

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЯЧИХ ТОЧЕК ПРИАМУРЬЯ

Т.В. Володькова, В.Я. Подгорный

Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000, e-mail: itig@itig.as.khb.ru

Поступила в редакцию 24 июня 2008 г.

На основе данных сейсмогравитационного моделирования и крупномасштабных аэрогеофизических работ, с привлечением других геолого-геофизических материалов созданы модели остывших и современных горячих точек Приамурья. Рассматриваются закономерности изменения глубинного строения горячих точек и Мая-Селемджинского плюма в процессе их эволюции, а также некоторые черты связанных с ними рудных районов.

Ключевые слова: плюмы, горячие точки, сейсмогравитационное моделирование, отношения естественных радиоактивных элементов, Приамурье, Дальний Восток.

ВВЕДЕНИЕ

Концепция плюмов и горячих точек (hot spots) возникла в 60–70 гг. XX века; ее развивали Т. Wilson, W.J. Morgan, К. Burke, D. Anderson, С. J. Allegre, Т. Н. Jordan, А. W. Hoffman, S. Maruyama, R. White, S. T. Groug, D. Mc Kenzi, S. Hart и др.

В России проблемы тектоники плюмов, связанного с ними магматизма и его металлогенической роли входят в число самых актуальных и динамично развивающихся тем, по которым проводятся регулярные конференции [34, 35]. Наиболее полно современные представления о плюмах изложены в [6–9, 18, 21, 23, 24, 30]. При изучении плюмов к числу самых спорных проблем относятся: глубина заложения плюмов, закономерности их распределения по отношению к границам плит, стационарность и длительность их проявления и соотношение процессов конвекции (одно-, двух- или многослойной), природа плюмов (тепловая или термохимическая). Основы моделирования плюмовых процессов с использованием физико-математических методов и мультимоделей разрабатывались в работах [6, 7, 21, 35].

Плюмы и горячие точки обычно выделяются с использованием петрогеохимических данных по ареалам внутриплитного магматизма, обогащенного аномальным комплексом некогерентных элементов и проявляющегося в виде вулканических структур основного-ультраосновного-щелочного состава [6, 24, 35]. Основные результаты по этой проблеме изложены в работах [12, 13, 25, 32].

По размерам ареалов на поверхности Земли могут выделяться: горячие поля и суперплюмы (от 2000

до 10000 км), которые генерируют плюмы; плюмы (до 2000 км), порождающие мантийные диапиры (до нескольких сот–тысячи км в диаметре) и горячие точки (до 100–300 км) [4, 18]. Мантийные диапиры образуются в подошве жесткой и холодной литосферы под влиянием астеносферных плюмов; они формируют в литосфере группы горячих точек – локальных выходов мантийных струй плюма. Глубина заложения горячих точек достигает 700 км, а по мнению А. Ф. Грачева, – около 100 км [6, 18, 21].

В последние годы, в связи с большим количеством нерешенных проблем, концепция плюмов подвергается резкой критике; большинство этих проблем вряд ли будет решено в ближайшее время. Установлено, что для плюмоподобных структур возможны, по крайней мере, три уровня зарождения, наименее глубинный из которых связывается с верхней астеносферой [22]. Горячие точки и мантийные диапиры, которые рассматриваются в работе, имеют относительно небольшие размеры и малую глубину и являются более благодарным объектом для геолого-геофизических исследований. Планомерное изучение таких структур в Приамурье началось только 10–15 лет назад; определена их важная роль в металлогении и рудообразовании, что усилило внимание к ним [1, 3, 13–15].

Важнейшее значение при изучении плюмоподобных структур имеют методы сейсмометрии, сейсмотомографии, магнитно-теллурического зондирования (МТЗ); при палеорекострукциях могут быть использованы палеомагнитные данные. Такие структуры выделяются в гравитационном поле, а также изу-

чаются с использованием космоснимков и геодезических методов [6, 21].

Успешное выявление ареалов плюмового магматизма как отражения плюмовых процессов затруднено из-за невысокой петрогеохимической изученности региона. Эти данные отчасти заменяются материалами крупномасштабной аэрогаммаспектрометрии. Естественные радиоактивные элементы (ЕРЭ) относятся к числу наиболее некогерентных элементов-индикаторов магматических процессов и могут с успехом использоваться для изучения плюмового магматизма и его металлогенической специфики [1–4]. Хорошая обеспеченность территории Приамурья данными среднemasштабных и крупномасштабных геофизических съемок позволяет детально изучать глубинное строение локальных плюмовых структур.

В работе делается попытка построения моделей горячих точек Приамурья и изучения основных закономерностей их развития по геолого-геофизическим данным. Совмещение комплекса аэрогаммаспектрометрии, используемой вместо петрогеохимического метода, и сейсмогравитационного моделирования (изучение глубинной структуры объектов) придает этим моделям достоверность.

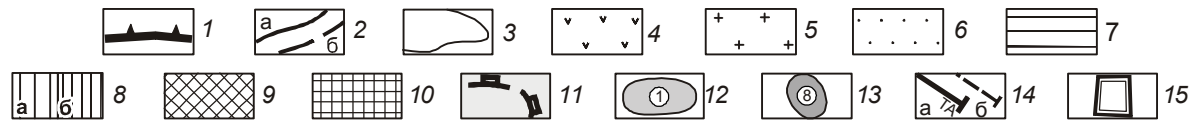
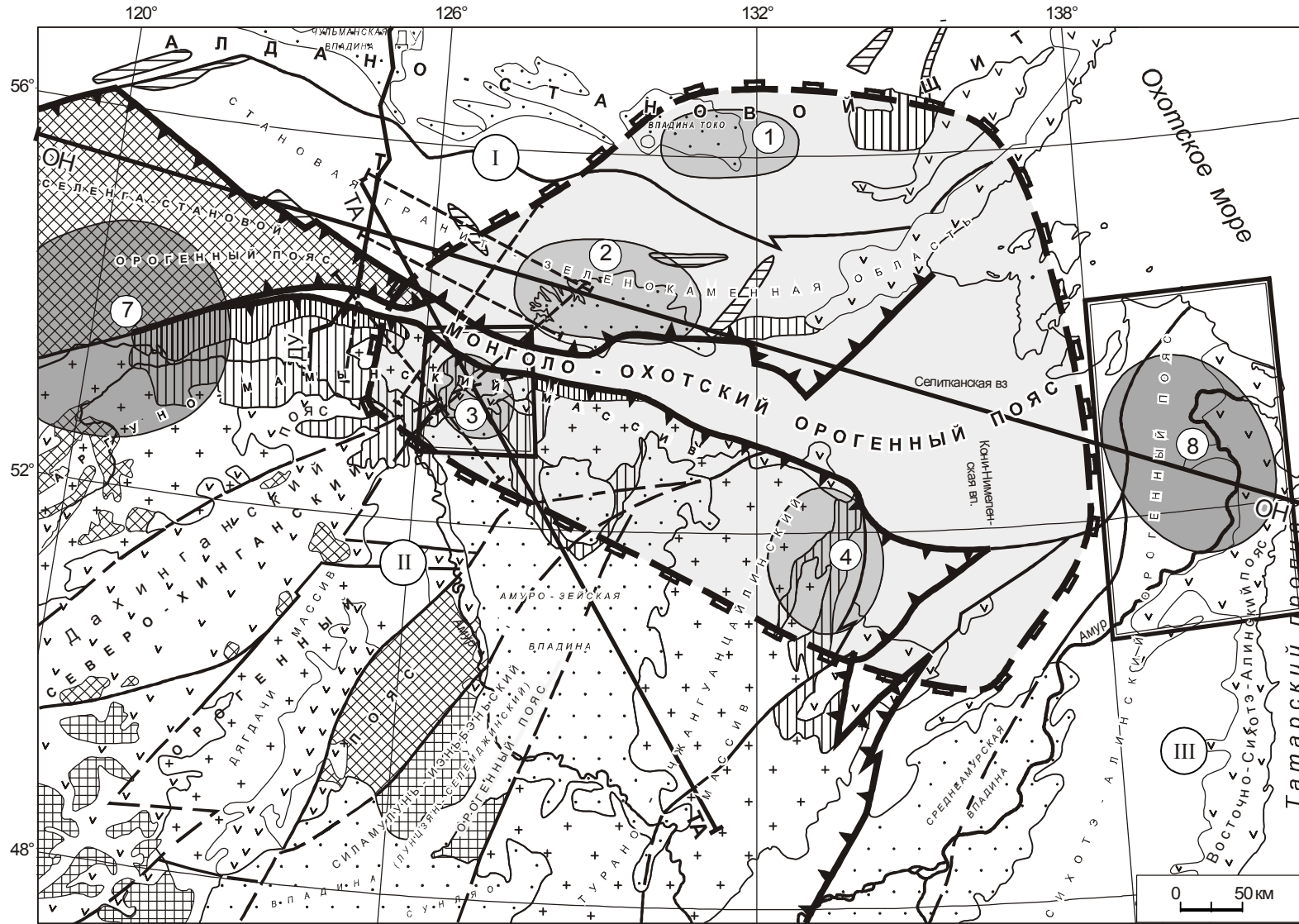
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В Приамурье проводились региональные глубинные исследования методами магнитотеллурического зондирования (МТЗ), измерения теплового потока в глубоких скважинах, гравитационного и электромагнитного моделирования с привлечением сейсмических разрезов земной коры, полученных способом ГСЗ и МОВЗ [10, 14–16, 19, 20, 31, 35]. Комплексное использование сейсмических, геотермических, гравиметрических данных и МТЗ позволяет строить плотностные разрезы литосферы (до глубин 220–250 км) и геоэлектрические разрезы (до 300–400 км). По методике послойного моделирования построены плотностные разрезы литосферы и верхней части астеносферы российского Приамурья и северо-востока Китая [14–16, 19, 20, 35]. Модели литосферы, при всей условности определения ее подошвы, позволяют оценить по геотермическим измерениям состояние верхнемантийного вещества в литосферной мантии и в подстилающей ее астеносфере. С использованием геоэлектрических разрезов выделены глубинные разломы и блоки, зоны локализации магматических расплавов, слои различной проводимости в литосфере и подлитосферной мантии. Данные по тепловому потоку и распределению геотемператур немногочисленны и неравномерны, но они дали возможность построить карту теплового потока и геотемператур масштаба

