносферы [4–6]. Геофизическое моделирование орогенных поясов Востока России демонстрирует признаки мезокайнозойской гранитизации литосферы.

Одной из крупнейших областей гранитизации Востока России является Мая-Селемджинская мантийно-коровая структура площадью около 580000 км², которая охватывает окраины Сибирской платформы, Цзямусы-Буреинского массива и прилегающих складчатых поясов [5]. Эта литосферная мегаструктура включает Буреино-Баджальскую, Бира-Хинганскую и Приморскую МКГС. Колебания мощности литосферы составляют от 80–90 км до 150–170 км на смежной платформе, мощности земной коры – от 35–40 до 42–46 км. Наблюдаются колебания и других параметров МКГС: температура на поверхности Мохо от 600–900 до 300–400 °С; скорость продольных сейсмических волн в подошве литосферы от 8,05–8,12 до 8,20–8,25 км/с [6, 11]. Мая-Селемджинская группа МКГС окаймляется цепочкой отрицательных гравитационных аномалий размерами от 100–250 км, которые фиксируют размещение мантийных диапиров Приамурья (рисунков). МКГС Востока России характеризуются повышением температуры на поверхности Мохо (в среднем 700 °С), понижением скорости в подошве литосферы (8,16 км/с), плотности вещества (до 2,62 г/см³), сокращением мощности литосферы (90 км) и земной коры (табл.1). Ответственными за образование МКГС являются восходящие плюмы [7].

Нижне-Амурская и Центрально-Алданская МКГС соответствуют золоторудным районам и характеризуются понижением температуры Мохо (в среднем 350 °С), повышением скорости (8,24 км/с), утолщением литосферы (140 км) [6]. Они образованы под влиянием нисходящих плюмов [7]. Наиболее контрастной является Буреино-Баджальская МКГС, разделенная на Дуссеалинь-Ямалинскую и Комсомольско-Баджальскую структуры. Амплитуда минимума силы тяжести составляет –30–60 мГал [4–6, 12, 13, 15]. Приморская и Бира-Хинганская МКГС отличаются умеренными амплитудами аномалий (табл.1). Приморская МКГС разделена на более мелкие



структуры, вмещающие гранитоидные плутоны [15]. Тепловой поток Сихотэ-Алиня имеет плотность 55 мВт/м² [6], что сближает МКГС с кайнозойскими рифтами. Преобладание радиогенного тепла (0,57) над мантийным свидетельствует об ослаблении мантийного разогрева.

Таблица 1

Геофизическая характеристика магмоконтролирующих кольцевых геоструктур Востока России (по [5, 6, 14, 17])

Кольцевая геоструктура	Мощность, км		ρ , г/см ³		V_p , км/с	Мохо, °С	q , мВт/м ²	Δg , мГл
	З	Л	З	М				
Дуссеалинь-Ямалинская	38-40	< 100	–	3,20-3,30	8,0-8,05	800-900	–	–60
Комсомольско-Баджальская	34-38	60-90	2,62	3,25	8,12	500-800	55-90	–30
Бира-Хинганская	34-36	110-150	2,67	3,30-3,35	8,17	300-400	74	–40
Приморская	34-38	90-100	–	3,25	–	500-600	55	–25
Нижне-Амурская	32-34	100-120	2,90	3,20-3,30	8,35	300-400	51	+20
Центрально-Алданская	44-45	150-160	2,70	3,18	8,23	300-400	38-42	–5

Примечание. ρ – плотность слоя; З – земная кора, Л – литосфера, М – мантия; V_p – скорость продольных волн в литосфере; Мохо – температура на поверхности Мохо; q – плотность теплового потока; Δg – величина гравитационного минимума.

Обсуждение результатов. Мантийные диапиры и их эпицентры в виде МКГС являются неотъемлемым компонентом тектоносферы Востока России. Их изучение требует использования геофизических данных о строении литосферы [9, 13, 20-22]. На примере Яно-Колымской гранитоидной провинции установлена деламинация литосферы в позднем мезозое, вызванная ее парциальным плавлением под воздействием мантийно-ядерных тепловых потоков. Разработана полиастеносферная модель глубинного строения Северо-Востока России с уменьшением мощности литосферы от 170 в Эльгинском районе до 50-70 км на побережье Охотского и Берингова морей. Деформация и разогрев литосферы обусловили ее тектоническую расслоенность [8], масштабное гранитообразование [14, 21]. Гипотеза полиастеносферы подтверждена прямыми наблюдениями: установлено пятислойное строение литосферы [13].

