



УДК 550.42:551.14+550.93(51)

## **Современная активность мантии Центральной Азии по U–Th-изотопной систематике вулканических пород в ретроспективе 400 тыс. лет: контроль плавления мантии накоплением и стаиванием ледников**

С. В. Рассказов ([rassk@crust.irk.ru](mailto:rassk@crust.irk.ru))  
Е. П. Чебыкин ([cheb@lin.irk.ru](mailto:cheb@lin.irk.ru))  
И. С. Чувашова ([chuvashova@crust.irk.ru](mailto:chuvashova@crust.irk.ru))  
О. Г. Степанова ([sog@lin.irk.ru](mailto:sog@lin.irk.ru))  
Е. Н. Воднева ([ven@lin.irk.ru](mailto:ven@lin.irk.ru))

**Аннотация.** Для ретроспективной оценки активности мантии Центральной Азии выполнены измерения изотопов 238U-серии методом ИСП–МС в вулканических породах Саян (Сибирь) и Хангая (Центральная Монголия), извергавшихся в последние 400 тыс. лет. По результатам выполненных расчетов сделан вывод об общем возрастании скорости плавления и апвеллинга мантии под этими территориями. Предполагается, что повышенная активность мантии под Саянами была обусловлена аномальным снижением литостатического давления вследствие стаивания ледниковых покровов. Пониженная активность мантии под Хангаем отражала относительно стабильные изостатические условия территории в условиях отсутствия оледенения<sup>1</sup>.

**Ключевые слова:** Центральная Азия, четвертичный период, изотопы 238U-серии, вулканизм, мантийный апвеллинг.

### **Постановка проблемы**

Поля новейшего вулканизма Азии расположены в областях высокой сейсмической, тектонической и геодинамической активности, поэтому их пространственное положение используется в качестве одного из критериев для количественной оценки опасности геологических процессов территорий [6, 7]. Источники вулканизма находятся в верхней мантии и служат непосредственным отражением протекающих в ней процессов плавления вещества. Неясно, как активность мантии соотносится с активностью процессов, протекающих в коре. Для выяснения таких соотношений необходимо, прежде всего, вывести количественные критерии активности мантии. Очевидно,

---

<sup>1</sup> Работа выполнена по проекту ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., соглашение № 14.В37.21.0583.

что, кроме знания местоположения вулканических полей, для оценки современной активности мантии необходимо изучение пространственно-временной динамики мантийных источников.

В определении иерархии циклических процессов кайнозоя делался акцент на эпизодичности вулканических событий последних ~ 2 млн лет [1, 9]. Появление максимума событий рассматривалось как признак усиления мантийных процессов, а минимума – как признак ослабления. Неясно, с какого времени мантия находилась в единой однонаправленной геодинамической эволюции: возрастала или снижалась активность мантии Азии от прошлого к настоящему. От ответа на эти вопросы напрямую зависит оценка ее современного состояния.

Важная информация о современной мантии Земли получена при исследованиях ее динамического отклика на нагрузку и разгрузку поверхности. Под горами граница кора – мантия опускается. Но образование гор идет медленно, поэтому динамическими эффектами можно пренебречь. Мантия под горами находится в существенном гидростатическом равновесии на протяжении всего цикла горообразовательного процесса. Между тем динамические эффекты создаются быстрым образованием ледниковых щитов, играющих важную роль в воздействии на мантию избыточной нагрузки на поверхность Земли.

При нагружении и разгрузке поверхности ледниковым щитом она опускается и поднимается. Ледниковому щиту, покрывающему Гренландию, соответствует прогиб поверхности в несколько километров. Местами ложе ледника находится ниже уровня моря. Нисходящее движение поверхности Земли при ледниковой нагрузке привело к латеральному течению мантии. Во время последнего ледникового периода Скандинавия была покрыта толстым ледниковым щитом, который также вызвал значительное опускание поверхности. Около 10 тыс. лет назад ледниковый покров стаял и произошло поднятие поверхности (рис. 1).