1:5 000 000, выявить некоторые локальные аномалии, соотнесенные с горячими точками, и рассчитать карту геотемператур на поверхности Мохо [16]. Использование комплекса региональных геофизических методов в Приамурье позволило построить приближенную модель глубинного строения всей территории, выделить отдельные горячие точки и оценить их глубинное строение (рис. 1, 2). Модели горячих точек строились на основе предположения, что их источники расположены не глубже верхов астеносферы; эту глубинность обеспечивают данные сейсмогравитационного моделирования. Материалы сейсмотомографии, которые особенно важны для изучения крупных плюмов, значительных глубин и нижней мантии, не привлекались.

Характеристики геофизических полей, послуживших основой для выделения горячих точек, отражают их современное состояние. Тем не менее, с привлечением геолого-геохимических данных по плюмовому магматизму, можно заключить, что многие точки были заложены в позднем мезозое; они активно и унаследованно развивались до настоящего времени, не меняя своего положения [3, 16, 35]. В связи с унаследованностью, структурно-тектонический план района каждой горячей точки практически не менялся с позднего мезозоя, либо тектонические тенденции (например, медленное воздымание территории) сохранялись. Мезозойско-кайнозойские магматические образования на территории Дальнего Востока России хорошо проявлены в рельефе и отражают динамику магматизма. Карты рельефа были с успехом использованы на этапе геолого-геофизической интерпретации совместно с картами магнитного поля ΔT и силы тяжести Δg_B . Воздействие плюма определялось циклическими вспышками плюмового магматизма в ареале горячей точки за счет притяжения различных магматических источников, поэтому каждый цикл магматизма характеризуется своими геохимическими особенностями. Можно предположить, что в полях локальных аномалий Δg_B , ΔT отражены в основном элементы плюмового магматизма, а геофизический эффект за счет структурно-тектонических изменений вмещающих пород невелик. В связи с этим, данные всех региональных геофизических методов (в том числе, по современному тепловому полю) могут использоваться для изучения эволюции тектоно-магматических процессов в ареалах горячих точек в исторической ретроспективе вплоть до позднего мела.

Среди горячих точек мезозойско-кайнозойского возраста различаются современные и остывшие. Современные точки характеризуются пониженными мощностью литосферы и скоростью сейсмических продольных волн в ее подошве, а также высокими



Геолого-геофизические характеристики горячих точек Приамурья

значениями геотемператур на поверхности Мохо. У остывших точек эти характеристики сохраняются лишь частично (отмечаются понижения скорости, плотности в подошве литосферы) [16].

Возможности использования данных аэрогаммаспектрометрии (фоновых характеристик содержаний и отношений ЕРЭ магматических комплексов и тел) в качестве элементов-индикаторов магматизма плюмовой природы определены в [1–4]. Для неизменных магматических пород, образовавшихся в процессе кристаллизационной дифференциации в закрытых магматических очагах, вне зависимости от основности, типично постоянство отношений ЕРЭ. За счет притока вещества плюмов в открытом очаге от фазы к фазе физико-химические условия дифференциации магм значительно меняются, а отношения ЕРЭ резко варьируют. Фоновые характеристики отношений ЕРЭ магматических комплексов и тел минимально зависят от погрешностей измерения, сопоставимы с результатами наземных исследований и используются в качестве результативного трехэлементного петрогеохимического метода. В Приамурье, в условиях дефицита петрогеохимических данных, для построения моделей мезозойско-кайнозойских горячих точек используется комплекс данных региональной геофизики (сейсмометрия, гравиметрия, МТЗ, тепловое поле) и крупномасштабных аэрогеофизических и геологических работ. На рис. 3, 4 приводятся результаты геолого-геофизической интерпретации по остывшей Нижнеамурской и современной Зейской горячим точкам; для картирования элементов геологического строения использовались материалы крупномасштабной аэромагнитометрии и аэрогаммаспектрометрии.

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГОРЯЧИХ ТОЧЕК ПРИАМУРЬЯ

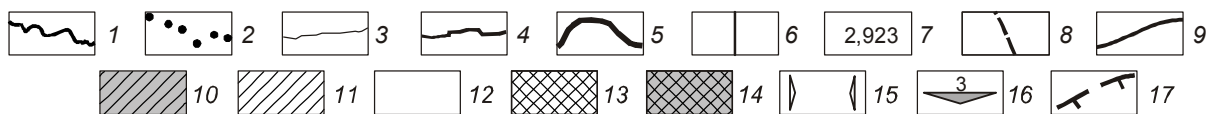
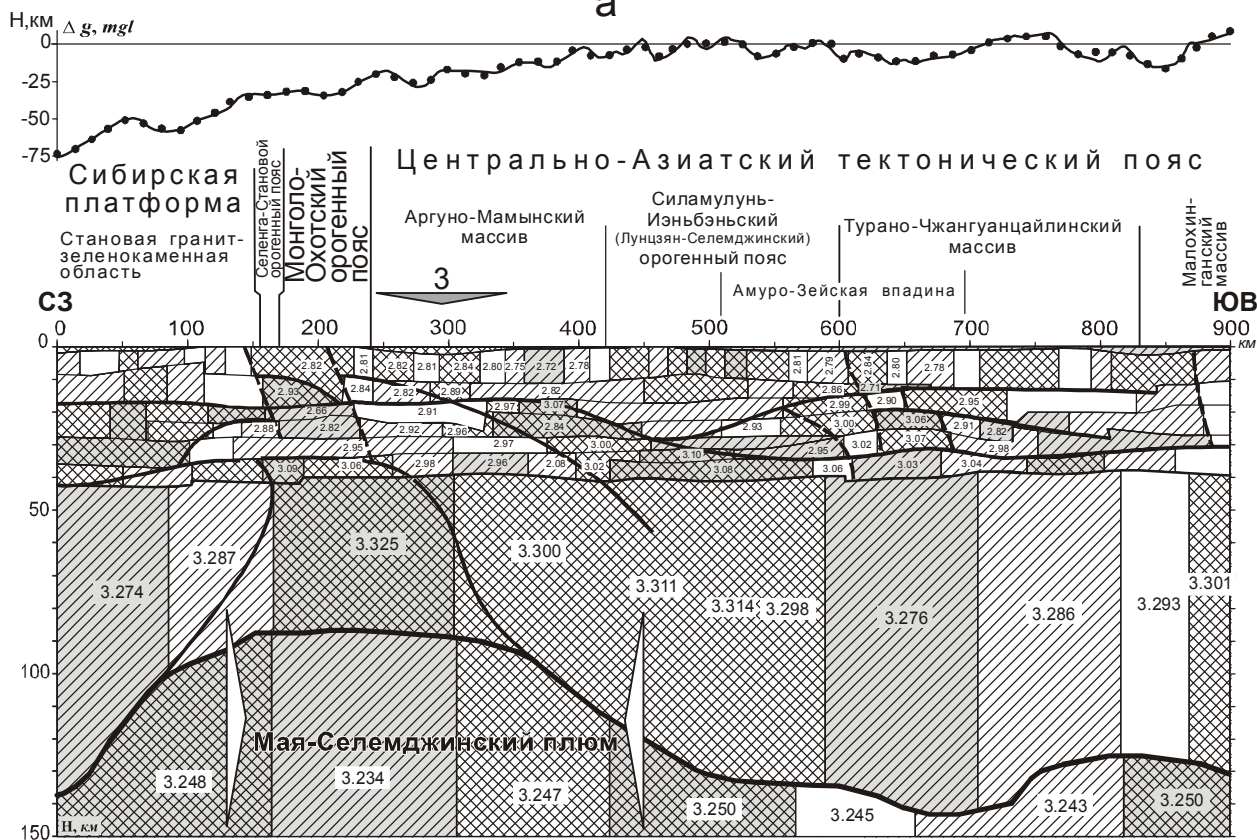
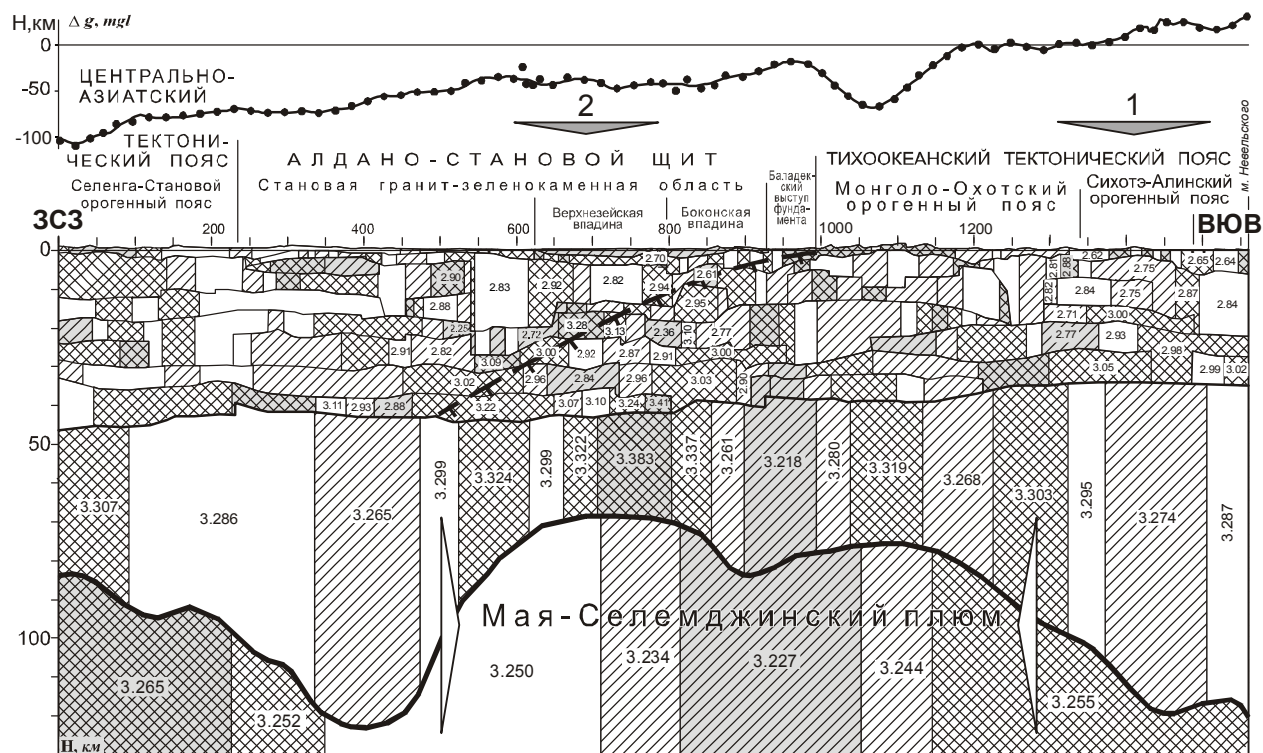
Горячие точки, выделенные по геофизическим данным, расположены в области сочленения Алдано-Станового щита, Центрально-Азиатского (ЦАСП) и

