

**СОПОСТАВЛЕНИЕ АРЕАЛОВ ПОЗДНЕМЕЗОЗОЙСКОГО И КАЙНОЗОЙСКОГО
ВНУТРИПЛИТНОГО МАГМАТИЗМА ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ И ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ
РЕКОНСТРУКЦИИ ЛОКАЛИЗАЦИИ АНОМАЛЬНОЙ МАНТИИ**

Д.В. Коваленко

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

Реконструировано пространственное положение вулканических областей Центрально-Азиатской внутриплитной вулканической провинции в позднем мезозое и кайнозое. Установлено, что области аномальной мантии, с которыми связан магматизм Центрально-Азиатской провинции внутриплитного магматизма, меняли свою конфигурацию в мелу и кайнозое. В начале раннего мела области аномальной мантии занимали пространство от 42° до 61° N (около 2000 км по широте). Возможно, в течение мела положение областей аномальной мантии было стационарным в пространстве. Магматизм провинции проявлялся в областях литосферы Евразийской плиты с пониженной мощностью, сопоставимой или меньшей мощности литосферы океанической коры. Позднемезозойские магмы в основном выплавлялись из гидратированных мантийных источников с изотопными составами PREMA и EM-II. В раннем кайнозое (50 млн лет назад) активность области аномальной мантии была значительно ниже, чем в раннем мелу. Магматические расплавы генерировались только в двух областях мантии — очень локальной Южно-Хангайской горячей точке и, по-видимому, в довольно обширной (не менее 800 км по ширине) области мантии к северу и северо-востоку от нее. В целом аномальная мантия занимала пространство от 46° до 59° N, около 1300 км по широте. Выплавливались магмы типа OIB, источники магматизма были слабо гидратированы и характеризовались изотопным составом типа PREMA и EM-I. В миоцене в мантии, вероятно, был новый «выброс» разогретого разуплотненного аномального вещества, который привел к резкой активизации магматизма и расширению размеров вулканической провинции до 2 тыс. км по широте. Литосфера во всех вулканических областях характеризовалась малой мощностью, в том числе и вдоль всей траектории Евразии над Южно-Хангайской горячей точкой.

Вулканизм, палеомагнитные полюсы, полюс вращения, аномальная мантия, литосфера.

**A COMPARISON OF LATE MESOZOIC AND CENOZOIC INTRAPLATE MAGMATIC AREAS
IN CENTRAL ASIA AND PALEOMAGNETIC RECONSTRUCTIONS
OF THE ANOMALOUS-MANTLE LOCATION**

D.V. Kovalenko

The Late Mesozoic and Cenozoic location of volcanic zones in the Central Asian intraplate volcanic province has been reconstructed. The anomalous-mantle regions related to magmatism in the province changed in shape in the Cretaceous and Cenozoic. In the early Early Cretaceous, the anomalous-mantle regions spanned from 42° to 61°N (about 2000 km in latitude), and their location might have remained unchanged throughout the Cretaceous. Magmatism in the province took place in the lithospheric regions of the Eurasian Plate with a thickness close to or smaller than that of the oceanic lithosphere. Late Mesozoic magmas originated mainly from hydrated mantle sources with isotopic compositions typical of PREMA or EM-II. In the Early Cenozoic (50 Ma) the anomalous mantle was considerably less active than in the Early Cretaceous. Magmatic melts were generated only in two mantle regions: the local South Hangay hotspot and, apparently, the fairly extensive (at least 800 km wide) mantle region north and northeast of it. The entire anomalous mantle spanned from 46° to 59°N (about 1300 km in latitude). Magmas of OIB type originated from slightly hydrated sources with isotopic compositions typical of PREMA or EM-I. In the Miocene, the mantle might have again “ejected” heated decompressed anomalous matter. The ejection led to an outburst of magmatism and expansion of the volcanic province up to 2000 km in latitude. The lithosphere in all the volcanic zones was thin, including the entire Eurasian territory over the South Hangay hotspot.

Volcanism, paleomagnetic poles, pole of rotation, anomalous mantle, lithosphere

ВВЕДЕНИЕ

Позднемезозойско-кайнозойские внутриплитные магматические образования, сосредоточенные между Сибирской и Северо-Китайской платформами, объединяются в Центрально-Азиатскую внутриплитную вулканическую провинцию (ЦАВВП) [Ярмолюк и др., 1995]. Ее формирование связывается с действием области разуплотненной мантии («горячего поля мантии», по [Ярмолюк и др., 1995]), выделяемой в разных районах на глубинах 50—200 или 200—350 км по замедлению скоростей прохождения сейсмических волн [Yanovskaya, Kozhevnikov, 2003]. В пределах вулканической провинции выделяется ряд вулканических областей — Центрально-Алданская, Западно-Забайкальская, Южно-Байкальская, Южно-Хангайская, Восточно-Монгольская и Даригангская (рис. 1) [Ярмолюк и др., 1995]. Магматизм в провинции продолжался в течение последних 150 млн лет, но наиболее мощные вспышки были в начале раннего мела и миоцене [Ярмолюк и др., 1995] (рис. 2). Синхронность этапов магматизма в вулканических областях свидетельствует о едином глубинном процессе, ответственном за формирование большинства вулканогенных комплексов провинции. Исследования геохимического и изотопного составов пород показали, что позднемезозойские магмы в основном выплавлялись из гидратированных мантийных источников с изотопными составами PREMA и EM-II, а кайнозойские — из источников с изотопными составами PREMA и EM-I с умеренным содержанием воды [Ярмолюк и др., 1995; Rasskazov et al., 2004; Демонтерова и др., 2007; Чувашова и др., 2007; и др.]. В то же время ксенолиты гранатовых и шпинелелевых перидотитов из кайнозойских лав характеризуются ультрадеплецированным изотопным составом ($\epsilon_{Nd}(T)$ большинства ксенолитов — от +8 до +16) [Самойлов и др., 1998; Ionov, 2002]). Следовательно, источники кайнозойских и, вероятно, позднемезозойских магматических расплавов находились глубже участков деплецированной мантии, из которых были захвачены ксенолиты. Возможно, ксенолиты представляют литосферную деплецированную мантию, а магматические расплавы были сформированы глубже в астеносфере. Изотопный состав гелия кайнозойских магматических пород Южно-Хангайской вулканической области Монголии также характерен для подлитосферных источников [Жукова и др., 2007]. Существуют разные модели, объясняющие особенности магматизма Центрально-Азиатской вулканической провинции. В работах [Ярмолюк и др., 1995; Ярмолюк, Иванов, 2000; Ярмолюк, Воронцов, 2007] магматизм провинции связывается с действием нижнемантийного плюма. Авторы же работ [Зорин, Турутанов, 2005] считают, магматизм возник из-за «стагнирования» субдущиванной океанической плиты на границе верхней и нижней мантии. В обеих моделях предполагаются подлитосферные источники магматических расплавов. Если это так, то вулканические области смещены относительно их мантийных источников из-за перемещения Евразийской литосферной плиты, т.е. современная конфигурация мезозойских