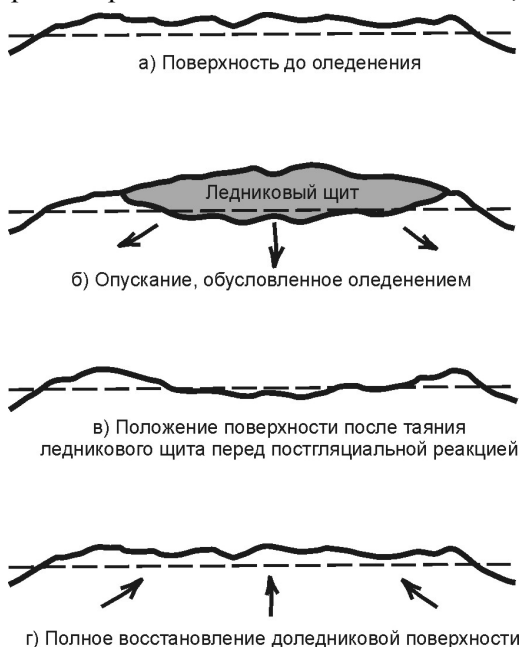


Рис. 1. Опускание, вызванное оледенением, и последующий постгляциальный откат. Горизонтальная штриховая линия – уровень моря. Из книги [16]

Результаты изучения последствий классического ледникового изостатического контроля постгляциального поднятия Фенноскандии противоречивы. В ранних работах геофизиков были предложены различные варианты вязкостных и глубинных параметров астеносферной мантии.

В настоящее время упругая литосфера под этой территорией оценивается мощностью более 200 км, а существование под ней астеносферного слоя с низкой вязкостью служит предметом дискуссии.

Для разработки моделей гляциального контроля мантийной динамики перспективны территории покровного оледенения, охваченные четвертичным вулканизмом, ибо накопление и стаивание льда должно повышать и понижать литостатическое давление и, следовательно, влиять на процессы плавления мантии. Таким образом, в оценках параметров временных вариаций мантийного плавления под четвертичными вулканами должно учитываться состояние глубинных слоев мантии, обусловленное дополнительными нагрузками ледников. В настоящей работе проведен сравнительный анализ скоростей плавления и апвеллинга мантии в последние 400 тыс. лет по U-Th-изотопной систематике вулканических пород Хангая и Саян (рис. 2). На первой территории ледники отсутствовали, на второй имели широкое распространение.

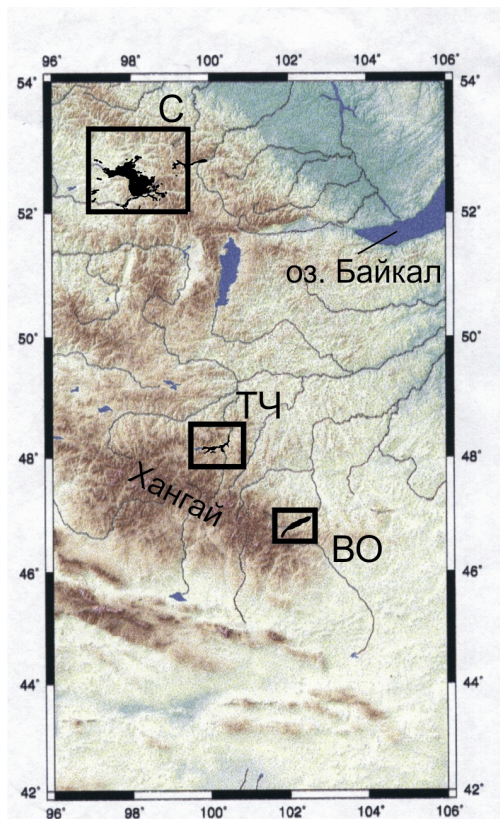


Рис. 2. Местоположение изученных вулканических полей плейстоцена и голоцена (показано прямоугольниками) в Саянах (С – вулканы: Саган, Плоский, Кок-Хемский, Шивит, Соруг-Чушку-Узю, Приозерный, Улуг-Арга) и Хангае (ТЧ – Тарят-Чулутынское поле – вулканы: Шаварын-Царам, Однобокий, Сосновый, Лиственничный, Хорго; ВО – Верхне-Орхонское поле)

### Подходы к изучению мантийной динамики в системе короткоживущих изотопов U и Th

Общая типизация магматических источников по изотопным отношениям Sr, Nd, Pb, Hf, Os, Ne, Ne и других элементов с учетом микроэлементных параметров дополняется для вулканических пород последних 400 тыс. лет системой короткоживущих нуклидов  $^{238}\text{U}$ -серии. Наряду с датированием вулканических пород, соотношения нуклидов серии  $^{238}\text{U}$  служат для соеди-

