

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/293143563>

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of ductile deformation in the Irtysch shear zone (Eastern Kazakhstan)

Article · January 2001

CITATIONS

33

READS

66

8 authors, including:



Alexey Travin

Sobolev Institute of Geology and Mineralogy

385 PUBLICATIONS 3,039 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



A. Boven

Royal Museum for Central Africa

44 PUBLICATIONS 1,469 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Vladimir G. Vladimirov

Sobolev Institute of Geology and Mineralogy

37 PUBLICATIONS 334 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



K. Theunissen

Royal Museum for Central Africa

7 PUBLICATIONS 157 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



the Neoproterozoic - Paleozoic deposits in Central Africa [View project](#)



A multidisciplinary study of Pacific-type orogenic belts and development of a holistic model linking evolution of oceans, their active margins and mantle magmatism [View project](#)

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ДАТИРОВАНИЕ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В ИРТЫШСКОЙ СДВИГОВОЙ ЗОНЕ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)

© 2001 г. А. В. Травин*, А. Бовен^{2*}, А. В. Плотников*, В. Г. Владимиров*,
К. Тениссен^{3*}, А. Г. Владимиров*, А. И. Мельников^{4*}, А. В. Титов*

*Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии СО РАН
630090 Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3
e-mail: travin@unigtm.nsc.ru

^{2*}Свободный Брюссельский университет, лаборатория геохронологии
10540 Брюссель, Плейнлаан 2, Бельгия

^{3*}Отделение геологии и минералогии Королевского музея Центральной Африки
В-3080 Тервурен, Бельгия

^{4*}Институт земной коры СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128

Поступила в редакцию после доработки 05.02.2001 г.

Как правило, характерной чертой сдвиговых зон является многократность проявления тектонических импульсов [1, 2 и др.]. Это приводит к высокой степени гетерогенности вещества, тесной ассоциации разновозрастных минералов, а подчас генераций одного минерала. В этих условиях при проведении изотопного датирования требуется существенно большее по сравнению с обычными методами пространственное разрешение. Предлагаемый нами подход основывается на сопоставлении результатов обычного $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования мономинеральных фракций методом ступенчатого прогрева и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования с помощью абляции ультрафиолетовым лазером. Основными преимуществами этой относительно новой методики испарения вещества [3] являются практически одинаковая скорость испарения (атомизации) для обладающих различной прозрачностью минералов, в том числе плагиоклаза, калиевого полевого шпата и высокое пространственное разрешение (размер, кратера, образующегося после одного лазерного импульса – 2 мкм).

Применение комбинированного $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования минералов с различной температурой закрытия К–Аг изотопной системы позволяет получить дополнительную геохронологическую и тектоническую информацию (выявить этапы эндогенной активизации, скорости охлаждения отдельных тектонических блоков и т.д.). В данной работе изучены бластомилониты и тектонизированные гнейсы крупной иртышской сдвиговой зоны (ИСЗ), существующие взгляды на основные

черты геологического строения и эволюции которой отражены в работах [4–6].

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ПОЛОЖЕНИИ И ВНУТРЕННЕМ СТРОЕНИИ ИРТЫШСКОЙ СДВИГОВОЙ ЗОНЫ

ИРТЫШСКАЯ зона представляет собой окраинноконтинентальный сдвиг, ограничивающий с запада Алтайскую горную область. Данный линиямент (сутура) имеет северо-западное простирание и протяженность более 1000 км при ширине не более 50 км. В северной части (рисунок). Иртышская зона отделяет расположенный на северо-востоке Рудноалтайский террейн, представленный островодужными комплексами (D_2 – C_3), от Иртыш-Зайсанского террейна на юго-западе, представленного аккреционно-коллизийными образованиями, включающими меланжированные офиолиты, эклогит-глаукофансланцевые комплексы и олистостромы (D_3 – C_1) в составе Чарского пояса, а также континентальные молассы (C_2). По современным представлениям [7, 8], заложение Иртышского сдвига было связано с закрытием Обь-Зайсанского палеоокеанического бассейна (C_1 – C_3) в результате косоугольной коллизии Джунгарской микроплиты с Сибирским континентом.