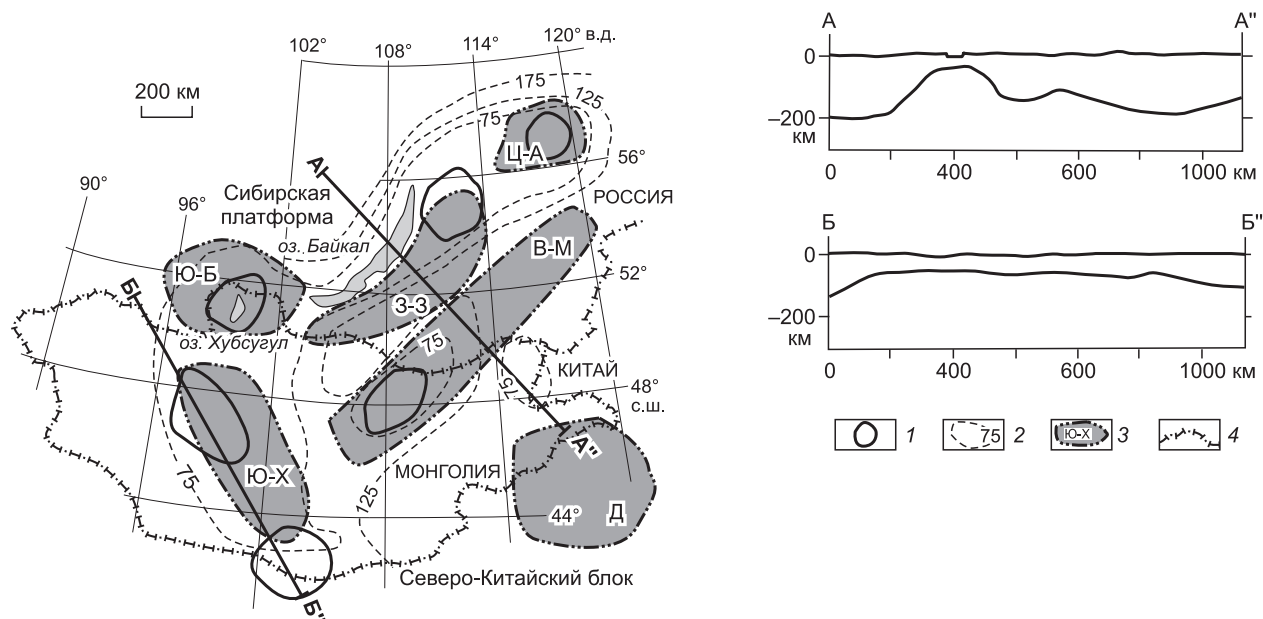























Рис. 1. Современное положение вулканических областей Центрально-Азиатской провинции внутриплитного магматизма [Ярмолюк и др., 1995].

1 — горизонтальные сечения стволочных частей плюмов, по [Зорин, Турутанов, 2005]; 2 — изолинии толщины литосферы, по [Зорин, Турутанов, 2005]; 3 — вулканические области: Ц-А — Центрально-Алданская, Ю-Б — Южно-Байкальская, 3-3 — Западно-Забайкальская, Ю-Х — Южно-Хангайская, В-М — Восточно-Монгольская, Д — Даригангская; 4 — границы государств.

| Область | Эпоха магматизма | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|---|---|---|--|---|-----------------------------|--|---|
| | J ₃ | K ₁ ¹ | K ₁ ² | K ₁ ³ | K ₂ ¹ | K ₂ ² | P ₁₋₂ | P ₃ | N ₁ ¹ | N ₁ ² | N ₂ | Q |
| Южно-Хангайская | т т 160 | ц ц 5000 |  30 | ц ц 500 | ц ц 20 |  25 | ц ц 50 |  250 |  950 | ц ц 60 |  300 |  |
| Западно-Забайкальская | т т 2000 | ц ц 10 000 | т т  20 | ц ц 1000 |  20 |  10 |  10 |  20 |  1500 | ц ц 300 |  10 |  |
| Центрально-Алданская | т т | т т | т т | т т | | | | |  200 | ц ц 600 |  10 |  |
| Восточно-Монгольская | | ц ц 60 000 |  2000 | ц ц 1000 | | | | | | | | |
| Южно-Байкальская | | | | | | | | ц ц 10 | ц ц 2000 | ц ц 200 |  100 |  |
| Даригангская | | | | | | | | | ц ц | ц ц | ц ц |  |

 1  2  3  4  5

Рис. 2. Эпохи магматизма Центрально-Азиатской провинции внутриплитного магматизма [Ярмолюк и др., 1995].

Ассоциации: 1 — с преобладанием щелочно-салических пород; 2 — с преобладанием субщелочных основных пород; 3 — щелочных и субщелочных основных пород; 4 — с преобладанием щелочно-основных пород; 5 — кислых субщелочных пород. Цифры — объемы магматических продуктов (км³).

и, по крайней мере, раннекайнозойских вулканических областей не соответствует конфигурации аномальной мантии в те периоды времени, когда из нее были выплавлены магматические расплавы. В данной работе мы с помощью палеомагнитного метода попытались установить, какова была конфигурация аномальной мантии Центральной Азии в различные периоды позднего мезозоя и кайнозоя, какие области магматизма Центрально-Азиатской вулканической провинции могут рассматриваться как «след» от стационарной горячей точки мантии, с какими особенностями строения литосферы эти следы связаны.

СТРОЕНИЕ ПОЗДНЕМЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКОЙ ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОЙ ВНУТРИПЛИТНОЙ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Центрально-Азиатская внутриплитная вулканическая провинция включает Центрально-Алданскую, Западно-Забайкальскую, Южно-Байкальскую, Южно-Хангайскую, Восточно-Монгольскую и Даригангскую вулканические области, каждая из которых автономна пространственно и структурно (см. рис. 1) [Ярмолюк и др., 1995]. Развитие областей было многоэтапным. Магматические проявления того или иного этапа пространственно локализованы, что позволяет выделять в строении областей разновозрастные ареалы магматизма.

Южно-Хангайская область объединяет поля позднемезозойских—кайнозойских вулканитов Южной и Центральной Монголии, которые залегают на докембрийских, раннекаледонских и герцинских комплексах основания. На протяжении раннего мезозоя территория области была амагматичной. Внутриплитный магматизм в регионе начался в поздней юре и продолжался в течение позднего мезозоя и кайнозоя (см. рис. 2).

Вулканизм позднеюрской эпохи представлен ассоциациями щелочных пород, включающими меланонэфелиниты, фонолиты, трахиты, латиты и карбонатиты. Возраст их формирования определяется в интервале 155—140 млн лет. Вулканогенные комплексы приурочены к субширотным разломам Гоби-Алтайской системы, вдоль которых в раннем мелу была заложена одноименная рифтовая зона.

Раннемеловой (136—105 млн лет) вулканизм был связан с развитием Гоби-Алтайской рифтовой зоны. В это время изливались большие объемы субщелочных платобазальтов и формировались разрозненные вулканы, сложенные туфами и лавами онгориолитов и трахириолитов.

Вулканизм позднего мела (103—70 млн лет) характеризуется резким сокращением масштабов. Формировались моногенные лавовые купола, штоки, лакколлиты, силлы, дайки и небольшие лавовые поля субщелочных базальтов. Центры вулканизма контролировались структурами восточной части Гоби-Алтайской рифтовой зоны, а также разломами северо-западного и субширотного простирания к югу от нее.

Кайнозойские ареалы вулканизма Южно-Хангайской вулканической области выстраиваются в отчетливую цепочку север-северо-западного простирания. Возраст ареалов закономерно омолаживается в этом же направлении. Палеоцен-раннеэоценовый (62—47 млн лет) ареал сосредоточен по обрамлению хр. Гурбан-Сайхан. Маломощные лавовые поля сложены субщелочными оливиновыми базальтами. Раннеолигоценовый (37—31 млн лет) ареал включает лавовые поля, сконцентрированные между хребтами Сэврэй и Ноен, и отдельные экструзии и лавовые поля в обрамлении хр. Арц-Богд. Они сложены трахиандезибазальтами. Позднеолигоцен-раннемиоценовый (30—15 млн лет) ареал расположен в Долине Озер. В его пределах было сформировано лавовое плато щелочных базальтов. Среднемиоцен-голоценовые (<15 млн лет) ареалы лавовых полей щелочных базальтов расположены в районе Хангайского нагорья, в бассейнах рек Орхон, Хануй, Чулуту.

Западно-Забайкальская область объединяет вулканические поля позднего мезозоя—кайнозоя, контролируемые системой северо-восточных рифтогенных впадин и грабенов, протянувшихся от верховьев р. Джида до р. Витим. Фундаментом для вулканических областей служат комплексы пород докембрия и палеозоя.

Позднеюрский магматизм проявился в Малохамардабанском, Тугнуйском и Хилокском грабенах. В составе вулканических ассоциаций участвуют трахибазальты, трахиандезибазальты, трахиты, трахидациты, реже комендиты, нефелиниты, фонолиты. В раннемеловую эпоху произошли самые крупные вулканические извержения. Они совпали с пиком процессов рифтогенеза в Западно-Забайкальской вулканической области.