Тихоокеанского складчатых поясов [17, 28]. Алдано-Становой щит сложен раннедокембрийскими метаморфическими комплексами, которые позднее неоднократно подвергались воздействию процессов тектоно-магматической активизации (ТМА), особенно интенсивной в мезозое. В связи с процессами ТМА в зонах повышенной проницаемости сформировались различные магматические комплексы ультраосновного–кислого состава, нормальной и повышенной щелочности. Центрально-Азиатский складчатый пояс представлен ансамблем палеозойских орогенных поясов и докембрийских микроконтинентов (массивов) внутри них. Микроконтиненты также были неоднократно активизированы, за счет чего широкое распространение получили магматические комплексы различного состава. Значительную площадь занимают крупные мезозойско-кайнозойские впадины. В Тихоокеанском складчатом поясе, фрагментами которого являются Сихотэ-Алинский и частично Монголо-Охотский орогенные пояса, выделяются зоны, сложенные структурно-вещественными комплексами палеозойского и мезозойского возраста.

Почти все рассматриваемые горячие точки сгруппированы в зоне влияния Монголо-Охотского орогенного пояса и прилегающих краевых прогибов (Ольдойского, Гагско-Сагайского) [16, 28]. Из всех горячих точек только Токинская находится значительно севернее, в мезозойской Токинской впадине Алдано-Станового щита. Кроме локальных горячих точек, выделена крупная Мая-Селемджинская структура (плюм) (рис. 1). Закартированы контур плюма на поверхности Мохо (мантийный срез), а также нижнекоровый и верхнекоровый срезы Мая-Селемджинской структуры, расположенные значительно юго-западнее, на Буреинском массиве; латеральное несовпадение корового и мантийного срезов объясняется погружением структуры на северо-восток [14–16, 28]. Для коровых срезов выделенных плюмовых структур типична приуроченность к их внутренним зонам мезозойских и мезозойско-кайнозойских впадин.

Рис. 1. Литосферные блоки области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов [14–16, 25].

1 – границы крупных тектонических подразделений (*римские цифры в кружках*): I – Сибирская платформа, II – Центрально-Азиатский тектонический пояс, III – Тихоокеанский тектонический пояс (Сихотэ-Алинский орогенный пояс); *2* – системы разломов: а – установленные, б – предполагаемые; *3* – границы структур; *4* – вулканические пояса; *5* – выходы фундамента массивов (микроконтинентов); *6* – мезозойско-кайнозойские осадочные впадины; *7* – зеленокаменные пояса; *8* – тропи окраин: а – палеозойские, б – мезозойские; *9* – раннепалеозойские (каледонские) орогенные пояса; *10* – позднепалеозойские (герцинские) орогенные пояса; *11* – проекция на поверхность мантийного среза (по кровле мантии) плюма (литосферный Мая-Селемджинский блок); горячие точки (*арабские цифры в кружках*): *12* – современные: 1 – Токинская, 2 – Верхнезейская, 3 – Зейская, 4 – Верхнебуреинская; *13* – остывшие: 7 – Верхнеамурская, 8 – Нижнеамурская; *14* – профили: а – сейсморастворочных исследований и гравитационного моделирования (ТА – Тында–Амурзет, ОН – р. Олекма–мыс Невельского); б – геоэлектрического моделирования (МТЗ); *15* – контуры рис. 3–4. В границах крупнейших структур I–III выделены только основные в контексте статьи структурные элементы.



В ареалах большинства плюмовых структур на поверхности либо на небольшой глубине выявлены вулканы (в последнем случае, выделяются по данным интерпретации магнитного поля). Часть горячих точек связана с фрагментами протяженных мезозойско-кайнозойских вулканических поясов: Дахинганского (Зейская и Верхнебуреинская), Восточно-Сихотэ-Алинского (Нижнеамурская). В краевых частях ареалов горячих точек Алдано-Станового щита (Верхнезейская, Токинская) выделяются секущие их фрагменты зеленокаменных поясов. Последнее является свидетельством приуроченности этих точек к длительно развивающейся, рифейского заложения, зоне активизации, протягивающейся в северо-восточном направлении вдоль края Сибирской платформы [2]. Вулканические зоны и орогенные пояса окружают по периферии верхнекоровый контур крупнейшей Мая-Селемджинской структуры, причем среди них выделяются образования мезозойско-кайнозойского и палеозойского возраста (каледонский Северо-Хинганский, герцинский Силамулунь-Иэньбенский, мезозойский Дахинганский пояса). Следовательно, по геологическим данным, верхнекоровый срез Мая-Селемджинской структуры от центра к периферии характеризуется концентрически-кольцевым строением и четко делится на три зоны: внутреннюю, перекрытую осадками, промежуточную, представленную фрагментами микроконтинентов, и внешнюю (вулканические и орогенные пояса). При составлении схем интерпретации масштаба 1:500 000–1:100 000 Зейской и Нижнеамурской площадей в качестве геологической основы использовались карты [5, 11, 33]. Геологические характеристики этих площадей хорошо отражены на рис. 3,4.

ОСОБЕННОСТИ ПЛЮМОВОГО МАГМАТИЗМА ПРИАМУРЬЯ

Внутриплитные магматические комплексы (плюмовой природы) в Приамурье известны в пределах всех крупных структур. Они обладают аномаль-

ным спектром распределения элементов-индикаторов магматических процессов, широко варьируют по составу (от ультраосновных-щелочных до кислых) и по возрасту (от рифея до кайнозоя) [2, 3, 5, 23, 27]. Ареалы плюмового магматизма, выделенные по геолого-петрогеохимическим данным, обычно невелики по масштабу и соответствуют горячим точкам. В связи со слабой изученностью, выявление начального плюма, инициировавшего внутриплитный магматизм, представляет сложности; сделано несколько попыток такого рода [9, 14, 15, 23, 27].