В Иртыш-Зайсанском домене развит структурно сопряженный с Иртышской зоной Калбинский батолит, интрузивные породы которого являются преимущественно типичными гранитоидами S-типа [9, и др.]. Батолит представлен исключительной по своим размерам цепью интрузивов протяженностью более 500 км. По результатам изотопного датирования и геологическим данным Калбинские гранитоиды являются постколлизийными, а возраст гранитов главной ин-

*Датирование выполнено в Свободном Брюссельском университете (Бельгия).

**Датирование выполнено в Объединенном институте геологии, геофизики и минералогии СО РАН (Новосибирск).

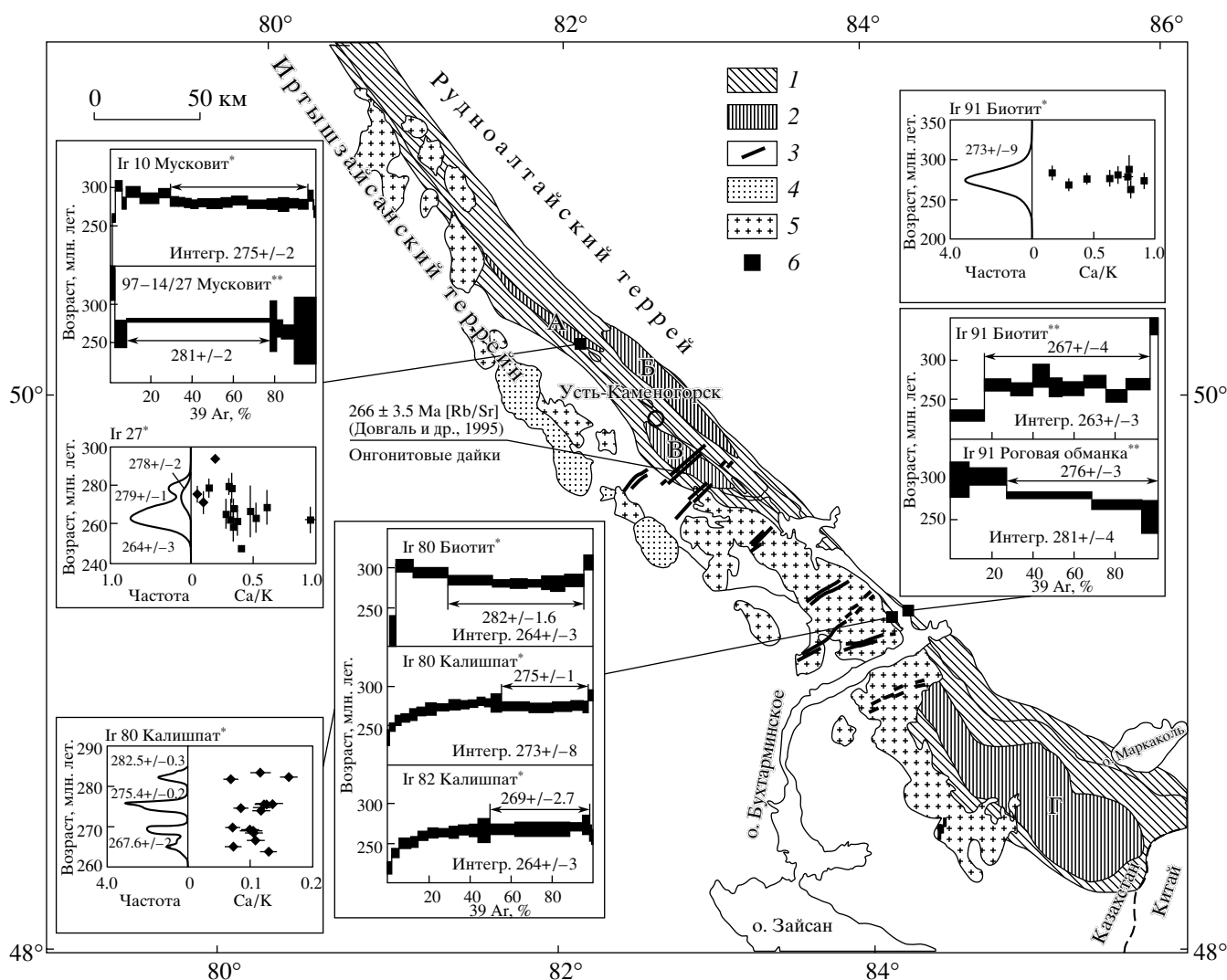


Рис. 1. Геологическая схема северной части Иртышской сдвиговой зоны, с вынесенными точками опробования и результатами датирования.