Наиболее распространены толщи субщелочных платобазальтов (140—130 млн лет), заполняющие впадины от Северной Монголии до р. Витим. В меньшей степени распространены кислые вулканогенные породы — трахириолиты, трахидациты, а также тефриты, нефелиниты, фонолиты и трахиты (127—120 млн лет). В конце раннего мела (116—106 млн лет) произошла новая вспышка субщелочного базальтового вулканизма. В позднем мелу были сформированы толщи щелочной ассоциации Боргойской впадины, представленные тешенитами, трахибазальтами и щелочными базальтами (103—90 млн лет), а также маломощные вулканические толщи меланефелинитов, базанитов и нефелин-нормативных базальтов в Хилокском и Удинском грабенах и в районе Витимского плато (78—67 млн лет). В кайнозое были сформированы эоценовые (53—38 млн лет) лавовые поля базанитов, нефелинсодержащих базальтов в Хилокском и Удинском грабенах и на Витимском плоскогорье. Олигоценовые (34—27 млн лет) проявления вулканизма установлены в Хилокском грабене и на Витимском плато. Позднекайнозойская (21—2 млн лет) вулканическая активность была практически полностью сосредоточена на Витимском плато, в пределах которого сформировались толщи субщелочных оливиновых базальтов, базанитов и лимбургитов.

Центрально-Алданская область объединяет разновозрастные магматические ассоциации на территории Центрального Алдана. В развитии магматизма области выделяются позднемезозойский и позднекайнозойский периоды, разделенные магматической паузой. В позднем мезозое (160—100 млн лет) сформировались мощные толщи калиевых щелочных пород — шонкинитов, фергуситов, лейцититов, фонолитов, щелочных трахитов, эссекситов, щелочных гранитов. Позднекайнозойский (14—2 млн лет) период представлен вулканическими толщами Удоканского плато, сложенного оливиновыми базальтами, базанитами, муджиеритами, бенморейтами, щелочными трахитами. Калиевая специализация пород резко отличает магматизм Центрального Алдана от магматизма других вулканических областей провинции.

Восточно-Монгольская область охватывает раннемеловые вулканические поля Восточной Монголии и Восточного Забайкалья. Формирование пояса было сопряжено с образованием линейной системы грабенов и горстов северо-восточного простирания. Нижние толщи представлены субщелочными базальтами и андезибазальтами. Выше залегают толщи трахириолитов и трахидацитов, которые сопровождаются интрузиями лейкогранитов и литий-фтористых гранитов. Наиболее поздними являются покровы субщелочных базальтов, переслаивающиеся с апт-альбскими осадочными породами. С конца раннего мела магматическая деятельность в пределах области не возобновлялась.

Южно-Байкальская область охватывает позднекайнозойские вулканические поля, сформированные у южной части Байкала — в хр. Хамар-Дабан, по обрамлению оз. Хубсугул, в Тункинской впадине и Восточной Туве. На этой территории практически отсутствуют позднемезозойские и раннекайнозойские вулканические поля. В пределах области формировались поля субщелочных оливиновых базальтов в позднем олигоцене (34—24 млн лет), миоцене (20—8 млн лет), плиоцене и плейстоцене—голоцене.

Даригангская область представляет собой цепь лавовых полей субщелочных оливиновых базальтов, базанитов, тефритов, гавайитов, муджиеритов, протянувшихся из Северо-Восточного Китая до Юго-Восточной Монголии. Вулканизм в области начался в раннем миоцене (23 млн лет) и продолжался до голоцена.

По оценкам, приведенным в работе [Ярмолюк и др., 1995], в вулканических областях проявляется корреляция объемов и составов продуктов магматизма в различные периоды времени (см. рис. 2). Наибо-

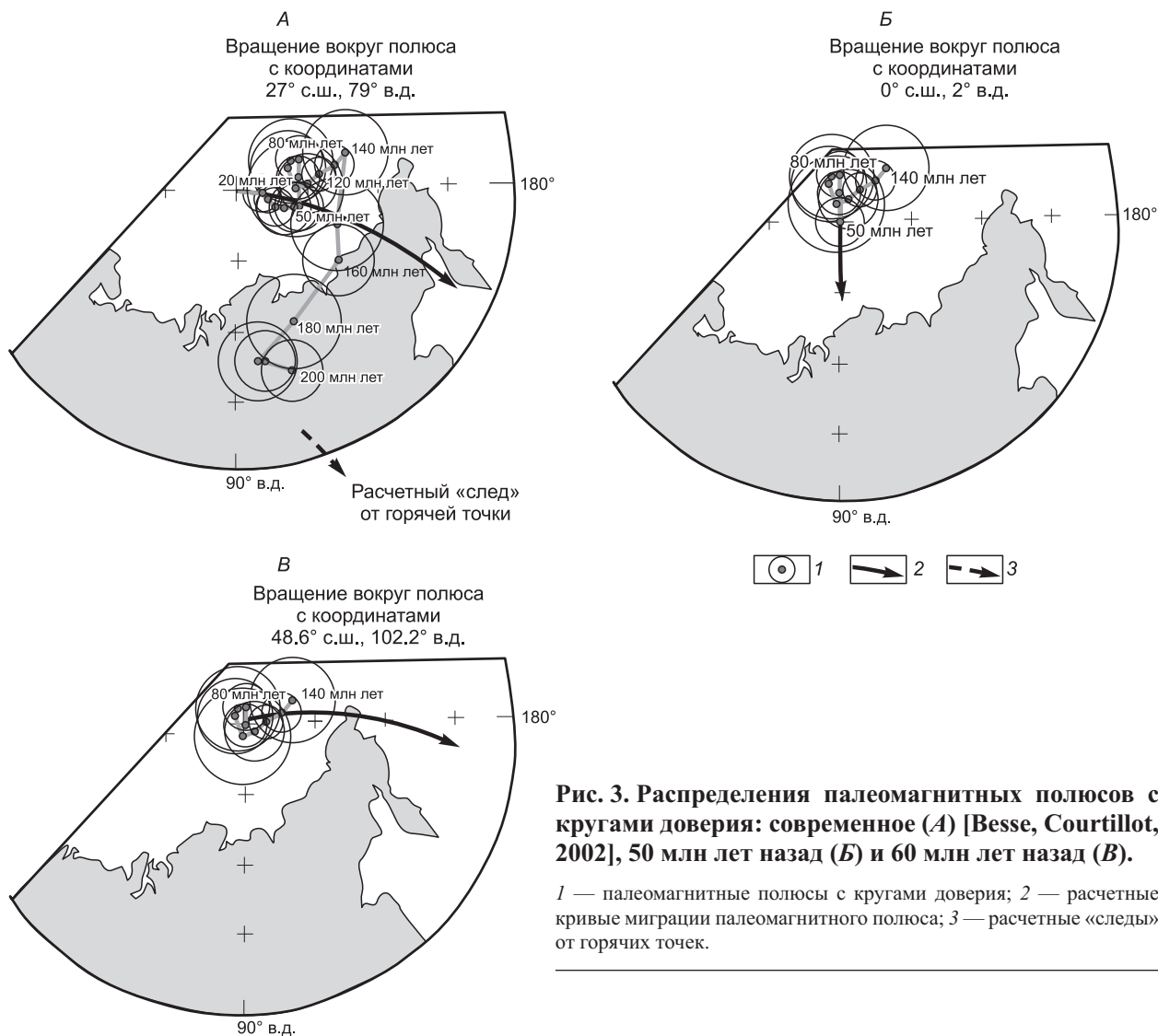


Рис. 3. Распределения палеомагнитных полюсов с кругами доверия: современное (А) [Besse, Courtillot, 2002], 50 млн лет назад (Б) и 60 млн лет назад (В).

1 — палеомагнитные полюсы с кругами доверия; 2 — расчетные кривые миграции палеомагнитного полюса; 3 — расчетные «следы» от горячих точек.

лее мощные вспышки активности вулканизма были в начале раннего мела и в миоцене. Синхронность этапов магматизма в вулканических областях свидетельствует о едином глубинном процессе, ответственном за формирование большинства вулканогенных комплексов провинции.

Палеомагнитные данные. На рис. 3, А показано распределение палеомагнитных полюсов в системе координат Земли за последние 200 млн лет [Besse, Courtillot, 2002]. На позднемезозойско-кайнозойском участке кривой кажущейся миграции палеомагнитного полюса Земли выделяются два различающихся по простираанию сегмента — 0—50 и 60—140 млн лет, которые можно использовать для приблизительного расчета координат полюсов вращения Евразии в эти периоды. Распределение кайнозойских палеомагнитных полюсов (0—50 млн лет) хорошо увязывается в пределах их кругов доверия с расчетной кривой миграции палеомагнитного полюса при повороте Евразии на 10—15° по часовой стрелке вокруг полюса вращения в районе Южного Тибета (27° N, 79° E) (см. рис. 3, А, табл. 1). Палеомагнитные полюсы для периода 50—140 млн лет характеризуются значительным разбросом и определены с большими кругами доверия, чем кайнозойские. Поэтому расчет по ним полюсов вращения Евразии не может дать однозначных результатов. Мы в пределах доверительных интервалов палеомагнитных полюсов рассматриваем их распределение как результат вращения Евразии вокруг двух полюсов — 0° N, 2° E на 3.5° против часовой стрелки в интервале 50—60 млн лет и вокруг полюса 48.6° N, 102.2° E на 10—15° по часовой стрелке в интервале времени 60—140 млн лет (рис. 3, Б, В, табл. 1, 2).