Л.П. Зоненшайном и М.И. Кузьминым был выделен Центрально-Азиатский плюм, охватывающий территорию Монголии, Забайкалья, севера Китая и Приамурья [9]. Отмечалось, что этот плюм не менял положения в течение последних 120 млн лет. В промежутке 140–160 млн лет назад его контур имел меньшие размеры и выделялся чуть южнее. В палеозое (пермь–триас) на территории южного Китая существовал Эйменьшаньский плюм, а в Приамурье подобные структуры не отмечены.

В.Г. Сахно увязал Центрально-Азиатский плюм с Амурской мегаструктурой центрального типа, представляющий собой мощнейший ареал разновозрастного магматизма [27]. По его мнению, образование Амурской мегаструктуры связано с деятельностью подлитосферного плюма с корнями, достигающими подошвы мантии, положение которого не менялось в течение всего фанерозоя. В этот период он вызывал эпизодические вспышки внутриплитного магматизма в ареале Амурской структуры, сконцентрированные в зонах разломов и рифтов, особенно интенсивные в мезозое–кайнозое. Ядро современной проекции плюма представляет собой крупный мантийный диапир, выявленный по геофизическим данным под впадиной Сунляо [20].

С учетом петрогеохимических и структурных признаков, Ю.Ф. Малышев, Н.П. Романовский и др. [23] выделяют в ЦАСП два крупных ареала интенсивного внутриплитного палеозойского магматизма

Рис. 2. Гравитационные модели литосферы по сейсмическим профилям: а – р. Олекма–мыс. Невельского; б – Тында–Амурзет. Составил В.Я. Подгорный.

1 – измеренные аномалии силы тяжести в редукции Буге ($mGal$); 2 – вычисленный гравитационный эффект от модели ($mGal$); 3 – сейсмические границы в земной коре; 4 – рельеф подошвы земной коры (сейсмическая граница Мохо); 5 – подошва литосферы по геотемпературным данным (кровля астеносферы); 6 – вертикальные границы вычисленных плотностных неоднородностей; 7 – вычисленные значения плотности ($10^{-3} кг/м^3$); 8 – предполагаемые тектонические нарушения; 9 – границы предполагаемых плотностных куполообразных структур; 10–14 – шкала изменений плотности относительно средних значений толщи в каждом слое: 10 – минимальные и низкие значения плотности, 11 – пониженные, 12 – средние, 13 – повышенные, 14 – высокие и максимальные; 15 – границы Мая-Селемджинского плюма; 16 – горячие точки (контуры на поверхности Мохо): 1 – Нижнеамурская, 2 – Верхнезейская; 3 – Зейская; 17 – зона высокой плотности (предполагаемого контакта литосферных блоков Алдано-Станового щита (Сибирская платформа) и Тихоокеанского тектонического пояса).



плюмовой природы, причем в Приамурье ими впервые был выделен Цзямусы-Буреинский плюм. Площадь Цзямусы-Буреинского плюма и его контуры по долготе близки к соответствующим характеристикам мезозойско-кайнозойской Мая-Селемджинской структуры [14, 15], хотя несколько сужены, но Цзямусы-Буреинский плюм заметно сдвинут на юг. Вероятно, Цзямусы-Буреинский плюм является палеозойской проекцией Мая-Селемджинского плюма. Современные горячие точки, выделенные по геофизическим признакам (рис. 1), сконцентрированы в ареале Мая-Селемджинского плюма, а остывшие – на значительном удалении от него, что объясняется, возможно, циркуляцией потоков плюмового вещества. Крупные рудоносные площади, в пределах которых сконцентрированы важнейшие месторождения региона, четко приурочены к периферии Мая-Селемджинского плюма. Рудоносные площади были выделены с учетом ареалов магматизма; по геологическим признакам (отмечаются проявления внутриплитного магматизма с аномальными характеристиками элементов-индикаторов) он соответствует вероятным горячим точкам [14, 15]. Значительное несоответствие контуров горячих точек, выделенных по геофизическим и геологическим данным, определяется как различием принципов картирования, так и слабой изученностью региона. Создана модель Мая-Селемджинского плюма, крупнейшей плюмовой структуры Приамурья, и определена его металлогеническая роль. Внутреннее строение структуры изучено до глубин 200–250 км. По масштабам она соответствует, скорее, мантийному диапиру. С использованием данных аэрогаммаспектрометрии получены доказательства, что магматические комплексы, специализированные на рудные элементы, являются производными мантийных магм плюмовой специфики [3]. Различные аспекты металлогенической роли плюмового магматизма рассматриваются в [13, 35].

Многие представления о плюмах Приамурья пока крайне гипотетичны. Крупнейшие плюмы Земли, признанные большинством исследователей – Северо-Азиатский (Сибирский) и Тихоокеанский, – находятся на значительном удалении [7–9]. Проявления

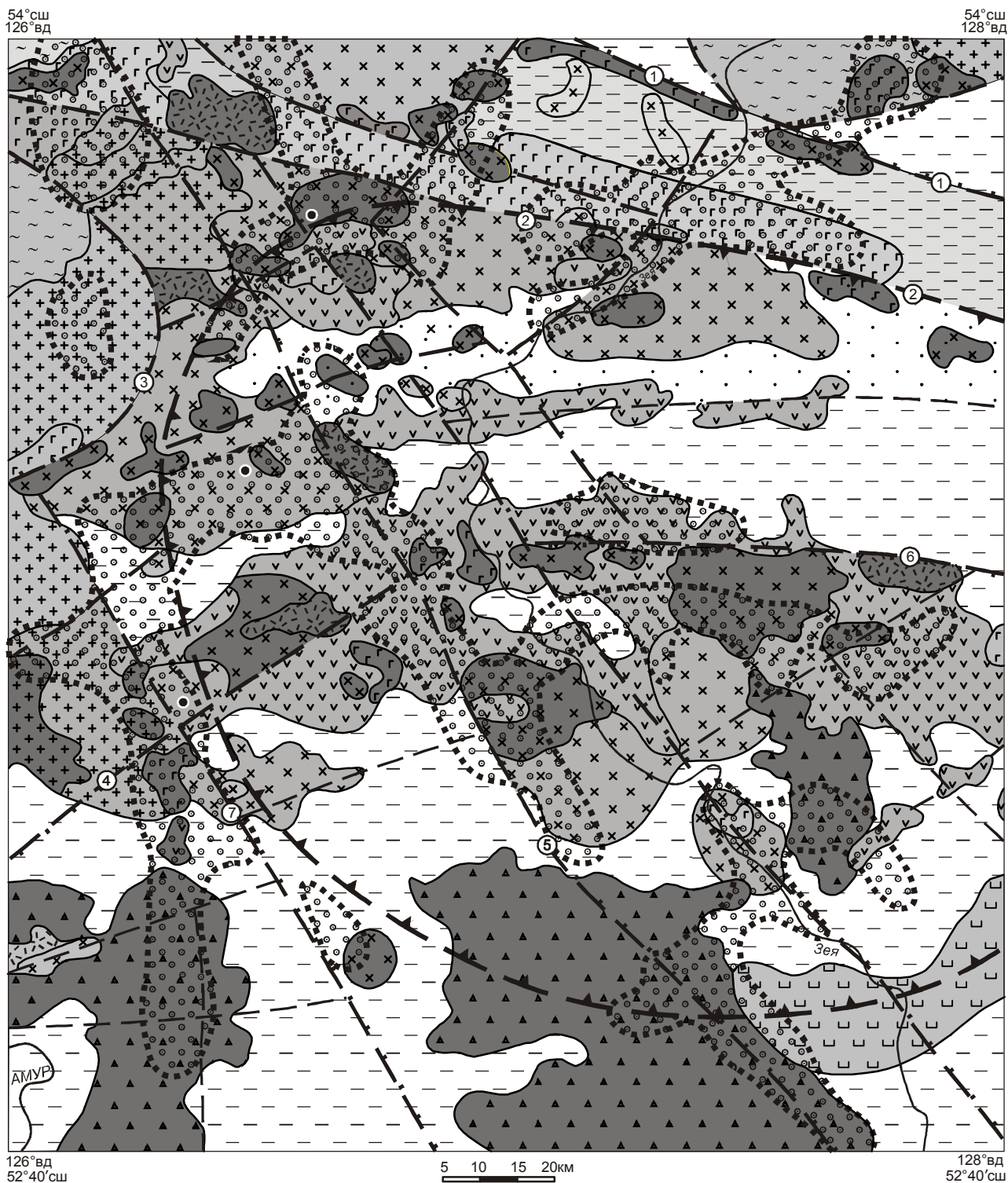
типичного внутриплитного (щелочного и субщелочного) магматизма на территории Приамурья имеют сравнительно скромные масштабы, а в Амурской мегаструктуре представлены в основном гранитоиды нормальной щелочности. Тем не менее, отмечалось, что иногда образование таких гранитоидов может определяться сильным влиянием плюма [32].