1 – blastsмилолиты зеленосланцевой фации; 2 – тектонические линзы глубоко метаморфизованных пород А) Предгорненская, Б) Согренская, В) Чечекская, Г) Курчумская; 3 – дайки онгонитов, а также основных пород и лампрофиров; 4 – Монастырский гранитоидный комплекс; 5 – Калбинский гранитоидный комплекс; 6 – точки отбора образцов. На врезках в координатах доля выделенного ^{39}Ar – возраст показаны результаты ступенчатого прогрева, в координатах Ca/K – возраст показаны результаты лазерной абляции. На диаграммах с результатами лазерной абляции дополнительно показана интегральная плотность вероятности (для 95% интервала доверительной вероятности).

трузивной фазы собственно Калбинского комплекса определяется как раннепермский [10]. Вместе с тем, развитие Калбинского батолита (магматическая активность) продолжалось до среднего триаса включительно. Гранитоидный пояс в основном удален от сдвиговой зоны примерно на 20–40 км, и не огнейсован, однако, в районе Бухтарминского водохранилища гранитоиды ранних фаз внедрения калбинского комплекса непосредственно примыкают к зоне сдвига и интенсивно катаклазированы.

В геологическом строении собственно Иртышской сдвиговой зоны участвуют тектонические

блоки (пластины) глубокометаморфизованных пород, частично подвергшихся blastsмилолитизации, которые картируются на всей протяженности линиамента. Наиболее крупные из таких пластин известны как Предгорненский, Согринский, Чечекский и Курчумский блоки, рисунок). Существует две основных точки зрения на возраст и генезис этих глубокометаморфизованных образований. Согласно первой, они имеют палеозойский возраст и образовались в результате теплового воздействия гранитоидов и габброидов, внедрившихся в зону смятия [4]. Согласно второй точке зрения, литоны глубокометаморфизованных пород рассматриваются в качестве выступов (фраг-

ментов) древнего фундамента [5, 11, и др.]. Среди метаморфических литопластин можно выделить два главных типа. К первому типу относятся блоки кианит-ставролитсодержащих пород эпидот-амфиболитовой фации (наиболее крупный блок – Предгорненский), а образования второго типа представлены пластинами, сложенными метаморфическими образованиями более низких давлений и повышенных температур (различные мигматиты и гнейсы амфиболитовой фации).

Последние структурные (включая микроструктурные) исследования [12, 13] показали, что на всем протяжении ИСЗ доминируют разномащтабные левосдвиговые структурно-вещественные парагенезисы, при этом первые результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования синтеформационных слюд [14] позволяют предполагать, что главный импульс пластических левосдвиговых деформаций произошел ~280 млн. лет назад.

В настоящей работе приводятся результаты комплексного $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования минералов бластомилонитов и тектонизированных сланцев и гнейсов, характеризующихся сдвиговой С/С' микроструктурой с признаками левосторонних хрупко- и вязкопластичных деформаций. Изученные образцы отобраны в районе Бухтарминского водохранилища (рисунок) с противоположных флангов ИСЗ, прилегающих к Рудноалтайскому и Иртыш-Зайсанскому террейнам (район Васильевской переправы), а также в районе п. Предгорное.

Датирование методом ступенчатого прогрева выполнено в Свободном Брюссельском университете (Бельгия) на масс-спектрометре MAP-216 с использованием индукционной системы с молибденовым тиглем. Образцы облучались на BR-2 реакторе бельгийского центра ядерных исследований (г. Мол). В качестве мониторов использовались биотит LP-6, роговая обманка MMhb-1. Датирование методом лазерной абляции по методике, аналогичной [3] выполнено с использованием Nd-YAG ультрафиолетового лазера фирмы Quntel (Франция).

Датирование методом ступенчатого прогрева выполнено также в Объединенном институте геологии, геофизики и минералогии СО РАН (Новосибирск) на масс-спектрометре noble gas 5400 фирмы Micromass (Англия) с использованием кварцевого реактора с внешним нагревом. Образцы облучались на ВРТ-Т реакторе (Томск). В качестве мониторов использовались биотиты LP-6 и MCA-1№.

РЕЗУЛЬТАТЫ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ДАТИРОВАНИЯ

Васильевская переправа, западный фланг ИСЗ.