Вращая любые геометрические множества точек Евразии вокруг этих полюсов вращения в обратную сторону, мы можем приблизительно реконструировать координаты этих точек в прошлом.

Чтобы выяснить, являлись ли мантийные источники позднемезозойских и кайнозойских магм стационарными горячими точками, необходимо проверить выполнение двух условий:

Таблица 1. Географические координаты расчетных палеомагнитных полюсов

| Угол (град.) вращения Евразии вокруг полюса вращения 27° N, 79° E | Координаты расчетного палеомагнитного полюса (см. рис. 3) | | Угол (град.) вращения Евразии вокруг полюса вращения 48.6° N, 102.2° E | Координаты расчетного палеомагнитного полюса (см. рис. 3) | |
|---|---|-------------|--|---|-------------|
| | широта (N) | долгота (E) | | широта (N) | долгота (E) |
| 0 | северный полюс | | 0 | северный полюс | |
| 5 | 85.5 | 173.4 | 5 | 86 | 188.5 |
| 10 | 81 | 169 | 10 | 83 | 189 |
| 15 | 76 | 167 | 15 | 79 | 188 |

Таблица 2. Географические координаты палеомагнитных полюсов Евразии после разных этапов вращения

| Время (млн лет), для которого определен палеомагнитный полюс Евразии [Besse, Courtillot, 2002] | Координаты палеомагнитных полюсов после вращения вокруг полюса | | | |
|--|--|-------------|--|-------------|
| | 27° N, 79° E против часовой стрелки на 10° (см. рис. 3) | | 0° N, 2° E по часовой стрелке на 3.5° (см. рис. 3) | |
| | широта (N) | долгота (E) | широта (N) | долгота (E) |
| 60 | 86.3 | 271.6 | 89.9 | 270 |
| 70 | 84 | 272.7 | 87.5 | 274.1 |
| 80 | 84.13 | 283.5 | 87.4 | 299.6 |
| 90 | 84.8 | 290.6 | 87.8 | 321.5 |
| 100 | 87.9 | 284.8 | 88.5 | 73.6 |
| 110 | 87 | 248.2 | 88.6 | 149.6 |
| 120 | 85.7 | 227.9 | 87 | 174.2 |
| 130 | 82.7 | 229.5 | 84.7 | 203 |
| 140 | 80.3 | 229.7 | 82.5 | 211.6 |

– палеошироты формирования разновозрастных ареалов магматизма в вулканических областях должны совпадать с современной широтой наиболее молодого ареала;

– пространственное распределение ареалов кайнозойского магматизма («следа» от горячей точки) в вулканических областях и сегмента кривой миграции палеомагнитного полюса для того же интервала времени должно описываться вращением Евразии вокруг одного и того же полюса вращения.

Реконструкция для кайнозоя (0—50 млн лет). В пределах ЦАВВП есть две вулканические области, магматизм в которых был активен в течение всего кайнозоя — Западно-Забайкальская и Южно-Хангайская [Ярмолюк и др., 1995; Ярмолюк, Воронцов, 2007; Ярмолюк и др., 2007]. Ареалы магматизма Южно-Хангайской вулканической области на площади вытянуты в отчетливую цепочку север-северо-западного простирания. Возраст пород ареалов закономерно омолаживается в север-северо-западном направлении [Ярмолюк и др., 2007]. Кайнозойские ареалы магматизма Западно-Забайкальской зоны не образуют явно выраженных цепочек и, по крайней мере, в двух грабенах залегают в единой стратиграфической последовательности [Ярмолюк, Иванов, 2000; Ярмолюк, Воронцов, 2007].

На рис. 4 показаны палеошироты формирования магматических пород кайнозойских ареалов магматизма Южно-Хангайской вулканической области, рассчитанные из палеомагнитных полюсов для Евразии [Besse, Courtillot, 2002]. Видно, что палеошироты всех ареалов совпадают в пределах их довери-

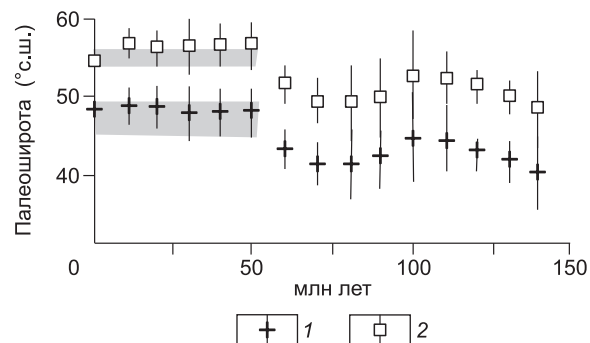


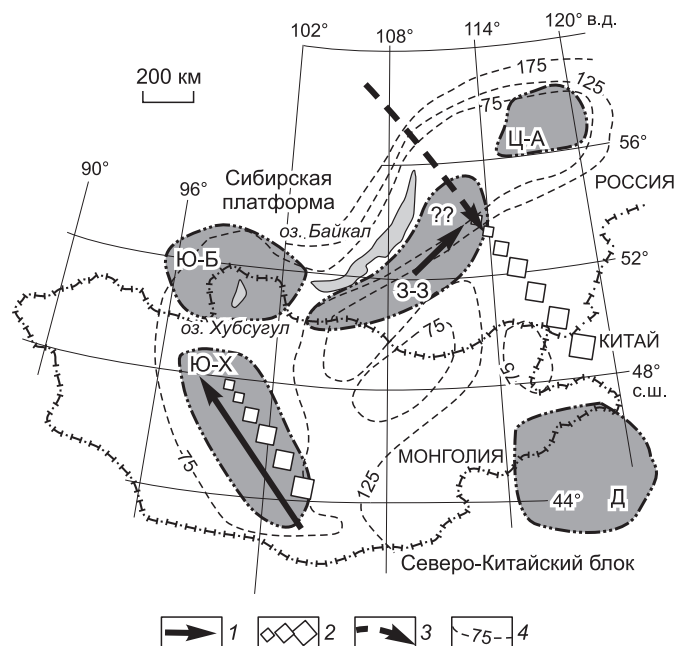
Рис. 4. Палеошироты формирования разновозрастных магматических ареалов Южно-Хангайской и Западно-Забайкальской вулканических областей.

1, 2 — палеошироты с доверительными интервалами для магматических ареалов Южно-Хангайской области (1) и Западно-Забайкальской области (2). Серым цветом показаны широтные интервалы проекций на земную поверхность выступов аномальной мантии, с которыми связывается магматизм вулканических областей. Географические координаты ареалов, использованные в расчетах: Южно-Хангайская область — 10 млн лет — 47 N, 102 E; 20 млн лет — 45.9 N, 100.3 E; 30—40 млн лет — 44 N, 102.5 E;

Западно-Забайкальская область — 10 млн лет — 54.2 N, 113.6 E; 20 млн лет — 52.3 N, 109.5 E; 30—50 млн лет — 52.1 N, 109.3 E; 60—140 млн лет — 51 N; 108 E. Палеомагнитные полюсы, по [Besse, Courtillot, 2002].

Рис. 5. Пространственное положение вулканических областей в кайнозое.

1 — тренды омоложения кайнозойских вулканических ареалов в пределах вулканических областей; 2 — расчетные «следы» от горячих точек за период 50—0 млн лет; размер значков уменьшается в сторону омоложения пород; 3 — расчетные траектории перемещения за период 50—0 млн лет; 4 — изолинии постоянных мощностей литосферы, цифры — мощность литосферы (км) [Зорин, Турутанов, 2005].



тельных интервалов с палеоширотой наиболее молодого ареала и современной широтой астеносферного выступа аномальной мантии Монголии — 45°—51° с.ш.