нения геохимических данных с теоретическими моделями магматических процессов. Продукты молодых вулканических извержений могут обладать равновесным или неравновесным составом изотопов. Неравновесный состав нуклидов в серии  $^{238}\text{U}$  обусловлен отличием химических свойств Th и U, выражающимся в обогащении или, наоборот, обеднении нуклидом  $^{230}\text{Th}$  относительно нуклида  $^{238}\text{U}$  при плавлении. Сходство коэффициентов распределения U и Th между частичными выплавками и минеральными фазами (оливином, клино- и ортопироксенами) мантийных шпинелевых перидотитов выражается в равновесном составе нуклидов. Относительное обогащение радиогенным нуклидом  $^{230}\text{Th}$  может происходить при плавлении клинопироксена, в результате которого ( $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ) несколько возрастает, но, как правило, не превышает 1,15 [17] (отношение нуклидов в скобках – единицы активности). По отношению к гранату, Th проявляет в выплавках свойство более несовместимого элемента, чем U. В идеальном случае медленное фракционное плавление гранатового перидотита с мгновенным отделением жидкой фазы должно выражаться в повышении ( $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ). Это отношение приближается к 1,0, если плавление в источнике идет быстро, не испытывая влияния пористости среды, с последующим быстрым переносом расплава к земной поверхности.

В динамической модели скорость плавления  $M_{\max}$  рассчитывается согласно [18]:

$$M_{\max} = \frac{(\lambda_{238} + \lambda_{230})(\rho_f \varphi + \rho_s(1 - \varphi)D_U) - Z\lambda_{230}(\rho_f \varphi + \rho_s(1 - \varphi)D_{Th})}{(Z - 1)(1 + \rho_f \varphi(\rho_s(1 - \varphi)))}, \quad (1)$$

где  $\lambda_{238}$ ,  $\lambda_{230}$  – константы радиоактивного распада (соответственно  $1,55125 \times 10^{-10}$  год $^{-1}$  и  $9,156 \times 10^{-6}$  год $^{-1}$ ),  $Z$  – измеренное ( $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ),  $\varphi$  – пористость плавления,  $\rho_f$ ,  $\rho_s$  – плотность расплава и твердого субстрата (соответственно  $2800$  кг·м $^{-3}$  и  $3300$  кг·м $^{-3}$ ) [14],  $D_U$ ,  $D_{Th}$  – валовые коэффициенты распределения урана и тория (соответственно 0,005 и 0,003).

Скорость плавления используется для оценки скорости апвеллинга твердой мантии  $W$  в одномерной расплавной колонне:

$$W_{\max} = \frac{M}{\rho_s(d_f / d_z)}, \quad (2)$$

где  $z$  – глубина в магматической колонне (км),  $f$  – степень частичного плавления,  $d_f/d_z = 0,003$  км $^{-1}$  – эффективность плавления.

В вулканических породах большинства океанических островов значения ( $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ) находятся в диапазоне 1,1–1,5. Скорости плавления  $M$  оцениваются величинами  $< 3 \cdot 10^{-4}$  кг·м $^3$ ·год $^{-1}$ . Из 50 опубликованных определений ( $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ), за исключением шести, лавы о-ва Гавайи дали значение, равное 1,0 в пределах  $2\sigma$ . Слабый избыток  $^{230}\text{Th}$  объясняется здесь высокой скоростью апвеллинга материала мантийного плюма  $W_{\max} = 3$  см·год $^{-1}$  [14].

Прецизионные измерения изотопов  $^{238}\text{U}$ -серии требуют больших затрат времени и дополнительных технических решений, поэтому, как прави-

ло, изученные объекты характеризуются единичными определениями изотопных отношений. Точные результаты дают методы альфа-счета и масс-спектрометрии с термической ионизацией с использованием многоканального масс-спектрометра [13; 15]. В последние годы используется мультиколлекторная масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (МК–ИСП–МС). Мы представляем результаты определений изотопов  $^{238}\text{U}$ -серии, а также  $^{232}\text{Th}$  в 74 образцах вулканических пород Хангая и Саян, выполненных по экспрессной методике с использованием масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП–МС). Методика была разработана ранее для определения нуклидов в осадках оз. Байкал [3; 8] и адаптирована для анализа вулканических пород. Содержания природных нуклидов Th и U определялись методом изотопного разбавления с добавлением в пробу трассеров  $^{229}\text{Th}$  и  $^{236}\text{U}$ . Измерения выполнялись на масс-спектрометре Agilent 7500 се. Ограничения на время вулканических извержений вводились по результатам геохронометрии в K–Ar- и U–Th-изотопных системах. По K–Ar-датировкам определялось время кристаллизации вулканических пород, по U–Th-датировкам – время неравновесного плавления мантии [4, 5].

