

**ВОЗРАСТ МЕТАМОРФИЗМА СИЛЛИМАНИТСОДЕРЖАЩИХ СЛАНЦЕВ  
КЯХТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
(Юго-Западное Забайкалье)**

**И.А. Избродин, Г.С. Рипп, А.Г. Дорошкевич, С.А. Сергеев\*, Д.И. Матуков\*, В.Ф. Посохов**

*Геологический институт СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Россия*

*\* Центр изотопных исследований, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт, 199106, Санкт-Петербург, Средний просп., 74, Россия*

Приведены результаты U-Pb (SHRIMP-II) и Rb-Sr геохронологического изучения силлиманитовых сланцев Юго-Западного Забайкалья. Полученные данные свидетельствуют о существовавших в позднем мезозое условий для проявления высокотемпературного метаморфизма. Проявление метаморфизма могло быть связано с формированием метаморфических ядер, либо с тектоноплутонической активностью, сопровождавшейся образованием рифтогенных структур Забайкалья и Монголии.

*Силлиманитовые сланцы, циркон, U-Pb (SHRIMP-II), геохронология, поздний мезозой, Юго-Западное Забайкалье.*

**THE AGE OF METAMORPHISM OF SILLIMANITE-BEARING SCHISTS AT THE KYAKHTINSKOE DEPOSIT  
(southwestern Transbaikalia)**

**I.A. Izbrodin, G.S. Ripp, A.G. Doroshkevich, S.A. Sergeev, D.I. Matukov, and V.F. Posokhov**

Results of U-Pb (SHRIMP-II) and Rb-Sr dating of sillimanite schists in southwestern Transbaikalia are presented, which testify to high-temperature metamorphism in the Late Mesozoic. The metamorphism might have been related to the formation of metamorphic cores or tectonoplutonic activity accompanied by the formation of rift structures in Transbaikalia and Mongolia.

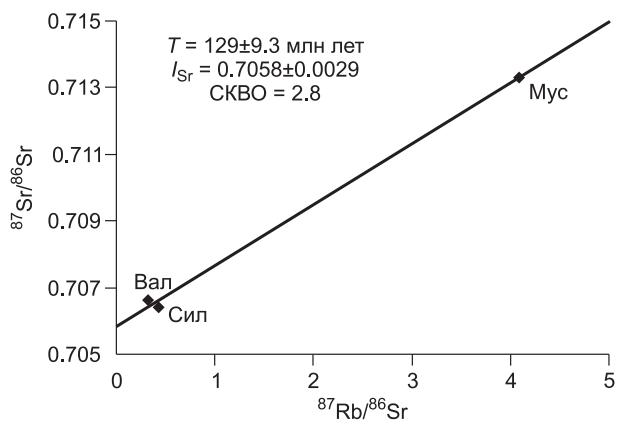
*Sillimanite schists, zircon, U-Pb (SHRIMP-II), geochronology, Late Mesozoic, southwestern Transbaikalia*

---

**ИСТОРИЯ ВОПРОСА**

Вопрос о возрасте кяхтинского метаморфического комплекса до настоящего времени остается нерешенным. Время его образования исследователями укладывается в основном в период от палеопротерозоя до позднего рифея—раннего палеозоя. Однако данные последних лет, полученные по Ar-Ar датированию биотит-амфиболового гнейса, расположенного в ближайшем окружении месторождения, показали время метаморфизма  $134 \pm 1$  млн лет по роговой обманке и  $126 \pm 1$  млн лет по биотиту [Мазукабзов и др., 2006].