По синдвиговому биотиту из бластомилонита зеленосланцевой фации по граниту (обр. Ir-80) методом ступенчатого прогрева по плато получен воз-

раст, равный 282 ± 1.6 млн. лет (рисунок). В возрастном спектре калиевого полевого шпата после “лестницы вверх” выделяется плато, по которому рассчитан возраст 275 ± 1.1 млн. лет. Калиевый полевой шпат из обр. Ir-82 (лейкогранитах дайка, секущая зону деформации в 3 м от места отбора бластомилонита Ir-80), показал аналогичный возрастной спектр, значение возраста плато которого (269 ± 2.7 млн. лет) меньше, чем для полевого шпата обр. Ir-80 (рисунок). Распределение значений $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраста в зерне калиевого полевого шпата обр. Ir-80 (размером 2×3 мм) исследовалось методом лазерной абляции. На графике интегральной плотности вероятности (19 определений) фиксируются три отдельных пика, среднее для которых составило 282.5 ± 0.3 , 275.4 ± 0.2 и 267.6 ± 2 млн. лет (рисунок). Первой и второй группе возрастов соответствуют точки, распложенные на прозрачных участках зерна, в то время как третьей, наиболее молодой группе возрастов, соответствуют точки, распложенные на мутноватых участках. мутноватые участки располагаются в краевых зонах зерна и вдоль многочисленных трещин. Возраст, полученный методом лазерной абляции для трех точек из прозрачных зон калиевого полевого шпата бластомилонита, совпадает с возрастом, полученным по ассоциирующему биотиту, для которого методами микроструктурного анализа установлена синдвиговая природа. Вероятно, это свидетельствует о синтетектоническом образовании минералов во время импульса пластических деформаций ~282 млн. лет назад. С другой стороны, по возрасту, полученному для точек из мутноватых зон калишпата, можно сделать вывод о том, что последнее термальное событие, приведшее к переустановке К–Аг системы данных участков, произошло 267.6 ± 2 млн. лет назад. Близкий возраст получен также для полевого шпата из образца лейкогранита Ir-82. По результатам микроструктурных наблюдений, лейкогранит Ir-82 тоже деформирован в сдвиговых условиях, согласно с общей структурой Иртышской зоны. Наиболее вероятно, что внедрение дайки происходило синхронно с повторным импульсом активизации сдвиговых деформаций. Об интенсивности импульса можно судить по поведению изотопных систем минералов. Изотопная система биотита бластомилонита Ir-80 оказалась ненарушенной, что говорит о кратковременности импульса, либо о малой температуре преобразований. Тот факт, что краевые и распложенные вдоль трещин зоны полевого шпата претерпели изменение и их изотопная система оказалась омоложенной, ставит под сомнение соответствие возрастов промежуточной группы, полученных методом лазерной абляции (275.4 ± 0.2 млн. лет, рисунок), реальному геологическому событию. Поскольку при ступенчатом прогреве возможна суперпозиция аргона

из различных зон, подобное сомнение относится и к полученному этим методом для полевого шпата Ir-80 возрасту плато.

Васильевская переправа, восточный фланг ИСЗ. Из образца бластомилонита по амфиболиту Ir-91, отобранного из маломощной тектонической пластины, выделена первичная роговая обманка. Для нее методом ступенчатого прогрева по плато получен возраст, равный 276 ± 3 млн. лет, при интегральном возрасте – 281 ± 3 млн. лет (рисунок). Аргон из более позднего актинолита этого образца (навеска – 5 мг) был выделен полным плавлением, и рассчитанный возраст равен 277.6 ± 4 млн. лет. Температура пика метаморфизма для образца Ir-91 по данным расчета Hbl-P1 термометра [15] составляла $600 \pm 40^\circ\text{C}$. К этому значению близка температура закрытия K–Ar системы роговой обманки [16]. Поэтому полученный по роговой обманке Ar–Ar-возраст, наиболее вероятно, соответствует возрасту пика метаморфизма. Монокристаллы актинолита не деформированы и ориентированы параллельно синкинематическим плоскостям скальвания “С” бластомилонита, следовательно его кристаллизация, скорее всего, происходила в условиях сдвигового пластического течения. Этот минерал принадлежит к позднему по отношению к роговой обманке парагенезису, и очевидно, формировался при более низкой температуре. Тем не менее, датировки роговой обманки и актинолита в пределах аналитической ошибки совпадают, поэтому можно предположить, что ранний и более поздний тектонометаморфические этапы, ответственные за образование, соответственно, первичной роговой обманки и синсдвигового актинолита образца Ir-91, были сближены во времени. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изучение (лазерная абляция) синтетектонического биотита, располагающегося в тенях давления вокруг порфирокластов роговой обманки и плагиоклаза, показало однородность распределения возраста при среднем значении 273 ± 9 млн. лет (рисунок). Большой разброс, скорее всего, связан с контаминацией во время лазерной абляции аргоном из ассоциирующих минералов, поскольку биотит находится в очень тонких слоях. В то же время для монофракции биотита из этой породы методом ступенчатого прогрева получен возраст плато 267 ± 4 млн. лет (рисунок), который полностью совпадает по значению с “молодой” группой возрастов минералов пород западного борта ИСЗ.