## Результаты

### *Временные вариации Th/U*

Магматические расплавы фонотефритового состава, извергнутые в Хангае 400 тыс. лет назад на вулкане Шаварын-Царам, обладали повышенными концентрациями Th (6–8 мкг/г) и отношениями Th/U в интервале 3,7–3,9. После извержения этого вулкана существовал длительный перерыв в вулканизме. Только около 52 тыс. лет назад излились щелочные лавы субширотной линии вулканов Тарятской впадины: Соснового, Лиственничного и Однoboкого. По сравнению с фонотефритами вулкана Шаварын-Царам, лавы субширотной линии вулканов характеризовались пониженными концентрациями Th (4–6 мкг/г) и расширенным интервалом Th/U (3,3–4,1). Подобный расширенный интервал Th/U (3,5–4,3) был свойствен лавам Орхонской впадины, излившимся 38–35 тыс. лет назад, но при низких концентрациях Th (2,0–2,3 мкг/г). В самых молодых (раннеголоценовых) лавах вулкана Хорго Тарятской впадины диапазон концентраций Th был сопоставим с диапазоном концентраций в лавах субширотной линии вулканов при узком интервале Th/U (3,4–3,7) (рис. 3).

В Саянах вулкан Саган извергался несколько позже вулкана Шаварын-Царам, около 350 тыс. лет назад. Его базальты отличались низкими концентрациями Th (~2 мкг/г) и отношениями Th/U (2,7–2,9). В лавах полихронных вулканов Восточно-Тувинского поля с более молодыми фазами базальтовых извержений в интервале 220–75 тыс. лет назад концентрации Th варьировали от 1,7 до 3,0 мкг/г при диапазоне Th/U от 2,6 до 4,5. Около 50 тыс. лет назад в лавах вулкана Улуг-Арга это отношение приблизилось к минимуму (~2,7), а в голоценовых лавах долины р. Жом-Болок несколько возросло (до 3,1).

Мы видим контрастные соотношения Th/U и концентраций Th в лавах, излившихся в Саянах и Хангае 400–350 тыс. лет назад, и сохранение существенных различий этих характеристик в процессе эволюции магматических расплавов.