Изученное месторождение расположено в 10—15 км к северо-западу от г. Кяхта. Оно приурочено к юго-западной части Бургутуйского гранитогнейсового купола [Скляров и др., 1997], в пределах которого кроме метаморфитов распространены массивы габброидов, гранодиоритов, сиенитов. На площади установлено несколько участков (Черная Сопка, Кяхтинское и Усть-Кяхтинское) с силлиманитовыми, кварц-мусковит-силлиманитовыми сланцами, залегающими среди гнейсов. Сведения о геологическом строении месторождения приведены в работе [Хлестов, Ушакова, 1963; Хлестов, 1964]. Метаморфические породы представлены различными по составу сланцами, гнейсами с прослоями кварцитов. Породы участками мигматизированы, содержат жилы гранитных пегматитов. В составе силлиманитсодержащих пород установлено большое количество высокоглиноземистых, в том числе фосфатных и сульфат-фосфатных минералов [Избродин и др., 2006, 2008]. Детальное описание пород метаморфического комплекса приведено в работах [Скляров и др., 1997; Донская и др., 2000, 2003; Мазукабзов и др., 2006; Donskaya et al., 2008]. Проведенная ими оценка *PT*-параметров ( $T = 590—640$  °C,  $P = 3.2—4.0$  кбар) биотит-амфиболовых, гранат-биотитовых гнейсов свидетельствует о метаморфизме в условиях амфиболитовой фации. Полученные *PT*-параметры гнейсов, расположенных вблизи участка Черная Сопка ( $620—650$  °C и  $5.2—6.8$  кбар), также свидетельствуют об амфиболитовой фации. Образование силлиманитсодержащих пород, согласно минеральным и изотопным геотермометрам, происходило в интервале температур  $510—880$  °C [Избродин и др., 2008].



**Рис. 1. Rb-Sr изохронная диаграмма для минералов и пород Кяхтинского месторождения.**

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

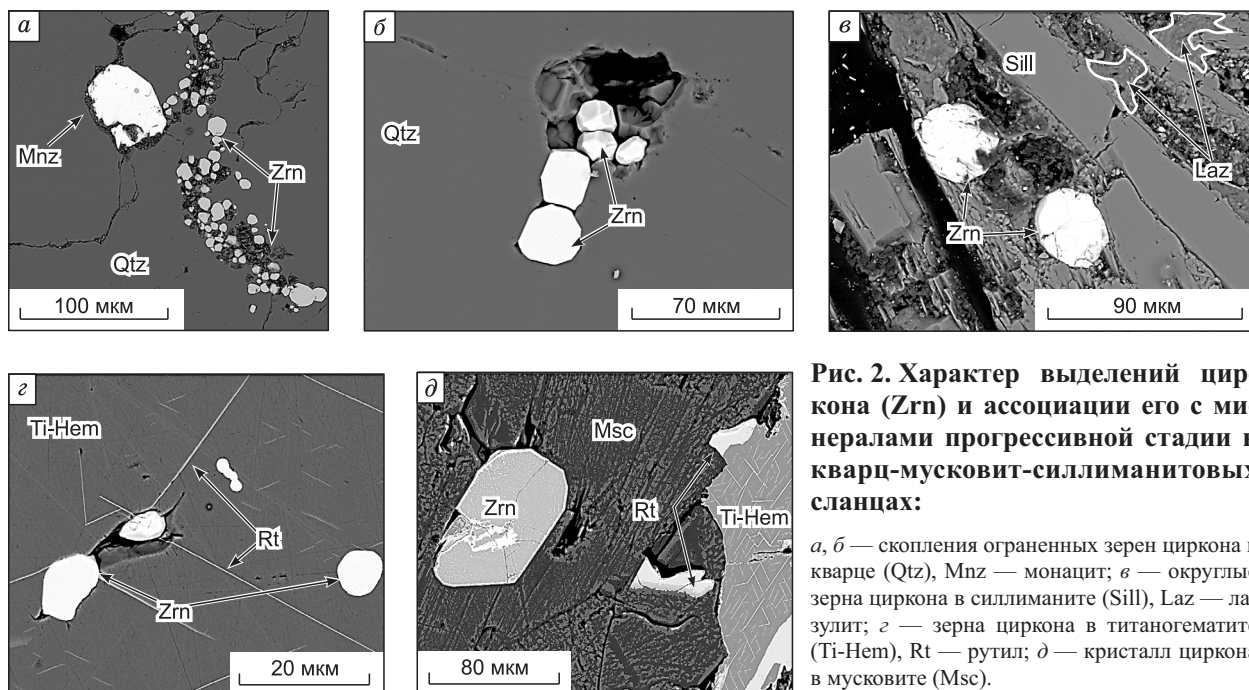
Определение Rb-Sr возраста выполнено В.Ф. Посоховым (Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ). Изотопный состав Sr и его концентрации устанавливались методом двойного изотопного разбавления, а содержание Rb — простым изотопным разбавлением. Для контроля измерений состава Sr использовался стандарт ВНИИМ и NBS-987, по которому получены отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70798 \pm 0.00008$  и  $0.71026 \pm 0.00001$ . Погрешности определения отношений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  и  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  с учетом параллельных измерений составили не более 0.05 и 1 % ( $2\sigma$ ) соответственно. Расчет возраста выполнялся по программе ISOPLOT.