Большую неясность представляет проблема происхождения Амурской мегаструктуры (плюма) и его глубинности [27]. Зона ЦАСП последние 600 млн лет находилась под сильным влиянием процессов плюмового магнообразования в ареале Северо-Азиатского суперплюма [12, 32]. Разогретое вещество могло распространяться по слоям пониженной вязкости (астеносфере) на значительные расстояния, образуя цепь плюмов, которые контролируются одним горячим полем мантии. Аналогичную роль при формировании Амурской мегаструктуры мог играть Тихоокеанский суперплюм мезозойского возраста, что подтверждается данными сейсмотомографии [29]. Амурский плюм мог сформироваться под влиянием любого из этих суперплюмов либо их обоих [26]. Во всех этих случаях он вторичен, в Приамурье имеет верхне-нижнемантийное заложение и вряд ли достигает границ внешнего ядра Земли. Эти выводы верны и для Мая-Селемджинского плюма [14, 15].

Все предыдущие авторы пытались выделять и описывать наиболее крупные плюмоподобные структуры Приамурья, уделяя меньше внимания локальным горячим точкам. Выше отмечалось, что именно изучение крупных структур наиболее проблематично. В последнее время подвергается сомнению способность вещества плюмов далеко распространяться по горизонтали в слоях пониженной вязкости (например, в астеносфере); бытующая точка зрения о грибообразной форме плюма не доказана [22]. Глубинность заложения крупнейших плюмоподобных структур Приамурья может определяться с использованием данных МТЗ и сейсмотомографии; пока данных для достоверных выводов о глубинности недостаточно. По результатам сейсмогравитационного моделирования установлено: вещество аномально пониженной плотности (подобное слоям разогретого

Рис. 3. Схема геолого-геофизической интерпретации Нижнеамурской площади. Составлена Т. В. Володьковой.

Вулканические и осадочные породы: 1 – неогеновые осадки; 2 – неогеновые базальтоиды; 3 – верхнемеловые–палеогеновые вулканиты: а – кислого, б – среднего, в – основного состава; 4 – нижнемеловые вулканиты; 5 – юрско-меловые осадочные породы, б – триасово-юрские кремнисто-вулканогенные образования. Интрузивные породы (комплексы): 7 – поздне-меловой–раннепалеогеновый удомийский; 8 – раннемеловой нижнеамурской; 9 – раннемеловой ульбанский. Границы раздела: 10 – разломы; 11 – зоны региональных гидротермально-метасоматических изменений; 12 – ареалы развития комплексов; 13 – контур горячей точки на границе Мохо; 14 – основные рудные месторождения. Цвет заливки подчеркивает фазы плюмового магматизма. В зонах регионального метасоматоза магматические комплексы показаны без заливки.



- | | | | | | | | |
|---|----|----|----|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | | | | |

вещества) в кровле астеносферы распространяется по большей части территории Приамурья [19, 20]. Этот факт является некоторым подтверждением гипотетической способности плюмовых источников распространяться в подлитосферном слое на значительные расстояния.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На первом этапе изучались геолого-геофизические характеристики Нижнеамурской и Зейской горячих точек, а также Мая-Селемджинского плюма (рис.1). Затем привлекались материалы и по другим горячим точкам, выделенным в [16]. Средняя плотность астеносферы Земли – $(3.52-3.55) \cdot 10^{-3}$ кг/м³ [7, 8]. По данным сейсмогравитационного моделирования (до глубин 150 км), фоновая плотность верхних слоев астеносферы в Приамурье существенно ниже и составляет $(3.25-3.26) \cdot 10^{-3}$ кг/м³. Значительная часть астеносферы Приамурья отличается пониженной плотностью $(3.22-3.23) \cdot 10^{-3}$ кг/м³, что объясняется интенсивным притоком разогретого вещества плюмов в астеносферу региона. Вертикальные колонны вещества пониженной плотности мантийной части литосферы в ареалах горячих точек могут являться областями частичного плавления под выходами на поверхность мантийных струй плюма (коррелируются с участками активного мезозойско-кайнозойского магматизма), а повышенной плотности – сформировавшийся литосферный корень. Аномально высокая плотность литосферного корня объясняется затвердеванием магм и явлением плюмового андерплейтинга. Термин “плюмовый андерплейтинг” означает значительное наращивание (подслаивание) мощности коры в результате деятельности мантийных плюмов; по мнению А.Ф. Грачева, подобные явления типичны для плюмов всех возрастов, в том числе кайнозойских [18, 21]. Участки повышенной плотности в земной коре возникают вследствие ее “базификации” (насыщения коры производными глубинных магм повышенной основности). Таким образом,

следы воздействия плюмов в ареалах горячих точек могут быть обнаружены во всех слоях литосферы.

Результаты комплексной интерпретации крупномасштабной аэромагнитометрии, аэрогаммаспектрометрии Нижнеамурской и Зейской площадей приведены на рис. 3, 4, в таблице. С обеими горячими точками связаны крупные золоторудные районы в мезозойско-кайнозойских вулканических поясах. Практически все осадочные и метаморфогенные комплексы в ареалах горячих точек отличаются низкой интенсивностью магнитного поля, пониженными содержаниями ЕРЭ и устойчивым фоном отношений ЕРЭ. Магматические комплексы чаще всего характеризуются повышенными интенсивностью магнитного поля и содержаниями ЕРЭ. По характеристикам отношений ЕРЭ магматические комплексы образуют контрастные группы, соответствующие этапам и фазам магматизма, в том числе плюмовой природы [2, 3]. На схемах с элементами генерализации (рис. 3, 4) отражены осадочные и метаморфогенные породы, магматические комплексы орогенного либо доплюмового этапа, а также группы магматических комплексов, включающие по несколько фаз плюмового магматизма каждая и отражающие основные этапы развития горячих точек. Выделены зоны региональных метасоматитов, в которых также сконцентрированы ареалы локального метасоматоза, характеризующиеся интенсивными аномалиями отношений ЕРЭ. Зоны регионального метасоматоза имеют ширину до 10 км, значительную протяженность и обычно трансформируются крупными разломами.

Нижнеамурская остывшая горячая точка характеризуется повышенной мощностью мантийной части литосферы, в подошве которой отмечается локальный прогиб. Значения плотности астеносферы близки к нормальным $((3.255-3.257) \cdot 10^{-3}$ кг/м³), что свидетельствует о прекращении в настоящее время притока плюмового вещества к основанию горячей точки. В мантийной части литосферы выделяется вертикальный столб вещества относительно пони-

Рис. 4. Схема геолого-геофизической интерпретации Зейской площади. Составлена Т.В. Володьковой.

Метаморфогенные и осадочные породы: 1 – нижнебелогорская свита ($N_2 - Q_1$) с аномальным распределением значений отношений ЕРЭ; 2 – мезозойско-кайнозойские осадочные породы; 3 – палеозойские интенсивно диафорированные породы; 4 – палеозойские осадочные породы; 5 – древнейшие метаморфогенные образования ($AR_1 - PR_1$). Магматические породы: 6 – позднемеловые (а) эффузивные, (б-г) бурундинский комплекс: б – граниты, гранодиориты, в – диориты, монцодиориты, г – габброиды; 7 – позднемеловые (а) андезиты, (б-г) верхнеамурский комплекс: б – граниты, гранодиориты, в – диориты, монцодиориты, г – габброиды; 8 – палеозойские породы: а – диориты, гранодиориты, б – пиканский комплекс (габброиды); 9 – позднепротерозойские породы: а – граниты, гранодиориты, б – габброиды, габбродиориты, в – ультрабазиты; 10 – разломы: а – основные, б – прочие; 11 – горячие точки; 12 – зоны метасоматоза. Названия разломов (номера в кружках): 1 – Северо-Тукурингрский, 2 – Южно-Тукурингрский, 3 – Гонжинский, 4 – Талали-Зейский, 5 – Зейский, 6 – Умлеканский, 7 – Дактуйский.

Цвет заливки подчеркивает фазы плюмового магматизма.

Таблица. Сравнительные характеристики мезозойско-кайнозойских «горячих точек».