Как было показано выше, распределение кайнозойских палеомагнитных полюсов, соответствующих периоду формирования ареалов магматизма Южно-Хангайской вулканической области (50—0 млн лет), можно описать вращением Евразии на 10°—15° вокруг полюса вращения в районе Южного Тибета (27° N, 79° E). При таком вращении Евразии «след» от горячей точки в районе Монголии должен характеризоваться приблизительно север-северо-западным простиранием (рис. 5, табл. 3). Именно так и простираются ареалы кайнозойского магматизма Южно-Хангайской вулканической области Монголии (рис. 6).

Палеошироты кайнозойских ареалов магматизма Западно-Забайкальской вулканической области не различаются статистически, но в целом магматические породы эоцен-олигоценых ареалов формировались на более северных палеоширотах, чем наиболее молодые позднекайнозойские толщи Витимского плато (см. рис. 4). Пространственное распределение ареалов магматизма резко не соответствует расчетному «следу» от стационарной горячей точки (см. рис. 5, табл. 3), современное положение которой предполагалось в районе наиболее молодого Витимского плато.

Таким образом, палеомагнитные данные показывают, что кайнозойские ареалы магматизма Южно-Хангайской вулканической области Монголии могут быть «следом» от прохождения литосферной плиты Евразии над узколокализованной горячей точкой мантии Земли, расположенной сейчас под северной частью Монголии (см. рис. 5, 6, 7, А). Формирование же вулканических ареалов Западно-Забайкальской области могло протекать по-разному. На рис. 8 приведены реконструкции географического положения вулканических областей для 50 млн лет и позднего кайнозоя. Видно, что 50 млн лет назад Западно-Забайкальская область располагалась на более северных широтах, чем в позднем кайнозое. Вместе с Евразийской литосферной плитой она перемещалась с северо-запада на юго-восток. Все это время в ней продолжался магматизм, который протекал в одних и тех же грабенообразных структурах. Кайнозойские магматические комплексы Западно-Забайкальской области залегают в единой стратиграфической последовательности. Центры магматизма незначительно мигрировали в течение кайнозоя друг относительно друга и не образуют вытянутых в пространстве цепочек [Ярмолюк, Иванов, 2000; Ярмолюк, Воронцов, 2007]. Значит источники магм, с которыми был связан вулканизм этой области, располагались в разных точках мантии. Возможно, (а) мантийные источники магматизма перемещались вместе с литосферной

Таблица 3. Географические координаты предполагаемого «следа» и траектории перемещения Южно-Хангайской и Западно-Забайкальской области в кайнозое (0—50 млн лет)

| Угол (град.) вращения Евразии вокруг полюса вращения 27° N, 79° E | Координаты расчетного «следа» Южно-Хангайской области (для т. 48° N, 100° E) | | Координаты расчетного «следа» Западно-Забайкальской области (Витимское плато, 54.2° N, 113.6° E) | | Координаты расчетной траектории Западно-Забайкальской области (Витимское плато, 54.2° N, 113.6° E) | |
|---|--|-------------|--|-------------|--|-------------|
| | широта (N) | долгота (E) | широта (N) | долгота (E) | широта (N) | долгота (E) |
| 0 | 48 | 100 | 54.2 | 113.6 | 54.2 | 113.6 |
| 5 | 46.3 | 102.2 | 51.6 | 116.1 | 56.6 | 110.45 |
| 10 | 44.5 | 104 | 48.8 | 118.1 | 58.8 | 106.6 |
| 15 | 42.6 | 105.6 | 46 | 119.2 | 60.7 | 101.9 |

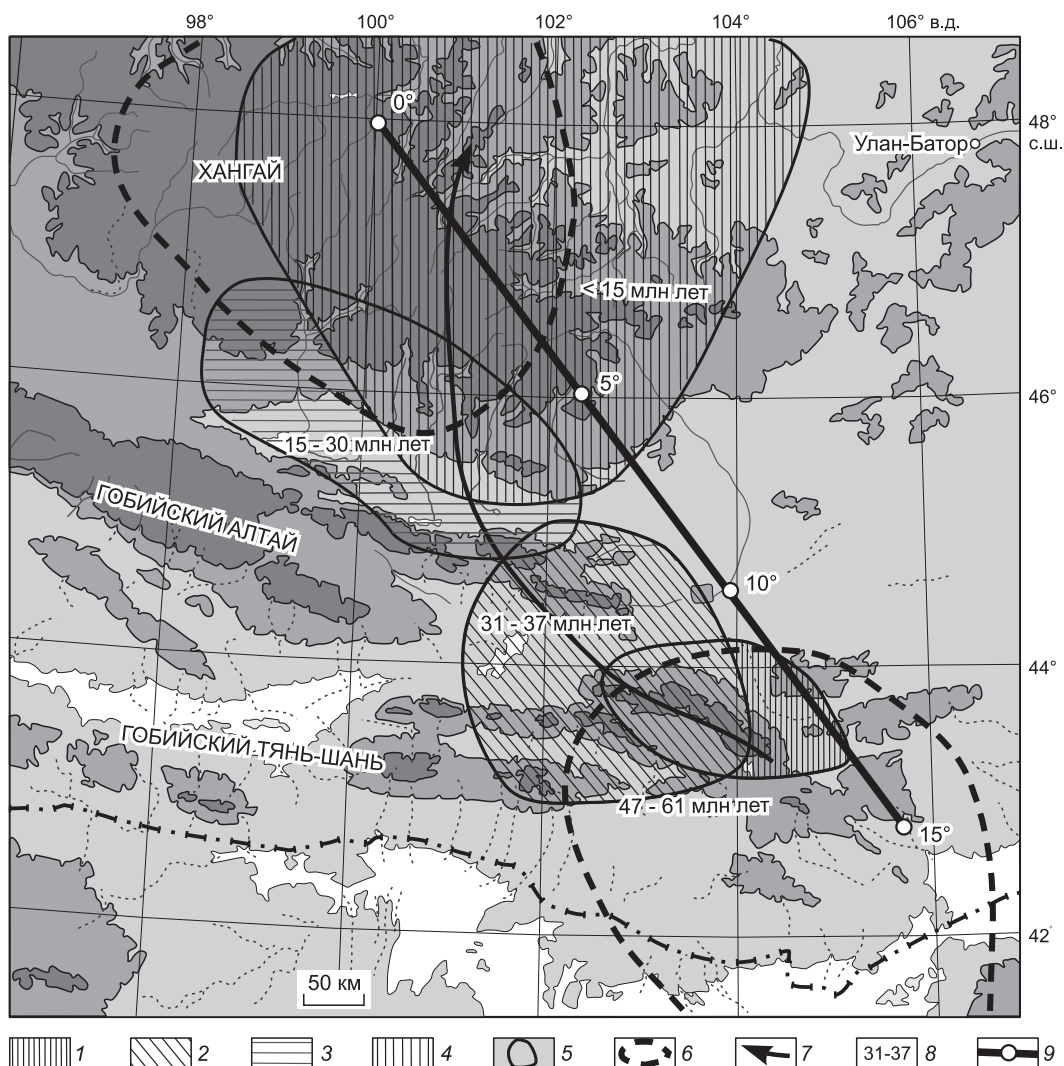


Рис. 6. Схема миграции центров вулканизма в пределах Южно-Хангайской вулканической области в кайнозое.

1—4 — площади распространения разновозрастных магматических пород: 1 — палеоцен-раннеэоценовых, 2 — раннеолигоценовых, 3 — позднеолигоценовых—раннемиоценовых, 4 — среднемиоценовых—голоценовых; 5 — границы разновозрастных вулканических ареалов; 6 — проекции выступов аномальной мантии [Зорин, Турутанов, 2005]; 7 — реальная траектория миграции вулканических ареалов, стрелка указывает направление омоложения пород; 8 — возрастной диапазон вулканизма; 9 — расчетный «след» от горячей точки, цифры — угол вращения Евразии. Оттенками серого цвета показаны различные высотные интервалы рельефа, более темный соответствует большим высотам.