U-Pb датирование циркона осуществлено на ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург, аналитики Д.И. Матуков, С.А. Сергеев). Зерна минералов вместе с Geostandarts zircon 91500 с возрастом 1065 млн лет [Wiedenbeck et al., 1995] были имплантированы в эпоксидную смолу и затем отполированы. Для выбора участков датирования использовали оптические и катодolumинесцентные изображения поверхности зерен, отражающие внутреннюю структуру минералов. Измерения U-Pb отношений проводились по методике, описанной в [Williams, 1998]. Технология измерения U-Pb отношений и расчеты возраста приведены во многих публикациях (например [Ронкин и др., 2005]).

U-Pb датирование циркона осуществлено на ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург, аналитики Д.И. Матуков, С.А. Сергеев). Зерна минералов вместе с Geostandarts zircon 91500 с возрастом 1065 млн лет [Wiedenbeck et al., 1995] были имплантированы в эпоксидную смолу и затем отполированы. Для выбора участков датирования использовали оптические и катодolumинесцентные изображения поверхности зерен, отражающие внутреннюю структуру минералов. Измерения U-Pb отношений проводились по методике, описанной в [Williams, 1998]. Технология измерения U-Pb отношений и расчеты возраста приведены во многих публикациях (например [Ронкин и др., 2005]).

### ВОЗРАСТ МЕТАМОРФИЗМА

На участке Черная Сопка ( $50^{\circ}22'11.4''$  с.ш.,  $106^{\circ}19'09.6''$  в.д.) Кяхтинского месторождения нами предварительно был определен Rb-Sr изохронный возраст силлиманитсодержащих сланцев. Датирование проведено по силлиманиту, валовому составу пород и мусковиту. Исходные данные для определения возраста приведены в табл. 1. Мусковит в этих породах представлен относительно крупными чешуйками (до 5—7 мм) в силлиманите, которые ориентированы параллельно полосчатости пород. Особенностью мусковита является варьирующее содержание парагонитового минала (вплоть до парагонита). Полученное значение возраста (рис. 1) соответствует раннему мелу ( $129 \pm 9.3$  млн лет, при



**Рис. 2. Характер выделений циркона (Zrn) и ассоциации его с минералами прогрессивной стадии в кварц-мусковит-силлиманитовых сланцах:**

*a, б* — скопления оgranенных зерен циркона в кварце (Qtz), Mnz — монацит; *в* — округлые зерна циркона в силлиманите (Sill), Laz — лазулит; *г* — зерна циркона в титаногематите (Ti-Hem), Rt — рутил; *д* — кристалл циркона в мусковите (Msc).

Таблица 1. Rb-Sr характеристика минералов и пород Кяхтинского месторождения

Анализируемый материал	Содержание, г/т		$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
	Rb	Sr		
Вал	14.44	12.95	0.3223	0.70662
Силлиманит	13.94	93.90	0.4295	0.70640
Мусковит	134.3	95.13	4.087	0.71330

Таблица 2. Результаты U-Pb исследований цирконов из силлиманитовых сланцев Кяхтинского месторождения (Юго-Западное Забайкалье)