Характеристики «горячих точек»	Источник	Горячие точки	
		Нижне-Амурская	Зейская
Разновидность горячей точки	[16]	остывшая	современная
Наличие зоны разуплотнения в астеносфере	[19, 20, 35]	отсутствует	выражена
Форма подошвы литосферы	[32]	локальный прогиб в подошве мощного литосферного слоя	зона резкого погружения литосферы
Выраженность литосферного корня	[32]	слабо выражен	не выражен
Параметры литосферного корня, в т.ч. вертикальная мощность	[32]	80–90 км	50–60 км
плотность вещества		пониженная	пониженная
Гравитационное поле, в т.ч. морфология, интенсивность	[1, 32]	ярко выраженная региональная кольцевая аномалия интенсивное положительное поле Δg_B	региональная кольцевая аномалия практически отсутствует знакопеременное поле Δg_B
Глубина залегания по данным моделирования подошвы: «гранитного слоя», «диоритового слоя», «базальтового слоя»,	[1, 28]	9–10 км 18–22 км 34–35 км	10–17 км 28–33 км 38–40 км
Мощность: «гранитного слоя», «диоритового слоя», «базальтового слоя»,	[1, 28, 32]	9–10 км 6–8 км 13–16 км	10–17 км 11–18 км 10–12 км
Магнитное поле, в т.ч.: морфология региональной аномалии, изрезанность ΔT , интенсивность ΔT ,	[1, 2, 32]	выраженная региональная аномалия кольцевой формы весьма изрезанное преимущественно аномальное положительное	региональная кольцевая аномалия отсутствует весьма изрезанное знакопеременное аномальное
Тепловой поток	[16]	пониженный	резко повышенный
Морфологические особенности земной коры	[1, 25]	концентрически-кольцевая коровая структура	линейно-вытянутая система наклонных блоков
Возраст вулканогенно-осадочных образований	[5, 17, 30]	J_1-K_2	$PZ-N_1$
Возраст магматических образований плюмовой природы	[5, 17, 30]	K_2-N_1	K_1
Магматические золотоносные комплексы, индекс Состав	[5, 17, 30]	нижнеамурский K_{2n} диорит-гранодиорит-гранитный	буриндинский K_{1b} габбро-гранодиорит-гранитный
Морфология зон аномальных отношений ЕРЭ, в т.ч., калий-ториевых уран-ториевых	[1]	концентрически-кольцевые зоны концентрически-кольцевые, коррелируются с калий-ториевыми	линейные линейные, коррелируются с калий-ториевыми
Природа зон аномальных отношений ЕРЭ	[1]	магмаактивные глубинные разломы и зоны проницаемости	магмаактивные глубинные разломы и зоны проницаемости
Морфология металлогенических зон	[1]	концентрически-кольцевая металлогеническая зональность	линейные наклонные зоны
Ведущие типы мантийных резервуаров	[3]	$HIMU, EM II$	$HIMU, EM II$

женной плотности $((3.271-3.279) \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ на фоне $(3.286-3.297) \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$), с довольно четкими контурами. Здесь сформировался литосферный корень, но вероятно существование остаточных зон частичного расплава плюмовой природы. На продолжении литосферного корня, в земной коре контрастно выделяется субвертикальный столб вещества повышенной плотности, пронизывающий практически всю кору. Он обусловлен интенсивной базификацией коры вследствие ее проработки мантийными магмами. Нижнеамурская точка характеризуется пониженной геотемпературой на поверхности Мохо. Таким образом, на нынешнем этапе процессы магмообразования под воздействием плюма в ареале Нижнеамурской точки близки к завершению, что согласуется с данными по тепловому потоку.

Нижнеамурская площадь сложена мезозойскими (триас–мел) вулканогенно-осадочными и осадочными породами; нижнемеловые вулканы относятся к доплюмовому (орогенному) этапу. На этот фон накладываются магматические образования плюмовой природы. Отмечается не менее пяти фаз их внедрения, которые дифференцированно отличаются аномальными характеристиками отношений ЕРЭ. На основе этих данных сделан вывод о существенном влиянии на продукты магматизма обогащенных мантийных резервуаров EM II, HIMU, что объясняется воздействием плюма [3]. Контур Нижнеамурской горячей точки (рис. 1, 3) определяется ее положением на границе Мохо, с ним совпадают эпицентры двух коровых очаговых структур – проекций мантийной горячей точки на земную поверхность. По-видимому, магмы с границы Мохо поступали в земную кору по двум наклонным расходящимся каналам, формируя в земной коре очаговые структуры. Магматические комплексы связаны с этими двумя структурами, хорошо выраженными в полях локальными аномалиями силы тяжести в редукции Буге Δg_b , магнитного поля ΔT и в рельефе, для которых типична концентрически-кольцевая и металлогеническая зональность. Смежные очаговые структуры подчеркнуты зонами региональных гидротермально-метасоматических изменений, к которым приурочено большинство месторождений региона; для них типична металлогеническая зональность [1, 4]. Начальная фаза магматизма плюмовой природы связывается с внедрением нижнеамурского диорит-гранодиорит-гранитного комплекса, другие фазы магматизма объединены в группы пород позднемелового–раннепалеогенового и неогенового возраста. Очаговые структуры отличаются отчетливой зональностью по ареалам плюмового магматизма: в каждой из них выделяются

ядро, внутренняя, промежуточная и краевая зоны. В ядре каждой из очаговых структур расположены крупные континентальные впадины, сложенные кайнозойскими терригенными осадками. Во внутренней зоне обеих структур магматические комплексы плюмовой природы распространены слабо; они сосредоточены на периферии, в промежуточной и краевой зонах. В промежуточной зоне структур сконцентрированы магматические комплексы позднемелового–раннепалеогенового возраста, а в краевой – кайнозойские вулканы; интрузивные породы нижнеамурского комплекса (K_1) также имеют тенденцию группироваться в краевой зоне.

Зейская современная горячая точка расположена в краевой (градиентной) зоне Мая-Селемджинского плюма. Влияние плюма значительно, поэтому установить эффект воздействия горячей точки, особенно в астеносфере, сложно. В подошве литосферы Зейская точка не выражена. В нижней литосфере горячая точка приурочена к контакту широкой расплывчатой области значительного разуплотнения $(3.300 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3)$ и мощного слоя повышенной плотности $((3.314-3.325) \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3)$. В нижней части коры картируется наклонный слой повышенной плотности, протягивающийся в нижнюю литосферу; очевидно, он трассирует зону поступления плюмового вещества и “базификации”. Выход этого слоя на поверхность совпадает с ареалом горячей точки; он перекрывается согласно залегающим наклонным слоем пониженной плотности (интенсивного гранитоидного магматизма). Глубинная модель хорошо отражает связь горячей точки с Мая-Селемджинским плюмом: разогретое в ядре плюма вещество мантии, поднимаясь к подошве литосферы, растекается в стороны и “выталкивается” на поверхность в ареале Зейской точки. Современная Зейская горячая точка характеризуется интенсивными, хорошо выраженными на плотностных моделях процессами магматизма в коре, крупными магматическими очагами в нижней части литосферы и отсутствием значительного увеличения мощности литосферы (явления плюмового андерплейтинга) [21].

В области северного экзоконтакта Зейской горячей точки картируются докембрийские метаморфогенные образования Гонжинского выступа и Алдано-Станового щита, на остальной части площади залегают палеозойские и мезозойские вулканогенно-осадочные породы (рис. 4). Все они характеризуются пониженными значениями магнитного поля, содержания и отношений ЕРЭ; на их фоне четко выделяются широко распространенные на площади магматические образования различного состава и возраста.

Для удобства они объединены в группы магматических комплексов: докембрийских, раннемеловых (верхнеамурский комплекс, керакская, талданская свиты), позднемеловых–неогеновых (буриндинский комплекс, галькинская, нижнебелогорская свиты). Мезозойско-кайнозойские магматические комплексы включены в состав Дахинганского (Большехинганского) вулканического пояса. Зоны мезозойско-кайнозойского магматизма и региональных гидротермально-метасоматических изменений связаны с крупными разломами и отличаются строгой линейностью. С учетом характеристик отношений ЕРЭ, только группа магматических пород позднемелового–неогенового возраста связана с обогащенными магматическими источниками и имеет плюмовую природу. Раннемеловые магматические породы могли образоваться как с участием коровых магм, так и нижнемантийного источника PR (PREMA) в зонах глубинных разломов Дахинганского вулканического пояса [2, 3, 12, 32]. Следовательно, определить их природу только на основании значений отношений ЕРЭ невозможно и необходимо привлечение других данных. Главная зона мезозойско-кайнозойского магматизма протягивается через центр ареала горячей точки в субширотном направлении, субсогласно оси Дахинганского вулканического пояса. Основной объем этой зоны представлен раннемеловыми магматическими породами. Интрузивные образования буриндинского комплекса (плюмовой природы) протягиваются вдоль оси Дахинганского вулканического пояса тонкими прерывистыми цепочками. В зонах буриндинских гранитоидов развиты ореолы регионального метасоматоза; к ним приурочены основные рудные объекты. Еще одна зона магматизма, аналогичная первой, но менее крупная и выраженная, связанная с глубинным разломом, протягивается через центр ареала горячей точки в северо-западном направлении. По-видимому, магмы плюмовой природы внедрялись в мезозое–кайнозое в узкие ослабленные зоны, образованные ранее.

Анализ таблицы показывает, что Нижнеамурская и Зейская горячие точки близки по многим геологическим признакам, а структурные различия между ними объясняются только стадией развития плюма. На Нижнеамурской площади преобладал магматизм плюмовой природы; кайнозойские вулканы Восточно-Сихотэ-Алинского пояса внедрялись в ослабленные зоны, возникшие за счет воздействия плюма. Напротив, в ареале Зейской горячей точки плюмовый магматизм развит гораздо меньше; он подчинен влиянию структур Дахинганского вулканического пояса и играет вторичную, хотя и рудоопределяющую роль.