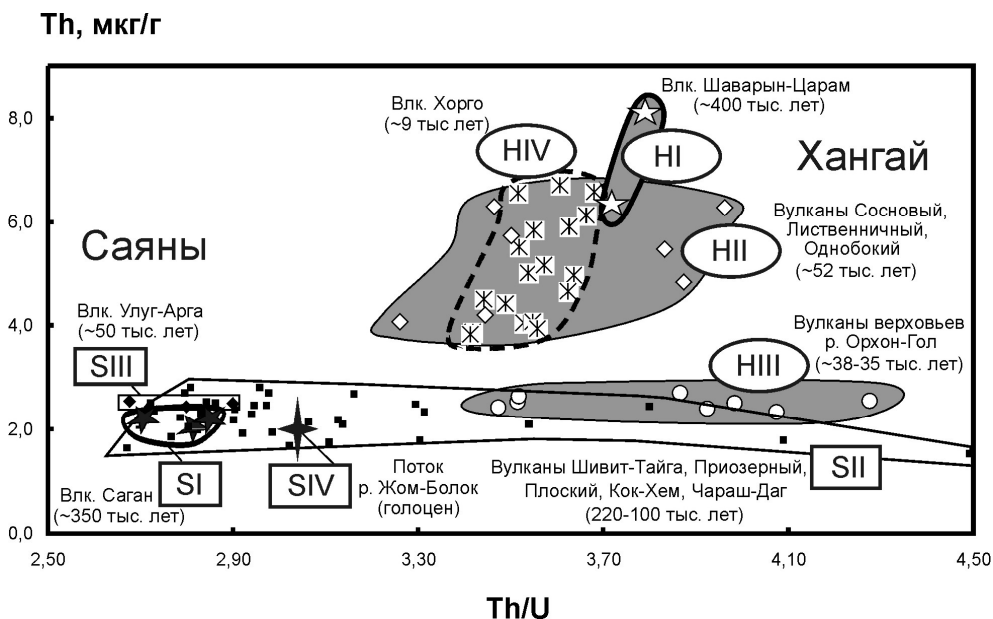


Рис. 3. Вариации Th и Th/U в последовательностях вулканических пород Саян (SI–SIV) и Хангая (HI–HIV). Характеристика вулканических построек и обоснование возраста приведены ранее [4, 5, 11]

#### Временные вариации ( $^{230}\text{Th}_0/^{238}\text{U}$ )

Высокие ( $^{230}\text{Th}_0/^{238}\text{U}$ ) (5,7, 7,4) в лавах Хангая отражали медленное фракционное плавление, сопровождавшееся быстрым удалением выплавов. В эпизоды 50–35 и ~ 9 тыс. лет назад отношения ( $^{230}\text{Th}_0/^{238}\text{U}$ ) снижались от интервала 1,23–1,52 до интервала 1,08–1,22 (рис. 4), что свидетельствовало о заметном относительном возрастании пористости, максимальных скоростей плавления и апвеллинга мантии. Около 9 тыс. лет назад динамические параметры плавления и апвеллинга мантии этой территории достигли максимальных значений ( $M_{\max} = 0,52 \times 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>/год,  $W_{\max} = 5,2$  см·год<sup>-1</sup>).

В Саянах 350 тыс. лет назад высокие ( $^{230}\text{Th}_0/^{238}\text{U}$ ) (в интервале 2,7–2,8) свидетельствовали о сравнительно медленном фракционном плавлении и апвеллинге. Около 50 тыс. лет назад ( $^{230}\text{Th}_0/^{238}\text{U}$ ) снизилось до значений в интервале 1,05–1,15, оставаясь на том же уровне (1,15) и в голоцене. Максимумы плавления и апвеллинга мантии этой территории 170 и 50 тыс. лет назад ( $M_{\max} = 1,1 \times 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>/год,  $W_{\max} = 11$  см·год<sup>-1</sup>) были разделены минимумом плавления и апвеллинга 115 тыс. лет назад.

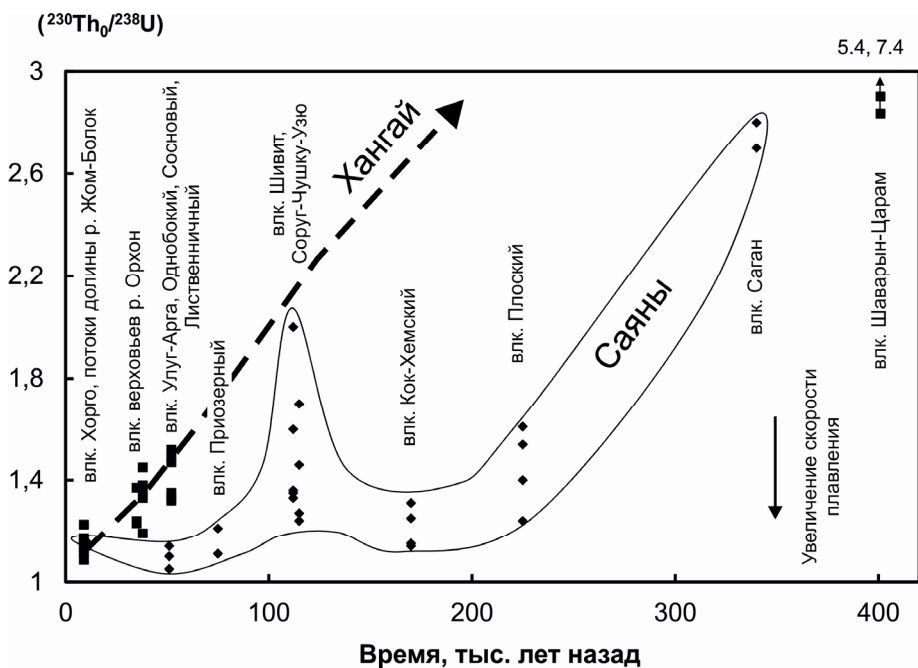


Рис. 4. Сопоставление временных вариаций ( $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ) в извергнутых расплавах вулканов Хангая и Саян

В последние 400 тыс. лет реконструируется общее повышение скорости плавления и апвеллинга мантии с динамическими параметрами магматизма Хангая более низкими, чем Саян, и уравниванием динамических параметров обеих территорий в голоцене.