Вертикальное расслоение литосферы сочетается с латеральными градиентами мощности и плотности, наиболее важными из которых являются куполообразные структуры на границе астеносферы и литосферы – мантийные диапиры. Плотность земной коры над диапирами понижена вследствие гранитизации корового вещества под влиянием глубинных тепловых и флюидных потоков. На дневной поверхности диапиры отражаются в виде МКГС. Например, образование Буреино-Баджальской, Бира-Хинганской и Приморской МКГС (см. рисунок) связано с взаимодействием Сихотэ-Алинского, Центрально-Азиатского и Алдано-Станового геоблоков и подъемом перегретого вещества к поверхности. Не исключается связь приамурских плюмов с Тихоокеанским суперплюмом [6, 7].

Причиной мантийного диапиризма является формирование астеносферных окон при отрыве литосферного слэба [8, 20-22]. Под воздействием проникающих в верхние горизонты земной коры базитовых расплавов и флюидопотоков возникают очаги гранитоидной магмы. Крупные геоблоки поперечником в сотни километров и мощностью до 10-20 км лейкократазируются, приближаются по составу к гранитоидам. Гранитоидные криптобатолиты (Чаунский, Баджальский, Бикино-Малиновский и др.) размещаются в таких салических блоках, отвечающих двум главным условиям рудогенеза:

- происходит существенное накопление воды, фтора и других летучих компонентов, способных концентрировать и перемещать рудное вещество;
- резко сокращается консервация рудных компонентов изоморфноемкими фемическими минералами.

Вследствие неразрывной генетической связи гранитизации земной коры и мантийных диапиров контуры МКГС определяют границы рудоносных лейкогранитовых комплексов и рудных районов [10]. При дифференциации лейкократовых гранитов могут возникать рудоносные граниты литий-фтористого типа [1]. Литий-фтористые граниты и крупнейшие редкометалльно-вольфрамово-оловянные месторождения региона контролируются МКГС (табл.2).



Таблица 2

**Рудоносные граниты и редкометалльно-вольфрамово-оловянные месторождения
в кольцевых геоструктурах Востока России**

Геоструктуры, интрузии Li-F гранитов и W-Sn месторождения			Координаты штоков ЛФГ	
Геоструктура	Шток ЛФГ	Месторождение	Широта	Долгота
Чаунская	[Иультинский]	Иультин	67°51'25"С	178°44'54"З
Чаунская	Кулювеемский	Пыркакайское	69°43'49"С	171°55'24"В
Полоусная	Одинокий	Одинокое	69°45'36"С	141°59'40"В
Полоусная	Полярный	Полярное	69°40'59"С	141°39'40"В
Верхне-Янская	Кестерский	Кестерское	67°15'51"С	134°12'24"В
Верхне-Янская	Верхнебургалийский	Бургалийское	65°39'59"С	139°24'19"В
Верхне-Индигорская	Сфинкс	Сфинкс	65°20'28"С	144°36'35"В
Верхне-Колымская	[Невский]	Невское	62°15'27"С	155°28'34"В
Верхне-Колымская	[Бутугычагский]	Бутугычаг	61°19'26"С	149°13'02"В
Охотская	Нютские штоки	–	60°35'33"С	144°49'09"В
Буреино-Баджалская	Дождливый	Правоурмийское	50°24'14"С	134°05'17"В
Приморская	Тигриный	Тигриное	46°11'14"С	135°50'33"В
Ханкайская	Вознесенский	Вознесенское	44°09'58"С	132°11'30"В

Примечание. ЛФГ – Li-F-граниты; в квадратных скобках – слепые интрузии.

Из данных таблицы можно сделать вывод, что мантийные диапиры служат ядрами гранитоидных рудно-магматических систем и наиболее продуктивных рудных узлов и районов. Размещение рудных районов в кольцевых геоструктурах с ареалами отрицательных аномалий силы тяжести – важнейшая металлогеническая закономерность Востока России, которая отражает связь рудоносности с глубинным строением земной коры.

Выводы. 1. На Востоке России наблюдается цепочка магмоконтролирующих кольцевых геоструктур, сконцентрированных в трех гранитоидных провинциях: Новосибирско-Чукотской, Яно-Колымской и Сихотэ-Алинской.

2. Движущей силой геодинамических процессов и гранитоидного магматизма Востока России являлись мантийные тепловые потоки в окнах разрыва литосферного слэба. Распределение астеносферных окон по простиранию Тихоокеанского подвижного пояса определяет размещение и масштабы гранитоидного магматизма.

3. Мантийные диапиры Востока России служат ядрами гранитоидных рудно-магматических систем. Размещение наиболее важных рудных районов Востока России в кольцевых геоструктурах с ареалами отрицательных аномалий силы тяжести – важнейшая региональная металлогеническая закономерность, отражающая связь рудоносности с глубинным строением земной коры.