Мая-Селемджинский плюм. На двух сечениях плюма (рис. 2а, б) эпицентры наибольшей его актив-

ности связываются с региональными зонами максимального подъема кровли астеносферы и ее значительного разуплотнения. В обоих случаях они коррелируются с глубинной, долгоживущей зоной северо-восточного простирания, протягивающейся по краю Сибирской платформы, в которой закартирован ряд горячих точек. Предполагалось, что вдоль этой линии происходит погружение Амурской литосферной плиты под Алдано-Становой щит [2, 14, 15]. С этой зоной связаны мощные вертикальные столбы разогретого плюмового вещества пониженной плотности, воздымающиеся из астеносферы к подошве литосферы. Структура активной зоны в обоих сечениях характеризуется концентрически-кольцевым строением: в коре и мантийной части литосферы ей соответствуют чередующиеся зоны пониженной и повышенной плотности. Судя по данным сейсмогравитационного моделирования, концентрически-кольцевое распределение различных геолого-структурных зон в региональном плане типично для Мая-Селемджинской структуры в целом. Тем не менее, далеко не все сечения плюма на дневной поверхности будут характеризоваться кольцевой зональностью. Так, разрез плюма на профиле р. Олекма–мыс Невельского (рис. 2а) по строению типичен для современной горячей точки, отличаясь только более значительными размерами: мощный столб вещества пониженной плотности протягивается здесь из астеносферы через нижнюю литосферу в низы коры. Структура на разрезе четко зональна, но вся ее северо-западная часть срезается краем холодной и жесткой Сибирской платформы, под которую она погружается. Поэтому на поверхности структура проявлена как моноклинал; здесь картируются линейные магматические зоны. Структура Мая-Селемджинского плюма на профиле Тында–Амурзет (рис. 2б) также имеет концентрически-кольцевое строение; в ее астеносферном ядре выделяется крупный ареал разуплотнения, который не прослеживается в нижней литосфере. Здесь, прямо над эпицентром плюма, сформировался мощный литосферный корень, представленный магматическими образованиями повышенной плотности. Этот корень прослеживается и в коре, частично перемежаясь с зонами магматических образований пониженной плотности. На поверхности выход структуры соответствует Гонжинскому выступу и его обрамлению, для которого более характерна кольцевая зональность. Таким образом, в литосфере плюма по латерали и вертикали сформировались четкие, хорошо выраженные зоны “базификации” и “гранитизации”, что типично для остывших точек. С другой стороны, наличие разуплотнения в астеносфере свидетельствует о непрекращающемся притоке разогре-

того плюмового вещества. Для крупного Мая-Селемджинского плюма и локальных горячих точек характерны общие геолого-структурные признаки и закономерности. Судя по их набору, Мая-Селемджинская структура находится на промежуточной стадии тектонического развития. По геолого-геофизическим данным, в Амуро-Зейской впадине прослеживается структура, по всем признакам подобная остывшей точке (профиль Тында–Амурзет, рис. 2.б). Она характеризуется прогибом литосферы и отсутствием притока плюмовых масс к ее основанию, а также хорошо выраженной областью “базификации” в коре; литосферный корень еще не сформировался. По устному сообщению Ю.Ф. Малышева, для нее характерен и низкий тепловой поток. С учетом этих признаков была дополнительно выделена Амуро-Зейская остывшая точка; она расположена на периферии мантийного среза Мая-Селемджинской структуры. Этот вывод хорошо согласуется с упомянутой выше моделью циркуляции плюмовых магм: остывшие точки расположены вне контуров плюма на уровне мантии и окружают кольцом ареал его влияния. В этой внешней зоне сосредоточены орогенные и вулканогенные пояса, выделяются ареалы мезозойско-кайнозойских вулканитов среднего-основного состава, типичные для мезозойско-кайнозойских горячих точек.

Анализ данных по другим горячим точкам проводился с использованием мелкомасштабных карт магнитного и гравитационного поля.

Современные горячие точки Приамурья выделяются локальными минимумами поля силы тяжести Δg_b , контрастными (Верхнезейская, Токо, Верхнебуреинская) либо слабовыраженными (Зейская). Контрастные локальные минимумы характеризуются относительными понижениями поля силы тяжести Δg_b на 20–30 мГал, слабовыраженные – понижением на 5–10 мГал. В ареалах горячих точек широко развиты гранитоиды, но приток магм плюмовой природы в кору еще недостаточен. Для остывших точек Приамурья типичны региональные максимумы Δg_b , контрастные (Нижнеамурская) либо слабовыраженные (Верхнеамурская). Характеристики поля отражают объемную проработку литосферы (в основном, коровой ее части) базитовыми магмами плюмовой природы.

Магнитное поле отражает проявленность магматизма, в основном, в верхней и средней коре. Для ареалов Нижнеамурской, в меньшей степени – Токинской и Зейской горячих точек типичны сравнительно контрастные кольцевые региональные аномалии ΔT . В ареале Верхнезейской современной горячей точки кольцевая аномалия ΔT практически незаметна и совершенно не выражена в ареалах Верхнеамурской и Буреинской горячих точек. Высокая сте-

пень проработки земной коры магмами может наблюдаться в ареалах как остывших, так и современных горячих точек. Поэтому по магнитному полю трудно выявить геолого-структурные признаки, характеризующие стадию развития горячей точки.

Ретроспективное изучение ареалов мезозойско-кайнозойских горячих точек Приамурья с помощью комплекса геофизических методов позволяет выявлять основные закономерности их тектонического развития: изменения в верхней коре (развитие зон “гранитизации” и “базификации”), становление литосферного корня в мантийной части литосферы и сопутствующие явления плюмового андерплейтинга, которые создают выраженные геофизические эффекты. Внесены существенные коррективы в положения, выдвинутые А.Ф. Грачевым, а именно: явления плюмового андерплейтинга, литосферный корень, зоны “гранитизации” и “базификации” закономерно возникают на определенных этапах развития горячей точки, с некоторой инерционностью, так как для формирования этих тектонических элементов горячей точки необходимо определенное время. Явления плюмового андерплейтинга не типичны для ряда плюмовых структур, особенно кайнозойских (как предполагал А.Ф. Грачев). Они характерны обычно для остывших структур, завершивших свое тектоническое развитие. Такие горячие точки характеризуются максимальной проявленностью плюмового магматизма, в гравитационном поле им соответствуют четкие локальные аномалии, обычно повышенной интенсивности.

ВЫВОДЫ

1. Мая-Селемджинский плюм (мантийный диапир) и горячие точки Приамурья мезозойско-кайнозойского возраста описываются двумя моделями – остывших и современных горячих точек, геолого-геофизические характеристики которых закономерно различаются.

2. Группа современных, развивающихся плюмоподобных структур характеризуется наличием интенсивного разуплотнения в мантийной части литосферы (отсутствует мощный стержень “базификации”) и значительным разуплотнением в астеносфере, которое отражает приток вещества плюма; явления плюмового андерплейтинга для таких структур не типичны. В коре ареалов горячих точек широко развиты магматические породы различного состава, преимущественно кислого. Таким структурам соответствуют четкие локальные минимумы поля силы тяжести Δg_b протяженностью до первых десятков километров и относительным понижением поля на 20–30 мГал. Для ареалов плюмового магматизма и

сопровождающих их зон региональных гидротермально-метасоматических изменений, выделяющихся на картах отношений ЕРЭ, и структуры связанных с ними рудных районов характерна линейность (связь магматических образований с линейными разломами). Горячие точки, сформированные при участии процессов континентального рифтогенеза, часто коррелируются с крупными континентальными впадинами, для которых типична пониженная мощность литосферы.

3. Глубинное строение остывших плюмовых структур определяется наличием сформированного в той или иной степени литосферного корня, обычно протягивающегося в кору в виде стержня “базификации”, а также прогибом подошвы литосферы либо значительным увеличением ее мощности (явления плюмового андерплейтинга). Такие структуры выражены максимумами поля Δg_g протяженностью от первых десятков до нескольких сот километров и относительным повышением поля на 25–30 мГал. Ареалы разуплотнения (притока расплавленных масс вещества) в астеносфере у таких структур отсутствуют, могут сохраняться остаточные магматические очаги в нижней литосфере, выраженные дефицитом плотности в области формирующегося литосферного корня. В мантийной части литосферы проявленный литосферный корень, контрастно выраженный повышенной плотностью, образуется на самой заключительной стадии развития остывших точек, когда магматическая деятельность полностью прекращена. Ареалы плюмового магматизма и сопровождающих региональных гидротермально-метасоматических изменений, а также структура рудных районов и металлогенические признаки характеризуются выраженной концентрически-кольцевой зональностью. Концентрически-кольцевые ареалы, соответствующие разным фазам плюмового магматизма, хорошо отражены в рельефе, часто выражены и в магнитном поле. За счет интенсивной магматической деятельности на остаточных стадиях формирования структур возможно их проседание и формирование в их ядре небольших континентальных впадин.

4. Две эти модели характеризуют крайние стадии развития малых плюмовых структур (горячих точек): начальную (современные) и конечную (остывшие). На практике могут встречаться промежуточные типы, в строении которых выделяются отдельные элементы, типичные как для первой, так и для второй модели.