### Обсуждение

По рассчитанным динамическим параметрам мантии под Хангаем и Саянами (скорости плавления и мантийного апвеллинга) реконструируется общее увеличение активности с течением времени с резким современным (раннеголоценовым) выражением геодинамического импульса. Максимальные оценки скоростей мантийного апвеллинга мантии под Хангаем ( $W_{\max} = 5,2 \text{ см}\cdot\text{год}^{-1}$ ) и под Саянами ( $W_{\max} = 11 \text{ см}\cdot\text{год}^{-1}$ ) существенно уступали этому параметру Гавайского мантийного плюма ( $W_{\max} = 30 \text{ см}\cdot\text{год}^{-1}$ ). Это отличие предполагает происхождение вылавок рассматриваемых территорий из верхнемантийных расплавных аномалий [5].

Эпизоду слабой активности мантии Хангая и Саян 400–350 тыс. лет назад предшествовала усилившаяся активность мантии, обусловившая объемные лавовые извержения на вулканических полях Центральной Азии около 600–500 тыс. лет назад. В это время одновременно угасал вулканизм Тунка-Джидинской и Ингур-Малоамалатской субмеридиональных зон, пространственно связанных со структурной перестройкой центральной части Байкальской рифтовой системы [1; 12].

Общий ход магматических циклов в Центральной Монголии на протяжении последних 90 млн лет отчетливо выражен во временных вариациях калия. В последние 2 млн лет в лавах Тарят-Чулуутынского поля выявлены квазипериоды с длительностью от 700 до 300 тыс. лет [5; 10]. Максимум активности мантии 600–500 тыс. лет назад был обозначен извержениями лав с пониженными концентрациями калия (1,5–3,0 мас. %). Возрастание концентраций этого элемента до 4,2 мас. % около 400 тыс. лет назад в лавах вулкана Шаварын-Царам произошло при ослаблении активности мантии, а последующее уменьшение концентраций калия до 1,5 мас. % – при усилении ее активности. Таким образом, циклические вариации калия в лавах Центральной Монголии служили в качестве независимого косвенного показателя временных вариаций активности мантийных процессов – проявления заключительного геодинамического импульса в Центральной Монголии в последние 400 тыс. лет.

Из результатов сравнительного анализа U–Th-изотопной системы вулканических пород Хангая и Саян следует, что в последние 400 тыс. лет скорости плавления и апвеллинга мантии под этими территориями существенно различались и сблизились между собой только в голоцене. На активность мантии под Саянами, очевидно, влияли дополнительные нагрузки на литосферу формировавшихся ледниковых покровов, мощность которых, по данным М. Г. Гросвальда [2], превышала 500 м. Увеличение литостатического давления в мантии за счет ледников приводило к относительному снижению скоростей плавления и апвеллинга, но после их стаивания скорости возрастали. В меняющемся динамическом режиме мантии результирующие параметры ее плавления под Саянами превышали параметры плавления под Хангаем. В отсутствие периодического нагружения на земную поверхность ледникового покрова на последней территории обеспечивались более стабильные условия плавления мантии.

## Заключение

Для оценки современной активности мантии в ретроспективе четвертичных вулканических событий Центральной Азии выполнены измерения изотопов  $^{238}\text{U}$ -серии методом ИСП–МС в вулканических породах Саян и Хангая. Выполненные расчеты свидетельствуют о повышении скорости плавления и апвеллинга мантии в последние 400 тыс. лет с резким голоценовым выражением финального геодинамического импульса. Параметры плавления мантии под обеими территориями Центральной Азии были существенно ниже параметров плюмового магматизма Гавайев, что согласуется с моделью происхождения выплавки рассматриваемых территорий на малых глубинах верхней мантии.