плитой или (б) в мантии существовала достаточно обширная активная область, над которой перемещалась Евразийская литосферная плита в кайнозое, а мантийные магматические расплавы в течение кайнозоя поступали на поверхность по одним и тем же выводящим каналам Западно-Забайкальской зоны (см. рис. 7, Б). Гипотеза (а) возможна, если мантийные магматические расплавы генерировались в литосферной мантии, как, например, это происходит в зонах субдукции. Этот вариант маловероятен, так как в большинстве работ магматизм Центрально-Азиатской вулканической провинции рассматривается как внутриплитный [Ярмолюк и др., 1995; Ярмолюк, Иванов, 2000; Ярмолюк, Воронцов, 2007]. Возможно, разогретое вещество аномальной мантии находилось в литосферной ловушке и также перемещалось вместе с литосферной плитой (см. рис. 7, В). По этой модели предполагается, что ловушка отрезана от глубинного источника вещества аномальной мантии относительно холодной астеносферой. Но отчетливые корреляции изменений объемов, степени гидратированности и изотопного состава магматических расплавов во времени во всех вулканических зонах провинции свидетельствуют о том, что все они были связаны с единым глубинным источником аномальной мантии. Поэтому наиболее вероятной нам представляется модель (б).

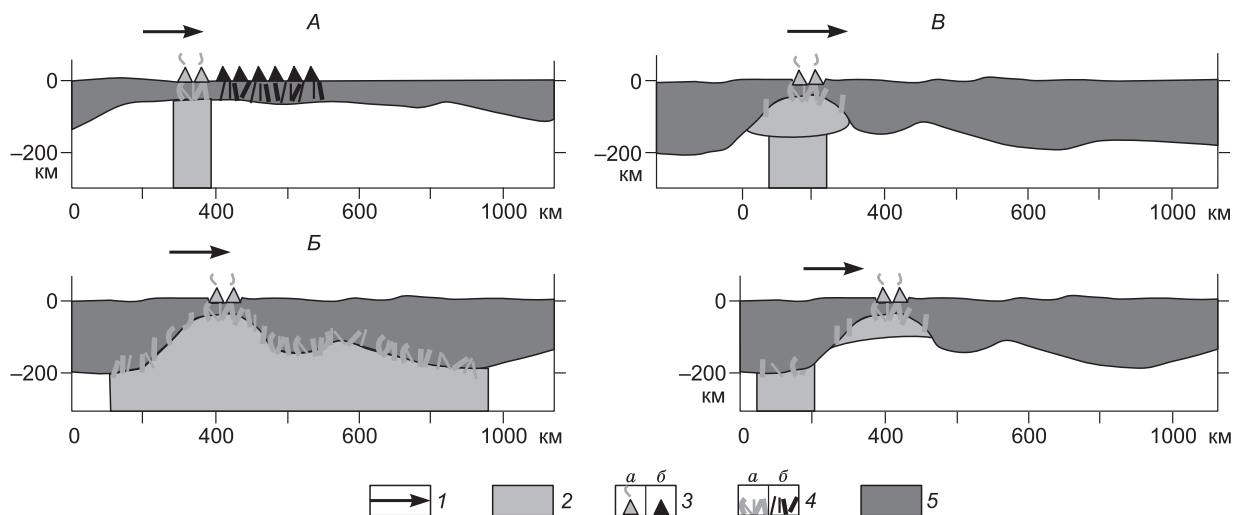


Рис. 7. Модели развития магматизма в вулканических областях ЦАВП — узколокализованная горячая точка (А), широкая область аномальной мантии (Б), литосферная ловушка (В).

1 — направление перемещения литосферной плиты; 2 — области аномальной мантии; 3 — вулканические области: активные (а), древние (б); 4 — магмаподводящие каналы: активные (а), отмершие (б); 5 — континентальная литосфера.

Реконструкции для мела (60—140 млн лет). В мелу магматизм был сконцентрирован в четырех вулканических областях — Центрально-Алданской, Западно-Забайкальской, Восточно-Монгольской, Южно-Хангайской (рис. 9). Магматизм в областях протекал непрерывно, но наиболее мощная вспышка магматизма была в раннем мелу. Ареалы магматизма не образуют вытянутых цепочек. Было реконструировано пространственное положение этих областей в различные периоды позднего мезозоя и кайнозоя. Для этого области вулканизма были последовательно развернуты против часовой стрелки относительно полюсов вращения с координатами 27° N, 79° E; 0° N, 2° E и 48.6° N, 102.2° E соответственно на 10°, 3.5° и на 15°.

Соответственно вращению Евразии были пересчитаны координаты меловых палеомагнитных полюсов (см. табл. 2). На рис. 3, В и табл. 1 показана теоретическая кривая миграции палеомагнитных полюсов при вращении Евразии вокруг полюса вращения 48.6° N, 102.2° E, расположенного в Центральной Монголии. Видно, что теоретическая кривая не противоречит реальному распределению палеомагнитных полюсов в пределах их доверительных интервалов. В данном случае мы предполагаем, что разброс палеомагнитных полюсов в интервале времени от 60 до 100 млн лет может быть статистической флуктуацией, которая осредняется при расчетах. На рис. 9 и в табл. 4—7 показано положение вулканических областей 60 млн лет назад, расчетные траектории перемещения некоторых точек вулканических областей за период от 140 до 60 млн лет и следы от предполагаемых стационарных горячих точек. Видно, что при вращении Евразии вокруг полюса в центральной части Монголии перемещения вулканических областей очень незначительны (до 2° по широте) и соизмеримы с их поперечными размерами. Вероятно, это одна из причин ограниченного распространения магматических комплексов на площади. Области аномальной мантии, с которыми связан меловой вулканизм, могут рассматриваться как близкие к стационарным в течение мела горячие точки. Если же флуктуации палеомагнитных полюсов в период 60—100 млн лет не являются случайными, то перемещение Евразии было значительно более сложным. Как видно на рис. 4, в этом случае в перемещении областей присутствовали как северная, так и южная компоненты, смещение по широте достигало 5°.

Эволюция Центрально-Азиатской провинции внутриплитного магматизма. Можно предположить следующие этапы развития Центрально-Азиатской провинции внутриплитного вулканизма в мелу и кайнозое. В раннем мелу магматизм провинции характеризовался наивысшей активностью. Магматизм был проявлен в четырех вулканических областях, которые занимали пространство от 42° до 61° N (см. рис. 8). Магмы выплавлялись из гидратированных мантийных источников. Распределения элементов-примесей в меловых базальтах характеризуются глубокими минимумами Ta и Nb. Изотопный состав источников соответствует PREMA и EM-II. Судя по геофизическим данным, все области магматизма были приурочены (см. рис. 8, 9) к участкам литосферы с пониженной мощностью (50—70 км), соизмеримой или меньшей, чем средняя мощность литосферы океанической коры (90—100 км). В течение мела Евразия вращалась по часовой стрелке вокруг полюса вращения в Центральной Монголии на 10—15°.