5. Проявленность явлений плюмового андерплейтинга определяется интенсивным развитием интрузивного магматизма (магм повышенной вязкости), поэтому все полученные закономерности верны

только для малых плюмовых структур (горячих точек, диапиров). Развитие крупнообъемного интрузивного магматизма проблематично в ареалах крупных плюмов; вполне вероятно, что развитие таких структур характеризуется другими особенностями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Володькова Т.В. Гамма-спектральные поля и распределение золото-редкометалльного оруденения в Нижнеамурском регионе: Автореф. дис.... канд. геол.-минер. наук. Хабаровск, 2000. 28 с.
2. Володькова Т.В. Гамма-спектральные характеристики магматических комплексов плюмовой природы в краевой зоне Сибирской платформы // Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей: Материалы междунар. науч. конф. (X чтения им. А.Н. Заварицкого, 21–22 сент. 2004 г.). Екатеринбург, 2004. С. 331–335.
3. Володькова Т.В. Аномалии отношений радиоактивных элементов и природа рудной минерализации Приамурья // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25, № 4. С. 54–68.
4. Володькова Т.В. Структура плюмов разного ранга и их зональность // Общие и региональные проблемы геотектоники и геодинамики: Материалы XLI Тектонич. совещ. М.: ГЕОС, 2008. Т. 1. С. 161–165.
5. Геологическая карта Хабаровского края. 1:1000000 (Составлена по материалам ФГУГГП “Хабаровскгеология”) / Сост.: А.Ф. Васькин, В.А. Гурьянов, В.Ю. Забродин; Ред. А.Ф. Васькин, Г.В. Роганов; ФГУГП “Дальгеофизика”. Хабаровск, 2004. 1 л.
6. Грачев А.Ф. Идентификация мантийных плюмов на основе изучения вещественного состава вулканитов и их изотопно-геохимических характеристик // Петрология. 2003. Т. 11, № 6. С. 618–654.
7. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г. Глубинная геодинамика. Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1994. 299 с.
8. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика (2-е изд., доп. и перераб.) Новосибирск: Изд-во СО РАН, фил. “ГЕО”, 2001. 409 с.
9. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Внутриплитный вулканизм и его значение для понимания процессов в мантии // Геотектоника. 1983. № 1. С. 28–45.
10. Каплун В.Б. Геоэлектрическое строение Верхнеамурского района по данным магнитотеллурического зондирования // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25, № 4. С. 33–53.
11. Карта полезных ископаемых Хабаровского края. 1: 1000000 (Составлена по материалам ФГУГГП “Хабаровскгеология”) / Сост.: Б.А. Романов, Е.А. Тиньков; Ред. А.Ф. Васькин, Г.В. Роганов; ФГУГГП “Дальгеофизика”. Хабаровск, 2004. 1 л.
12. Коваленко В.И., Ярмлюк В.В., Ковач В.П. и др. Корообразующие магматические процессы и структура коры и мантии при формировании Центрально-Азиатского складчатого пояса: Sm-Nd изотопные данные // Тектоника, геодинамика и процессы магматизма и метаморфизма: Материалы XXXII Тектонич. совещ. Т. 1. М.: ГЕОС, 1999. С. 302–306.
13. Кременецкий А.А., Минцер Э.Ф. и др. Эволюция рудно-магматических систем – основа прогноза, поисков и оценки золото-редкометалльных месторождений // Разведка и охрана недр. 1996. № 8. С. 29–34.

14. Крупные и суперкрупные месторождения: закономерности размещения и условия образования / Под ред. акад. Д.В. Рундквиста. М.: ИГЕМ РАН, 2004. С. 423–430.
15. Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых (в 3-х томах). Т. 3. Кн. 1. Стратегические виды рудного сырья Востока России. М.: ИГЕМ РАН, 2006. С. 107–130.
16. Малышев Ю.Ф., Горнов П.Ю., Карсаков Л.П. и др. Литосфера области сочленения Тихоокеанского и Центрально-Азиатского складчатых поясов // Тектоника и геофизика литосферы: Материалы XXXV Тектон. Совещ. Т.1. М.: ГЕОС, 2002. С. 325–328.
17. Мартынюк М.В., Рямов С.А., Кондратьева В.А. Объяснительная записка к схеме расчленения и корреляции магматических комплексов Хабаровского края и Амурской области (Отчет по теме № 330 за 1987–1990 гг.) Хабаровск, 1990. 215 с.
18. Планета Земля: Энциклопед. спр. Т. 1. Тектоника и геодинамика / Ред. Л.И. Красный, О.В. Петров, Б.А. Блюман. МПР, ВСЕГЕИ. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. 652 с.
19. Подгорный В.Я. Методика послонного определения плотности // Тихоокеан. геология. 1995. Т. 14, № 6. С. 103–108.
20. Подгорный В.Я. Послойное плотностное моделирование литосферы (на примере юга российского Дальнего Востока и Северо-Востока Китая): Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. Хабаровск, 1999. 30 с.
21. Проблемы глобальной геодинамики: Материалы Теоретического семинара ОГГГП РАН, 1998-1999 гг. / Под ред. акад. Д.В. Рундквиста. М.: ГЕОС, 2000. 246 с.
22. Пучков В.Н. “Великая дискуссия” о плюмах: так кто же все-таки прав? // Геотектоника. 2009. № 1. С. 3–22.
23. Романовский Н.П., Малышев Ю.Ф., Горошко М.В. Палеозойский гранитоидный магматизм восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса и формирование крупных месторождений // Тихоокеан. геология. 2008. Т. 27, № 2. С. 46–61.
24. Рундквист Д.В., Ряховский В.М., Миронов Ю.В. и др. Существует ли универсальный Sr-Nd-Pb изотопный индикатор мантийных плюмов? // Докл. РАН. 2000. Т. 370, № 2. С. 223–226.
25. Рябчиков И.Д. Механизм и условия магнообразования в мантийных плюмах // Петрология. 2003. Т. 11, № 6. С. 548–555.
26. Сафонова И.Ю., Буслов М.М. Палеоокеанические острова и поднятия в аккреционно-коллизонных поясах палеоазиатского океана, палеопацифики и пацифики // Тектоника и металлогения Северной Циркум-Пацифики и Восточной Азии: Материалы конф., посвящен. памяти Л.В. Парфенова, Хабаровск, 11–16 июня 2007 г. Хабаровск, 2007. 584 с.
27. Сахно В.Г. Позднемезозойско-кайнозойский континентальный вулканизм Востока Азии. Владивосток: Дальнаука, 2002. 336 с.
28. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов: Объясн. зап. к Тектонической карте. 1: 1500000. Владивосток-Хабаровск: ДВО РАН, 2005. 246 с.
29. Филатова Н.И. Связь кайнозойского вулканизма окраинно-континентальных зон растяжения Евразии с тектоно-магматическими событиями в Тихом океане // Тектоника и геофизика литосферы: Материалы XXXV Тектонич. совещ. Т. 1. М.: ГЕОС, 2002. 368 с.
30. Хаин В.Е., Короновский Н.В. Планета Земля от ядра до ионосферы. Учеб. пособие. М.: КДУ, 2007. С. 23–34.
31. Шевченко Б.Ф., Каплун В.Б. Глубинное строение и кинематика области сочленения Евразийской и Амурской литосферных плит (Монголо-Охотское звено) // Тихоокеан. геология. 2005. Т. 24, № 6. С. 16–25.
32. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И. Глубинная геодинамика, мантийные плюмы и их роль в формировании Центрально-Азиатского складчатого пояса // Петрология. 2003. Т. 11, № 6. С. 556–586.
33. Geological Map of the Amur Region and adjacent areas: 1:2 500 000.: Brief Explanatory Note / L.I. Krasnyi, A.S. Volskii, Peng Yunblao... MPR of Russia; VSEGEI; AMUR KPR; Ministry of Geology and Mineral Resources of People's Republic of China; Bureau of Geology and Mineral Resources of Heilongjiang Province. Sankt-Peterburg; Blagoveshchensk; Harbin: St-Peterburg–Blagoveshchensk–Harbin, 1999. 27 p.: map 4 p.
34. Deep-seated Magmatism, its Sources and Plumes // Proceedings of the VI International Conference. Mirny: Publishing House of the Institute of Geography SB. RAS, 2005. V. 1. 225 p.
35. Large Igneous Provinces of Asia, Mantle Plumes and Metallogeny: Abstracts of the International Symposium. Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, 2007. 225 p.

Рекомендована к печати Ю.Ф. Малышевым

T.V. Volodkova, V.Ya. Podgorny

Geologic-geophysical characteristics of hot spots of Priamurye

Models of dead and present-day hot spots of Priamurye have been constructed based on seismogravitational modeling and large-scale aerogeophysical survey along with other geologic-geophysical materials. Mechanisms of the change of the deep structure of the hot spots and Maya-Selemdzha plume in the course of evolution are considered, and also some features of the related ore districts are examined.

Key words: plumes, hot spots, seismogravitational modeling, natural radioactive elements ratios, Priamurye, Far East.