Автор признателен профессору Санкт-Петербургского горного университета А.С.Егорову за ценные советы и помощь в написании статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.И. Дальневосточный пояс литий-фтористых гранитов, онгонитов и оловорудных цвиттеров // Записки Горного института. 2015. Т. 212. С. 14-20.
2. Алексеев В.И. Тектоническое развитие и гранитоидный магматизм Северо-Восточной Азии в позднем мезозое // Записки Горного института. 2016. Т. 217. С. 5-12.
3. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Под ред. А.И.Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006.
4. Глубинная структура рудных районов очагового типа: Центральноазиатский сегмент Тихоокеанского рудного пояса / Л.И.Брянский, В.А.Бормотов, Н.П.Романовский и др. М.: Наука, 1992. 156 с.
5. Глубинное строение и металлогения Восточной Азии / Отв. ред. А.Н.Диденко, Ю.Ф.Малышев, Б.Г.Саксин. Владивосток: Дальнаука, 2010. 332 с.
6. Глубинное строение и перспективы поисков на Дальнем Востоке / Ю.Ф.Малышев, М.В.Горошко, С.М.Родионов, Н.П.Романовский и др. // Крупные и суперкрупные месторождения: закономерности размещения и условия образования / Под ред. Д.В.Рундквиста. М.: ИГЕМ РАН, 2004. С. 423-430.



7. Добрецов Н.Л. Глубинная геодинамика / Н.Л.Добрецов, А.Г.Кирдяшкин, А.А.Кирдяшкин. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. 405 с.
8. Егоров А.С. Глубинное строение и геодинамика литосферы Северной Евразии: по результатам геолого-геофизического моделирования вдоль геотравесов России. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. 200 с.
9. 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
10. Митрофанов Н.П. Металлогеническое районирование: состояние и перспективы (на примере оловоносности Востока России) // Отечественная геология. 2006. № 3. С. 12-20.
11. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии / Л.М.Парфенов, Н.А.Берзин, А.И.Ханчук и др. // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 7-41.
12. Павлов Ю.А. Гравитационные аномалии и гранитоидный магматизм юга Дальнего Востока / Ю.А.Павлов, Э.Л.Рейнлиб. М.: Наука, 1982. 86 с.
13. Петрищевский А.М. Глубинные структуры земной коры и верхней мантии Северо-Востока России по гравиметрическим данным // Литосфера. 2007. № 1. С. 46-64.
14. Полиастеносфера Северо-Востока России – методы изучения, структура, кинематика, динамика / Ю.Я.Вашилов, Н.К.Гайдай, А.Е.Максимов и др. // Астеносфера и литосфера Северо-Востока России (структура, геокинематика, эволюция). Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. С. 135-142.
15. Романовский Н.П. Тихоокеанский сегмент Земли: глубинное строение, гранитоидные рудно-магматические системы. Хабаровск: ДВО РАН, 1999. 166 с.
16. Сахно В.Г. Позднемезозойско-кайнозойский континентальный вулканизм Востока Азии. Владивосток: Дальнаука, 2001. 336 с.
17. Тектоника, глубинное строение и минерагения Приамурья и сопредельных территорий / Отв. ред. Г.А.Шатков, А.С.Вольский. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. 190 с.
18. Тектоническая карта Северной, Центральной и Восточной Азии и смежных регионов масштаба 1:2 500 000 / Ред. С.П.Шокальский, И.Л.Поспелов, Чень Бин Вэй и др. СПб: ВСЕГЕИ, 2013.
19. Тихоокеанская окраина Азии. Металлогения / Е.А.Радкевич, О.Н.Бабич, И.Н.Говоров, С.С.Зимин, П.Г.Коростелев, А.М.Ленников, М.А.Мишкин, П.Г.Недашковский, Н.В.Огнянов, В.В.Раткин, Л.Н.Хетчиков. Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. 204 с.
20. Хаин В.Е. Коллизионный орогенез: модель отрыва субдуцированной пластины океанической литосферы при континентальной коллизии / В.Е.Хаин, С.А.Тычков, А.Г.Владимиров // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 1. С. 5-16.
21. Ханчук А.И. Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 5-34.
22. Lin W. Late Mesozoic extensional tectonics in the North China block: a crustal response to subcontinental mantle removal? / Lin W., Wang Q. // Bulletin de la Societe Geologique de France. 2006. Vol. 177. № 6. P. 287-297. DOI:10.2113/gssgfbull.177.6.287
23. Mantle plume, large igneous province and continental breakup / K.Li, Y.Wang, J.Zhao, H. Zhao, Y.Di // Acta Seimologica Sinica. 2003. Vol. 16. P. 330-339.
24. Phanerozoic tectonic evolution of the Circum-North Pacific / W.J. Nokleberg, L.M. Parfenov, J.W.H. Monger et al. U.S. Geological Survey. Professional Paper 1626. 2000. 122 p.
25. Pirajno F. The Geology and Tectonic Settings of China's Mineral Deposits. Dordrecht, the Netherlands: Springer Science + Business Media, 2013. 679 p.

Автор В.И.Алексеев, д-р геол.-минерал. наук, профессор, alexeev_vi@pers.spmi.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия).

Статья поступила в редакцию 08.09.2019.

Статья принята к публикации 04.03.2020.