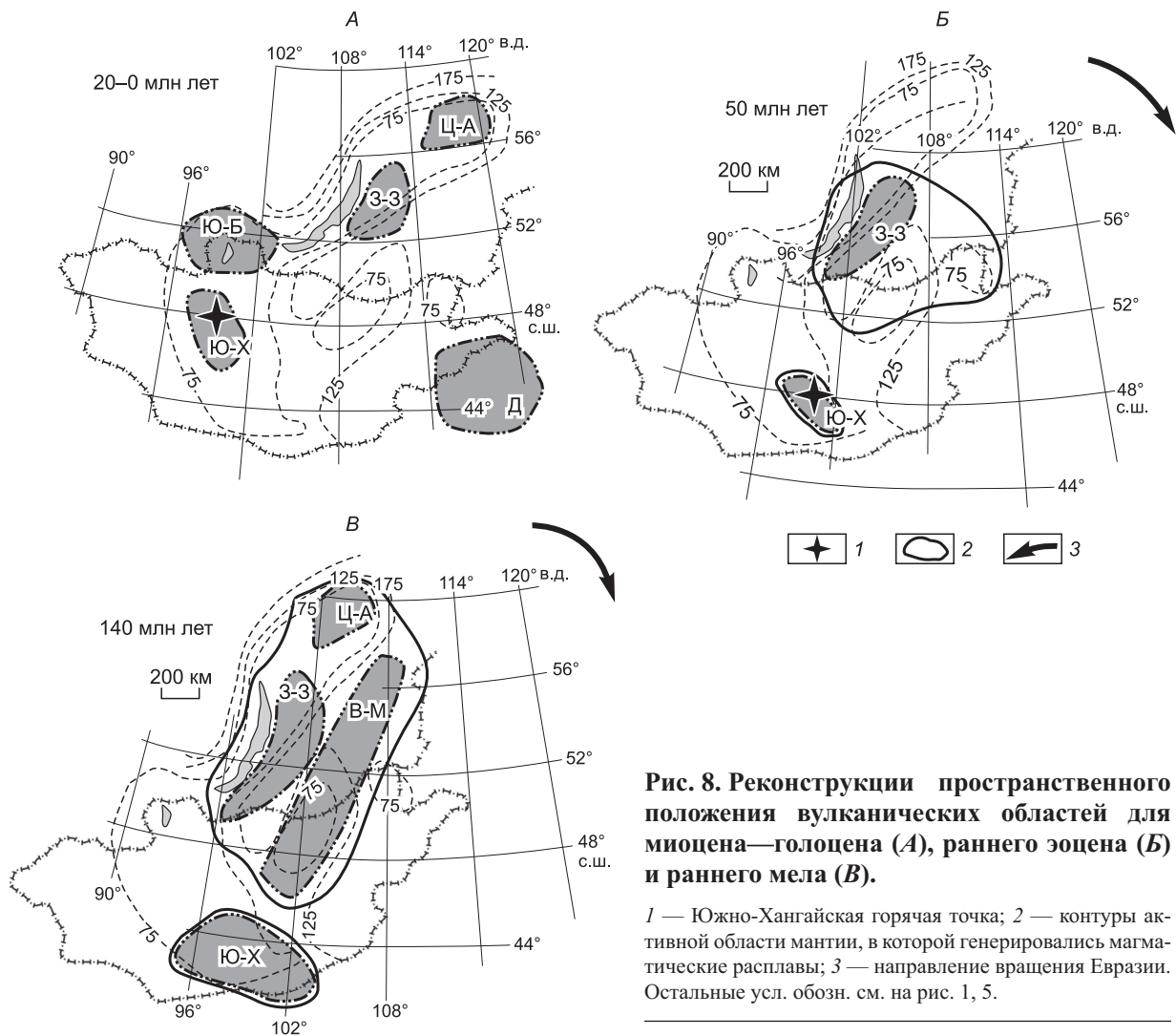


Рис. 8. Реконструкции пространственного положения вулканических областей для миоцена—голоцена (А), раннего эоцена (Б) и раннего мела (В).

1 — Южно-Хангайская горячая точка; 2 — контуры активной области мантии, в которой генерировались магматические расплавы; 3 — направление вращения Евразии. Остальные усл. обозн. см. на рис. 1, 5.

Магматизм в вулканических областях продолжался, но характеризовался значительно меньшей активностью, чем в начале раннего мела (см. рис. 2). По-видимому, магматические расплавы в течение мела генерировались в нескольких стационарных областях аномальной мантии, размеры которых могли несколько превышать размеры вулканических областей. При прохождении участков литосферы Евразии,

характеризующихся пониженной мощностью, над активной областью мантии, в них по одним и тем же магматическим каналам расплавы выводились на поверхность. В течение мела степень гидратированности мантийных источников уменьшалась. Изотопные составы магматических пород лежат на линии смешения PREMA—EM-II. Возможно, что магмы выплавлялись на разных глубинах мантии или внедрялось новое вещество аномальной мантии, изменявшее изотопный состав источников.

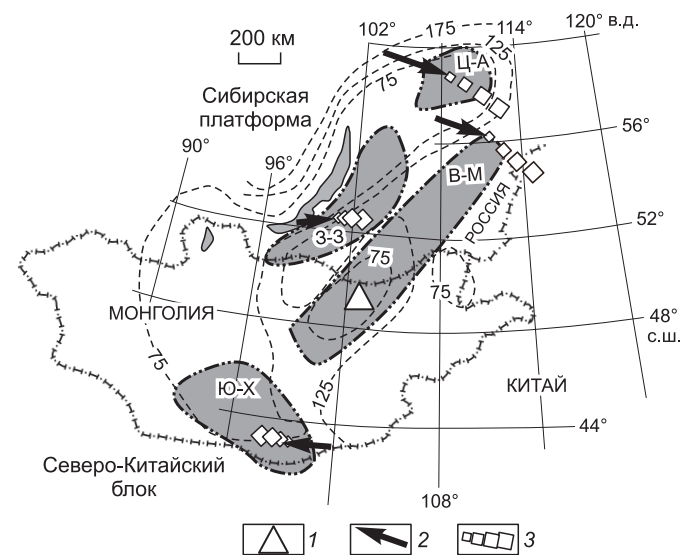


Рис. 9. Пространственное положение вулканических областей 60 млн лет назад.

1 — полюс вращения Евразии; 2 — расчетные траектории перемещения за период 140—60 млн лет; 3 — расчетные «следы» от горячих точек за период 140—60 млн лет.

Таблица 4. **Географические координаты предполагаемого «следа» и траектории перемещения Южно-Хангайской области в мелу (60—140 млн лет)**

| Угол (град.) вращения Евразии вокруг полюса вращения 48.6° N, 102.2° E | Координаты расчетного «следа» Южно-Хангайской области (для т. 43.2° N, 99.8° E) | | Координаты расчетной траектории Южно-Хангайской области (для т. 43.2° N, 99.8° E) | |
|---|---|-------------|---|-------------|
| | широта (N) | долгота (E) | широта (N) | долгота (E) |
| 0 | 43.2 | 99.8 | 43.2 | 99.8 |
| 5 | 43.36 | 99.25 | 43.1 | 100.45 |
| 10 | 43.6 | 98.52 | 43 | 101.13 |
| 15 | 43.86 | 97.92 | 42.96 | 101.8 |

Примечание. Начальные координаты использованной точки Южно-Хангайской области — 43.2° N, 104° E. После последовательного вращения точки вокруг полюса 27° N, 79° E против часовой стрелки на 10° и полюса 0° N, 2° E по часовой стрелке на 3.5° были рассчитаны ее новые координаты 43.2° N, 99.8° E.

Таблица 5. **Географические координаты предполагаемого «следа» и траектории перемещения Восточно-Монгольской области в мелу (60—140 млн лет)**

| Угол (град.) вращения Евразии вокруг полюса вращения 48.6° N, 102.2° E | Координаты расчетного «следа» Восточно-Монгольской области (для т. 56.2° N, 111.8° E) | | Координаты расчетной траектории Восточно-Монгольской области (для т. 56.2° N, 111.8° E) | |
|--|---|-------------|---|-------------|
| | широта (N) | долгота (E) | широта (N) | долгота (E) |
| 0 | 56.2 | 111.8 | 56.2 | 111.8 |
| 5 | 55.6 | 112.86 | 56.7 | 110.6 |
| 10 | 54.98 | 113.8 | 57.2 | 109.3 |
| 15 | 54.3 | 114.6 | 57.5 | 107.9 |

Примечание. Начальные координаты использованной точки Восточно-Монгольской области — 54° N, 120° E. После последовательного вращения точки вокруг полюса 27° N, 79° E против часовой стрелки на 10° и полюса 0° N, 2° E по часовой стрелке на 3.5° были рассчитаны ее новые координаты 56.2° N, 111.8° E.

Таблица 6. **Географические координаты предполагаемого «следа» и траектории перемещения Западно-Забайкальской области в мелу (60—140 млн лет)**

| Угол (град.) вращения Евразии вокруг полюса вращения 48.6° N, 102.2° E | Координаты расчетного «следа» Западно-Забайкальской области (для т. 52.4° N, 100.7° E) | | Координаты расчетной траектории Западно-Забайкальской области (для т. 52.4° N, 100.7° E) | |
|--|--|-------------|--|-------------|
| | широта (N) | долгота (E) | широта (N) | долгота (E) |
| 0 | 52.4 | 100.7 | 52.4 | 100.7 |
| 5 | 52.5 | 101.25 | 52.3 | 100.2 |
| 10 | 52.5 | 101.8 | 52.17 | 99.65 |
| 15 | 52.5 | 102.37 | 52 | 99.16 |

Примечание. Начальные координаты использованной точки Западно-Забайкальской области — 52° N, 108° E. После последовательного вращения точки вокруг полюса 27° N, 79° E против часовой стрелки на 10° и полюса 0° N, 2° E по часовой стрелке на 3.5° были рассчитаны ее новые координаты 52.4° N, 100.7° E.