Район п. Предгорное. Из пород Предгорненского метаморфического блока (рисунок) были изучены кварц-мусковитовый гранатсодержащий сланец (обр. Ir-10), кианит-ставролитовый сланец (обр. 97–14/27) и бластомилонитовый гнейс (обр. Ir-27). Для синсдвигового мусковита образца Ir-10 методом ступенчатого прогрева по плато получен возраст 281 ± 2.4 млн. лет, а мусковита образца 97–14/27 – 281 ± 2 млн. лет (рисунок).

Совпадение этих возрастов с датировками района Васильевской переправы свидетельствует о пространенности первого импульса пластических деформаций в масштабе всей ИСЗ. Калиевый полевой шпат и биотит из тонкозернистого бластомилонитового гнейса Ir-27 исследовались с помощью лазерной абляции. По бласту калиевого полевого шпата размером 0.3×0.2 мм выполнено два определения, среднее для которых составило 278 ± 2 млн. лет, а для биотита на графике плотности вероятности выделяются два возрастных пика со значениями 279 ± 1 и 264 ± 3 млн. лет (рисунок), что свидетельствует в пользу ассоциации двух разновозрастных генераций.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Комбинированное (ступенчатый прогрев и УФ-лазерная абляция) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование синтетектонических минералов из пород северной части Иртышской сдвиговой зоны позволяет выделить два импульса хрупко- и вязкопластических деформаций, с возрастом соответственно 283–276 и 272–265 млн. лет, что отвечает ранней перми. Во всех случаях изотопная система ассоциирующих минералов (биотит, мусковит, роговая обманка, актинолит) сохранила память о раннем событии. Это свидетельствует о кратковременности повторного импульса и температуре, не превышающей $300\text{--}40^\circ\text{C}$, поскольку в этом диапазоне находится температура закрытия K/Ar системы биотита и мусковита [17, 18]. Со вторым тектоническим этапом, очевидно, было связано внедрение системы онгонитовых даек, секущих породы Чечекского метаморфического блока и его обрамления (рисунок). Дайки структурно приурочены к присдвиговой системе трещин срыва, а их Rb–Sr-изотопный возраст составляет 266 ± 7 млн. лет [19].

Обращает на себя внимание тот факт, что точка отбора бластомилонитизированного амфиболита Ir-91 находится сегодня на одном эрозионном срезе с остальными, в то время, как 280 млн. лет назад она была на большой глубине, поскольку температура закрытия роговой обманки примерно на 200°C выше, чем у слюд. Это свидетельствует о наличии существенной взбросовой компоненты во время более поздних (по отношению к возрасту 280 млн. лет) импульсов тектонической активности, что обеспечило эксгумацию изученной тектонической линзы амфиболитов. Результаты проведенных ранее структурных исследований крупных блоков метаморфических пород внутри ИСЗ также показали, что наряду с признаками сдвиговых движений постоянно присутствуют индикаторы взбросовых дислокаций [13].