В Саянах определены в целом более высокие динамические параметры плавления мантии, чем под Хангаем. На первой территории были широко распространены мощные ледниковые покровы, на второй – ледники отсутствовали. Предполагается, что накопление и стаивание льда повышало и



понижало литостатическое давление в мантии и, таким образом, влияло на процессы плавления под Саянами. Аномальное повышение скорости плавления и мантийного апвеллинга под этой территорией было обусловлено менявшейся во времени динамикой мантийных процессов. В отсутствие ледниковых покровов динамические параметры плавления и мантийного апвеллинга под Хангаем были в целом ниже. На этой территории существовали относительно стабильные изостатические условия. При голоценовой деградации ледников в Саянах динамические параметры мантии обеих территорий Центральной Азии сблизились.

#### Список литературы

1. Геохронология и геодинамика позднего кайнозоя (Южная Сибирь – Южная и Восточная Азия) / С. В. Рассказов [и др.]. – Новосибирск : ВО Наука. Сиб. отд-ние, 2000. – 288 с.
2. *Гросвальд М. Г.* Развитие рельефа Саяно-Тувинского нагорья / М. Г. Гросвальд. – М. : Наука, 1965. – 166 с.
3. Изотопы ряда радиоактивного распада урана 238 – сигналы палеоклиматов верхнего плейстоцена и геохронометры в осадках озера Байкал / Е. П. Чебыкин [и др.] // Геология и геофизика. – 2004. – Т. 45, № 5. – С. 539–556.
4. ИСП–МС U–Th-датирование средне-позднеплейстоценового вулканизма Внутренней Азии: методика и результаты / Е. Н. Воднева [и др.] // Континентальный рифтогенез и сопутствующие процессы : материалы Второго Всерос. симпозиума с междунар. участием и молодеж. науч. шк., посвящ. памяти Н. А. Логачева и Е. Е. Милановского. – Иркутск : Ин-т земн. коры СО РАН. – 2013. – Т. 1. – С. 67–70.
5. Калиевая и калинатровая вулканические серии в кайнозойе Азии / С. В. Рассказов [и др.]. – Новосибирск : ГЕО, 2012. – 351 с.
6. *Леви К. Г.* Современная геодинамика Азии: карта, принципы составления, геодинамический анализ / К. Г. Леви, С. И. Шерман, В. А. Саньков // Геотектоника. – 2009. – № 2. – С. 78–93.
7. *Логачев Н. А.* Методические рекомендации к Атласу тектонических карт и опорных профилей Сибири / Н. А. Логачев, С. И. Шерман, К. Г. Леви // Новосибирск : Ин-т геологии и геофизики СО АН СССР. – 1981. – С. 12–20.
8. Метод определения изотопного состава аутигенного урана в донных отложениях озера Байкал / Е. П. Чебыкин [и др.] // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48, № 6. – С. 604–616.
9. *Рассказов С. В.* Вулканизм и геодинамика // Материалы V Всерос. симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. – Екатеринбург : Ин-т геологии и геохимии УрО РАН. – 2011. – С. 86–89.
10. *Чувашова И. С.* Циклические вариации калия в позднекайнозойских лавах Центральной Монголии / И. С. Чувашова, С. В. Рассказов, С. Б. Брандт // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2010. – Т. 3, № 1. – С. 159–176.
11. Эволюция позднекайнозойского магматизма на границе Тувино-Монгольского массива (Восточная Тува) / С. В. Рассказов [и др.]. – Иркутск : Ин-т земной коры СО РАН, 2007. – 156 с.
12. Эпизоды извержений и вариации состава четвертичных лав Байкальской рифтовой системы (Ar–Ar и K–Ar датирование вулканизма бассейна Джиды) / С. В. Рассказов [и др.] // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37, № 6. – С. 3–15.