Номер зерна	$^{206}\text{Pb}_c$ , %	U, г/т	Th, г/т	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*$ , г/т	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}^*$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	Rho
8	0.18	209	1.7	0.009	3.67	130.3±2.0	48.87±1.5	0.0499±3.5	48.96±1.5	0.0484±4.7	0.1363±4.9	0.02042±1.5	0.315
4	0.87	236	1.6	0.007	4.28	133.6±1.9	47.32±1.3	0.0552±3.5	47.74±1.5	0.0482±11	0.139±11	0.02095±1.5	0.129
6	1.58	138	1.6	0.012	2.57	135.9±3.0	46.2±1.6	0.0538±4	46.9±2.2	0.041±32	0.121±32	0.0213±2.2	0.071
3	0.94	225	2.2	0.010	4.16	136.1±2.0	46.42±1.4	0.0547±4.1	46.86±1.5	0.0472±10	0.139±11	0.02134±1.5	0.140
10	1.05	231	2.3	0.010	4.37	138.9±2.4	45.44±1.3	0.0558±4.2	45.92±1.7	0.0474±18	0.142±18	0.02177±1.7	0.093
9	1.26	190	2.5	0.013	3.61	139.3±2.5	45.2±1.5	0.0537±3.7	45.78±1.8	0.0436±19	0.131±19	0.02184±1.8	0.096
2	1.55	180	2.2	0.013	3.44	140.1±2.7	44.81±1.5	0.0566±5	45.52±1.9	0.044±23	0.134±23	0.02197±1.9	0.083
1	0.74	150	1.9	0.013	2.87	140.7±2.4	44.99±1.5	0.0531±4.5	45.32±1.7	0.0471±14	0.143±14	0.02206±1.7	0.124
5	0.51	143	1.6	0.012	2.78	143.3±2.3	44.26±1.5	0.0526±3.8	44.49±1.6	0.0486±9.3	0.151±9.4	0.02248±1.6	0.172
7	0.56	325	2.0	0.007	6.46	146.7±1.9	43.21±1.2	0.0542±2.7	43.45±1.3	0.0498±7.3	0.158±7.4	0.02301±1.3	0.174

Примечание. Ошибка составляет  $1\sigma$ ,  $\text{Pb}_c$  и  $\text{Pb}^*$  — порция общего и радиогенного свинца соответственно.

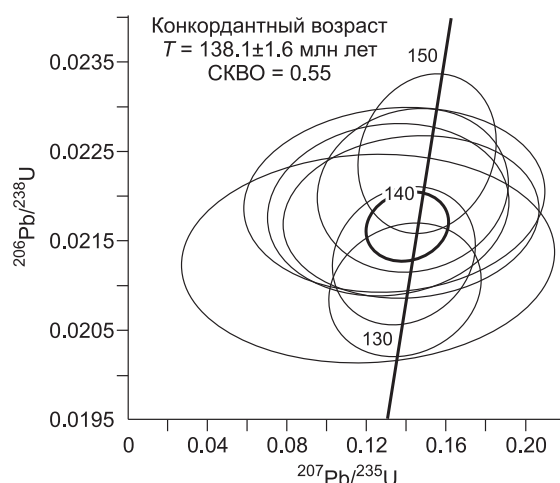
$I_{\text{Sr}} = 0.7058 \pm 0.0029$ ) и совпало с временем проявления позднемезозойского внутриплитного вулканизма Юго-Западного Забайкалья.

С целью проверки полученного значения из этих же сланцев по циркону был определен уран-свинцовый возраст (SHRIMP-II). В силлиманитсодержащих породах месторождения этот минерал распространен в основном в продуктах прогрессивного этапа метаморфизма, где он ассоциирует с силлиманитом, кварцем, мусковитом, рутилом, титаногематитом, монацитом. Характер его выделений показан на рис. 2. Циркон слагает одиночные прозрачные зерна идиоморфной, округлой формы и размером, обычно не превышающим десятые доли миллиметра, реже встречаются небольшие скопления зерен. Облик выделений циркона подобен новообразованиям, возникшим в результате метаморфических процессов, для которых характерны округлые, эллипсоидальные зерна [Краснобаев, 1986].