Авторы выражают благодарность Н.Л. Добрецову, П. Монье, М.С. Козлову, Н.А. Берзину, В.А. Пономарчуку за участие в совместных полевых работах и обсуждение материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 98-05-65294, 99-05-64727, 00-05-65308).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Harrison T.M., Leloup P.H., Ryerson F.J. et al.* Diachronous initiation of transtension along the Ailao Shan–Red River shear zone, Yunnan and Vietnam // *The tectonic evolution of Asia*. Cambridge, Cambridge University press, 1996. P. 108–226.
2. *Lips A.L.W., White S.H., Wijbrans J.R.* $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ laser-probe direct dating of discrete deformational events: a continuous record of early Alpine tectonics in the Pelagonian zone, NW Aegean area, Greece // *Tectonophysics*, 1998. V. 298. P. 133–153.
3. *Kekkey S.P., Arnaud N.O., Turner S.P.* High spatial resolution $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ investigations using an ultra-violet laser probe extraction technique // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1994. V. 58. № 16. P. 3519–3525.
4. *Нехорошев В.П.* О “докембрии” Алтая и о возрасте иртышского метаморфического комплекса // *Изв. ВМО*, 1939. Сер. 2. Ч. 168. Вып. 3. С. 470–479.
5. *Хорева Б.Я.* Геологическое строение, интрузивный магматизм и метаморфизм Иртышской зоны смятия. Москва. Геолтехиздат, 1963. 203 с.
6. *Добрецов Н.Л., Берзин Н.А., Буслов М.М., Ермиков В.Д.* Общие проблемы эволюции Алтайского региона и взаимоотношения между строением фундамента и развитием неотектонической структуры // *Геология и геофизика*, 1995. Т. 36. № 10. С. 5–19.
7. *Берзин Н.А., Колман Р.К., Добрецов Н.Л. и др.* Геодинамическая карта западной части Палеоазиатского океана // *Геология и геофизика*, 1994. Т. 35. № 7–8. С. 8–28.
8. *Sengor A.M.C., Natal'in V.A., Burtman V.S.* Altaids, evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia // *Nature*. 1993. V. 364. № 6435. P. 299–307.
9. *Лопатников В.В., Изох Э.П., Ермолов П.В. и др.* Магматизм и рудоносность Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана. М.: Наука, 1982. 246 с.
10. *Владимиров А.Г., Козлов М.С., Шокальский С.П. и др.* Позднепалеозойский–раннемезозойский гранитоидный магматизм Алтая // *Геология и геофизика*, в печати.
11. *Ермолов П.В., Полянский Н.В.* Метаморфические комплексы зоны сочленения Рудного Алтая и редкометальной Калбы // *Геология и геофизика*. 1980. № 3. С. 49–57.
12. *Melnikov A., Travin A., Plotnikov A. et al.* Kinematics and Ar/Ar geochronology of the Irtysh Shear Zone in NE Kazakhstan // *IGCP-420. Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from East–Central Asia First Workshop, Abstracts Volume*, Urumqi, China, 1998. P. 30.
13. *Владимиров В.Г., Травин А.В., Плотников А.В. и др.* Структурный анализ Иртышской зоны хрупко- и вязкопластичного течения горных пород (Северо-Восточный Казахстан) // *Материалы международного научного семинара “Структурный анализ в геологических исследованиях”*. Томск: ЦНТИ, 1999. С. 60–64.
14. *Travin A.V., Ponomarchuk V.A., Ponomareva A.P. et al.* Implication of stepwise heating and UV laser ablation ^{40}Ar – ^{39}Ar and U–Pb data on the timing of ductile movement in the Irtysh Shear Zone and the Kalbinsky granite magmatism (East Kazakhstan) // *Mineral. Magazine*. 1998. V. 62A. Part. III. P. 1535–1536.
15. *Holland T., Blundy J.* Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole–plagioclase thermometry // *Contribs. Mineral. and Petr.*, 1994. V. 116. P. 433–447.
16. *Harrison T.M.* Diffusion of ^{40}Ar in Hornblende // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1981. V. 78. P. 324–331.
17. *Harrison T.M., Duncan I. and McDougall I.* Diffusion of ^{40}Ar in biotite: temperature, pressure and compositional effects // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1985. V. 49. P. 2461–2468.
18. *Robbins G.A.* Radiogenic argon diffusion in muscovite under hydrothermal conditions // *M.S. thesis*, 1972, Brown Univ., Providence, Rhode Island, 88 p.
19. *Довгаль В.Н., Дистанова А.Н., Саботович С.А. и др.* О происхождении позднепалеозойских литий–фтористых гранитоидов Юго-Западного Алтая // *Геология и геофизика*. 1995. Т. 36. № 3. С. 64–72.