13. *Asmerom Y.* U-series isotope evidence for origin of continental basalts / Y. Asmerom, R. L. Edwards // *Earth Planet. Sci. Letters.* – 1995. – Vol. 134. – P. 1–7.
14. *Beattie P.* Uranium–thorium disequilibria and partitioning on melting of garnet peridotite // *Nature.* – 1993. – Vol. 363, N 6424. – P. 63–65.
15. High Th/U ratios in subcontinental lithospheric mantle: mass spectrometric measurement of Th isotopes in Gausberg lamproites / R. W. Williams [et al.] // *Earth Planet. Sci. Letters.* – 1992. – Vol. 111, N 2/4. – P. 257–268.
16. *Turcotte D. L.* Geodynamics. Second edition / D. L. Turcotte, G. Schubert. – Cambridge : Cambridge University Press, 2002. – 456 p.
17. *Van Orman J. A.* Uranium and thorium diffusion in diopside / J. A. Van Orman, T. L. Grove, N. Shimizu // *Earth Planet. Sci. Letters.* – 1998. – Vol. 160. – P. 505–519.
18. *Zou H.* U–Th systematics of dispersed young volcanoes in NE China: Asthenosphere upwelling caused by piling up and upward thickening of stagnant Pacific slab / H. Zou, Q. Fan, Y. Yao // *Chemical Geology.* – 2008. – Vol. 255. – P. 134–142.

## **Modern Mantle Activity in Central Asia in Retrospection of 400 Ka inferred from U–Th-isotope Systematics of Volcanic Rocks: Control of Mantle Melting by Growing and Thawing Glaciers**

S. V. Rasskasov, E. P. Chebykin, I. S. Chuvashova, O. G. Stepanova,  
E. N. Vodneva

**Abstract.** To estimate retrospective variations of the mantle activity in Central Asia, isotopes of  $^{238}\text{U}$ -series were measured by ICP–MS technique in volcanic rocks erupted in Sayans (Siberia) and Hangay (Central Mongolia) in the past 400 Ka. From calculations, a general increasing of melting rate and mantle upwelling beneath these areas is inferred. It is suggested that the elevated melting rate and mantle upwelling beneath Sayans was due to anomalous reducing lithostatic pressure caused by thawing ice sheets. The decreased mantle activity beneath Hangay reflected relatively stable isostatic conditions of the area in the absence of glaciation.

**Keywords:** Central Asia, Quaternary, isotopes of  $^{238}\text{U}$ -series, volcanism, mantle upwelling.

*Рассказов Сергей Васильевич*  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, зав. кафедрой динамической  
геологии; зав. лабораторией изотопии  
и геохронологии  
Иркутский государственный университет  
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
Институт земной коры СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128  
тел.: (3952) 51–16–59

*Rasskazov Sergei Vasilevich*  
Doctor of Sciences (Geology and  
Mineralogy), Professor, Head  
of the Dynamic Geology Chair;  
Head of the Laboratory for Isotopic and  
Geochronological Studies  
Irkutsk State University,  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003  
Institute of Earth's Crust of SB RAS  
664033, Irkutsk, Lermontova, 128  
tel.: (3952) 51–16–59

*Чебыкин Евгений Павлович*  
кандидат химических наук,  
старший научный сотрудник  
Лимнологический институт СО РАН  
664033 Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
Институт земной коры СО РАН  
664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 128  
тел.: (3952) 51-16-59

*Chebykin Evgenyi Pavlovich*  
Candidate of Sciences (Chemistry),  
Senior Researcher  
Limnological Institute SB RAS  
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033  
Institute of Earth's Crust, SB RAS  
3, Lermontova st., Irkutsk, 664003  
tel.: (3952) 51-16-59

*Чувашиова Ирина Сергеевна*  
кандидат геолого-минералогических  
наук, старший преподаватель;  
научный сотрудник  
Иркутский государственный университет  
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
Институт земной коры СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128  
тел.: (3952) 51-16-59

*Chuvashova Irina Sergeevna*  
Candidate of Sciences (Geology and  
Mineralogy), Lecture; Research Scientist  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003  
Institute of Earth's Crust SB RAS  
3, Lermontova st., Irkutsk, 664003  
tel.: (3952) 51-16-59

*Степанова Ольга Геннадьевна*  
инженер  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
тел.: (3952) 51-16-59

*Stepanova Ol'ga Gennadievna*  
Engineer  
Limnological Institute SB RAS  
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033  
tel.: (3952) 51-16-59

*Воднева Елена Николаевна*  
ведущий инженер; аспирант  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
Институт земной коры СО РАН  
664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128  
тел.: (3952) 51-16-59

*Vodneva Elena Nikolaevna*  
Leading Engineer; Postgraduate  
Limnological Institute SB RAS  
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033  
Institute of Earth's Crust SB RAS,  
3, Lermontova st., Irkutsk, 664003  
tel.: (3952) 51-16-59