В период от 50 млн лет до современного времени Евразия испытывала медленное вращение по часовой стрелке вокруг полюса вращения с координатами 27° N, 79° E (южная часть Тибета). В раннем кайнозое (50 млн лет назад) активность магматизма оставалась низкой. Магматические расплавы генерировались только в двух областях мантии — очень локальной Южно-Хангайской горячей точке (координаты 48° N, 100° E) и, по-видимому, в довольно обширной области мантии к северу и северо-востоку от нее (см. рис. 8). Выплавлялись магмы типа OIB, источники магматизма характеризовались изотопным составом типа PREMA. Литосфера вдоль всей траектории Евразии над Южно-Хангайской горячей точкой характеризовалась малой мощностью (см. рис. 1, 7, А, 8), и, по-видимому, повышенной проницаемостью, поэтому магматические расплавы достигали поверхности и образовывали линейные вулканические ареалы с закономерным изменением возраста — «след» от горячей точки. К северу и северо-востоку от Южно-Хангайской горячей точки литосфера Евразии в основном была достаточно мощной (150—200 км) и имела пониженную мощность в районе Западно-Забайкальской области (см.

Таблица 7. Географические координаты предполагаемого «следа» и траектории перемещения Центрально-Алданской области в мелу (60—140 млн лет)

| Угол (град.) вращения Евразии вокруг полюса вращения 48.6° N, 102.2° E | Координаты расчетного «следа» Центрально-Алданской области (для т. 58.8° N, 108.3° E) | | Координаты расчетной траектории Центрально-Алданской области (для т. 58.8° N, 108.3° E) | |
|---|---|-------------|---|-------------|
| | широта (N) | долгота (E) | широта (N) | долгота (E) |
| 0 | 58.8 | 108.3 | 58.8 | 108.3 |
| 5 | 58.4 | 109.9 | 58.6 | 106.7 |
| 10 | 57.9 | 111.5 | 59.3 | 104.8 |
| 15 | 57.3 | 112.8 | 59.4 | 103 |

Примечание. Начальные координаты использованной точки Центрально-Алданской области — 57° N, 118.5° E. После последовательного вращения точки вокруг полюса 27° N, 79° E против часовой стрелки на 10° и полюса 0° N, 2° E по часовой стрелке на 3.5° были рассчитаны ее новые координаты 58.8° N, 108.3° E.

рис. 1, 7—9). При прохождении этой части литосферы над активной областью мантии в ней формировались магматические комплексы, которые не образовывали линейно вытянутых цепочек на площади, а стратиграфически наращивали друг друга. Судя по протяженности расчетной траектории перемещения Западно-Забайкальской области за последние 50 млн лет, ширина участка аномальной мантии или горячей точки была не меньше 800 км. Отметим, что в Восточно-Монгольской вулканической области, литосфера которой тоже характеризуется пониженной мощностью, магматизм при прохождении литосферной плиты над зоной аномальной мантии почему-то не проявлялся. Изотопный состав источников магматизма менялся в течение кайнозоя вдоль линии смещения PREMA — EM-I. В миоцене в мантии, вероятно, был новый «выброс» разогретого разуплотненного аномального вещества, который привел к резкой активизации магматизма в Южно-Хангайской и Западно-Забайкальской областях, а также к расширению размеров вулканической провинции и формированию новых областей магматизма — Южно-Байкальской, Центрально-Алданской, Даригангской.

ВЫВОДЫ

1. Области аномальной мантии, с которыми связан магматизм Центрально-Азиатской провинции внутриплитного магматизма, меняли свою конфигурацию в мелу и кайнозое.

2. В начале раннего мела области аномальной мантии занимали пространство от 42° до 61° N (около 2000 км по широте). Возможно, в течение мела положение областей аномальной мантии было стационарным в пространстве. Магматизм провинции проявлялся в областях литосферы Евразийской плиты с пониженной мощностью, сопоставимой или меньшей мощности литосферы океанической коры. Поздне-мезозойские магмы в основном выплавлялись из гидратированных мантийных источников с изотопными составами PREMA и EM-II.

3. В раннем кайнозое (50 млн лет назад) активность области аномальной мантии была значительно ниже, чем в раннем мелу. Магматические расплавы генерировались только в двух областях мантии — очень локальной Южно-Хангайской горячей точке и, по-видимому, в довольно обширной (не менее 800 км по ширине) области мантии к северу и северо-востоку от нее. В целом аномальная мантия занимала пространство от 46° до 59° N, около 1300 км по широте. Выплавлялись магмы типа OIB, источники магматизма были слабо гидратированы и характеризовались изотопным составом типа PREMA и EM-I. В миоцене в мантии, вероятно, был новый «выброс» разогретого разуплотненного аномального вещества, который привел к резкой активизации магматизма и расширению размеров вулканической провинции до 2 тыс. км по широте. Литосфера во всех вулканических областях характеризовалась малой мощностью, в том числе и вдоль всей траектории Евразии над Южно-Хангайской горячей точкой.

Автор благодарит академика РАН В.И. Коваленко и чл.-кор. РАН В.В. Ярмолюка за консультации и полезные советы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 09-05-00859-а) и программы Президиума РАН № 4.

ЛИТЕРАТУРА

Демонтерова Е.И., Иванов А.В., Рассказов С.В., Маркова М.Е., Ясныгина Т.А., Малых Ю.М. Литосферный контроль позднекайнозойского магматизма на границе Тувино-Монгольского массива, Прихубсугулье, Северная Монголия // Петрология, 2007, т. 15, № 1, с. 93—100.

Жукова И.А., Литасов Ю.Д., Дучков А.Д., Новиков Д.Д. Проблема генезиса кайнозойских базальтов Центральной и Северной Монголии по данным изотопов гелия и петрохимии // Геология и геофизика, 2007, т. 48 (2), с. 204—215.

Зорин Ю.А., Турутанов Е.Х. Плюмы и геодинамика Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (7), с. 685—699.

Самойлов В.С., Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Иванов В.Г., Пахольченко Ю.А. Геохимические и изотопные характеристики и магматические источники раннемеловых высококалийных трахибазальтов Гоби-Алтайской рифтовой зоны (на примере грабенов хр. Арц-Богдо) // Геохимия, 1998, № 12, с. 1203—1216.

Чувашова И.С., Рассказов С.В., Ясныгина Т.А., Саранина Е.В., Фефелов Н.Н. Голоценовый вулканизм в Центральной Монголии и Северо-Восточном Китае: асинхронное декомпрессионное и флюидное плавление мантии // Вулканология и сейсмология, 2007, № 6, с. 19—45.

Ярмолюк В.В., Иванов В.Г. Магматизм и геодинамика Западного Забайкалья в позднем мезозое и кайнозое // Геотектоника, 2000, № 2, с. 43—64.

Ярмолюк В.В., Воронцов А.А. Эволюция вулканизма Тугнуйско-Хилокского сектора Западно-Забайкальской рифтовой области в позднем мезозое и кайнозое // Вулканология и сейсмология, 2007, с. 3—28.

Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Иванов В.Г. Внутриплитная позднемезозойская—кайнозойская вулканическая провинция Центральной—Восточной Азии — проекция горячего поля мантии // Геотектоника, 1995, № 5, с. 41—67.

Ярмолюк В.В., Кудряшова Е.А., Козловский А.М., Саватенков В.М. Позднемеловой—раннекайнозойский вулканизм Южной Монголии — след Южно-Хангайской горячей точки мантии // Вулканология и сейсмология, 2007, № 1, с. 3—31.

Besse J., Courtillot V. Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr // J. Geophys. Res., 2002, v. 107, № B11, p. 6—31.

Ionov D. Mantle structure and rifting processes in the Baikal-Mongolia region: geophysical data and evidence from xenoliths in volcanic rocks // Tectonophysics, 2002, v. 351, p. 41—60.

Rasskazov S., Taniguchi H., Goto A., Litasov K. Magmatic expression of plate subduction beneath East Asia in the Mesozoic through Cenozoic // Northeast Asia Studies, 2004, v. 9, p. 179—219.

Yanovskaya T.B., Kozhevnikov V.M. 3D S-wave velocity pattern in the upper mantle beneath the continent of Asia from Rayleigh wave data // Phys. Earth Planet. Inter., 2003, v. 138, p. 263—278.

*Рекомендована к печати 21 мая 2009 г.
Н.Л. Добрецовым*

*Поступила в редакцию
13 февраля 2009 г.*