Для анализа использован циркон из кварц-мусковит-силлиманитовой части сланцев. Минерал в них представлен полигональными изометричными зернами и кристаллами, включенными в кварц (см. рис. 2, б). Электронно-зондовым анализом в них установлено присутствие до 1.02 мас.%  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ , а в отдельных зернах до 2.22 мас.%  $\text{HfO}_2$ . Сканированием зерен (электронный микроскоп, микрозонд) зонального распределения примесей в них не установлено. Не обнаружена зональность и при катодоллюминесцентном изучении минерала, что [Каулина, 2001] является одним из признаков метаморфического происхождения.

Всего проведено 10 измерений в 10 зернах. Результаты их представлены в табл. 2. Значения возраста всех определений легли в интервал 130.3—146.7 млн лет. Наиболее реальный конкордантный возраст (рис. 3) составил  $138.1 \pm 1.6$  млн лет (СКВО = 0.55).

Рис. 3. Диаграмма с конкордией для цирконов из силлиманитовых сланцев Кяхтинского месторождения.



## ОБСУЖДЕНИЕ

На большей части территории Западного Забайкалья верхняя граница проявления регионального метаморфизма оценивается в основном поздним рифеем. Принято считать также, что палеозойские породы только в небольшой мере были подвергнуты метаморфическим процессам, а в мезозое они вообще не проявились.

Метаморфизм пород Кяхтинского месторождения с довольно быстрым (на протяжении нескольких километров) переходом от относительно слабоизмененных к высокотемпературным образованиям Т.М. Дембо (1959 г.) связал с воздействием интрузии, не вскрытой эрозионными процессами.

Неожиданными оказались мезозойские датировки в метаморфических породах Заганского хребта. Полученный Е.В. Скляровым с соавторами [Скляров и др., 1997] молодой возраст метаморфизма был связан с формированием метаморфических ядер, при крупноамплитудном растяжении, последовавшим за коллизионно-субдукционными процессами при закрытии Монголо-Охотского океана. Наши данные подтвердили существование в этот период условий для проявления высокотемпературного метаморфизма. Следует отметить, что полученные возрастные данные по региональному метаморфизму амфиболитовой фации в пределах Джугджуро-Становой складчатой области также имеют раннемеловой возраст (140 млн лет) [Ларин и др., 2006]. Проявление этого метаморфизма авторы связывают с закрытием Монголо-Охотского океана и коллизией Амурской микроплиты с южной частью Сибирского кратона, а также с Селенгино-Становым супертеррейном.

В числе других причин, обусловивших метаморфические процессы в этом регионе, могла стать мезозойская тектономагматическая активность. Она сопровождалась интенсивным внутриплитным вулканизмом, образованием позднеюрских—раннемеловых рифтогенных впадин [Гордиенко и др., 1999]. Можно полагать, что на отдельных участках в зонах коллизии, эти процессы могли сопровождаться динамотермальным метаморфизмом высоких ступеней. Некоторое подобие таких процессов описано в Ольхонской коллизионной зоне [Донская и др., 2005]. О масштабах термального воздействия в пределах полосы распространения внутриплитного кайнозойско-мезозойского базальтоидного вулканизма, протягивающегося от Алдана до центральных районов Монголии, свидетельствует потеря радиогенного аргона во всех породах независимо от их происхождения и возраста [Рипп, 1984].

Полученные данные определяют необходимость проведения специальных геохронологических исследований метаморфических пород на площади проявления позднемезозойской тектономагматической активности. Подтверждения связи с ней метаморфизма могут существенно изменить представления о геологических процессах Забайкалья.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-2153.2008.5, и программы ОНЗ 10.3.

## ЛИТЕРАТУРА

**Гордиенко И.В., Баянов В.Д., Климук В.С., Пономарчук В.А., Травин А.В.** Состав и возраст ( $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ ) вулканогенных пород Чикой-Хилокской рифтогенной впадины в Забайкалье // Геология и геофизика, 1999, т. 40 (4), с. 583—591.

**Донская Т.В., Скляров Е.В., Мазукабзов А.М.** Синкинематические интрузии обрамления заганского комплекса метаморфического ядра (Юго-Западное Забайкалье): геохимия и петрогенезис // Геология и геофизика, 2000, т. 41 (10), с. 1369—1378.

**Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Скляров Е.В., Пономарчук В.А., Кошкин В.В.** Основные временные рубежи в эволюции комплекса метаморфического ядра Бургутуйского хребта (Юго-Западное Забайкалье) // II Российская конференция по изотопной геохронологии «Изотопная геохронология в решении проблем геодинамики и рудогенеза». СПб., 2003, с. 153—156.

**Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Федоровский В.С., Поллер У., Вингейт М.** Петрология и геохронология гранулитов Ольхонской коллизионной системы (комплексы Хадарта и Хобой) // Материалы научного совещания по программе фундаментальных исследований. Т. 1. Иркутск, 2005, с. 84—86.

**Избродин И.А., Рипп Г.С., Карманов Н.С.** Сульфатсодержащий апатит Кяхтинского силлиманитового месторождения (Западное Забайкалье) // Зап.РМО, 2006, № 2, с. 71—82.

**Избродин И.А., Рипп Г.С., Карманов Н.С.** Фосфатная и сульфат-фосфатная минерализация силлиманитсодержащих пород Кяхтинского месторождения (Западное Забайкалье) // Зап.РМО, 2008, № 3, с. 94—106.

**Каулина Т.В.** Особенности метаморфических цирконов с позиций кристаллогенезиса // Материалы XVI симпозиума по геохимии изотопов им. академика А.П. Виноградова. М., 2001, с. 98—99.

**Краснобаев А.А.** Циркон как индикатор геологических процессов. М., Наука, 1986, с. 49—51.

**Ларин А.М., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Глебовицкий В.А., Великославинский С.Д., Сорокин А.А., Яковлева С.З., Федосеенко А.М., Анисимова И.В.** Раннемеловой возраст регионального метаморфизма становой серии Джугджуро-Становой складчатой области: геодинамические следствия // Докл. РАН, 2006, т. 409, № 2, с. 222—226.

**Мазукабзов А.М., Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Складков Е.В., Пономарчук В.А., Сальникова Е.Б.** Структура и возраст комплекса метаморфического ядра Бургутуйского хребта (Юго-Западное Забайкалье) // Докл. РАН, 2006, т. 406, № 6, с. 788—792.

**Рипп Г.С.** Геохимия эндогенного оруденения и критерии прогноза в складчатых областях. Новосибирск, Наука, 1984, 77 с.

**Ронкин Ю.Л., Матуков Д.И., Пресняков С.Л., Лепехина Е.И., Лепехина О.П., Попова О.Ю.** «In situ» U-Pb SHRIMP датирование цирконов нефелиновых сиенитов Бердяшского массива (Южный Урал) // Литосфера, 2005, № 1, с. 132—142.

**Складков Е.В., Мазукабзов А.М., Мельников А.И.** Комплексы метаморфических ядер кордильерского типа. Новосибирск, Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1997, 229 с.

**Хлестов В.В.** Генетические особенности Кяхтинского и Китойского силлиманитовых месторождений (Юго-Западное Прибайкалье): Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Новосибирск, 1964, с. 1—18.

**Хлестов В.В., Ушакова Е.Н.** Петрография и генезис Кяхтинского силлиманитового месторождения Бурятской АССР // Вопросы теоретической и экспериментальной минералогии. Иркутск, 1963, № 1, с. 197—239.

**Donskaya T.V., Windley B.F., Mazukabzov A.M., Kröner A., Sklyarov E.V., Gladkochub D.P., Ponomarchuk V.A., Badarch G., Reichow M.K., Hegner E.** Age and evolution of Late Mesozoic metamorphic core complexes in southern Siberia and northern Mongolia // J. Geol. Soc. London, 2008, v. 165, p. 405—421.

**Wiedenbeck M., Alle P., Corfu F., Griffin W., Meier M., Oberli F., von Quadt A., Roddick J. C., Spiegel W.** Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analysis // Geostand. Newslett. 1995, v. 19, p. 1—23.

**Williams J.S.** U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. Application of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes // Rev. Econ. Geol., 1998, v. 7, p. 1—35.

*Рекомендована к печати 1 апреля 2009 г.  
В.С. Шацким*

*Поступила в редакцию  
28 ноября 2008 г.*