

На правах рукописи



Заика Виктор Александрович

**ВОЗРАСТ, ИСТОЧНИКИ, УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ
СЛАБОМЕТАМОРФИЗОВАННЫХ ОСАДОЧНЫХ
КОМПЛЕКСОВ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ МОНГОЛО-ОХОТСКОГО
ПОЯСА: РЕЗУЛЬТАТЫ U-Th-Pb, Lu-Hf И Sm-Nd ИЗОТОПНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ВДОЛЬ ДЖАГДИНСКОГО ТРАНСЕКТА**

Специальности 25.00.01 – общая и региональная геология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Благовещенск
2022

Работа выполнена в лаборатории петрогенезиса и геодинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук
Сорокин Андрей Анатольевич

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
главный научный сотрудник ФГБУН ИТиГ
им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН
Кириллова Г.Л.;
кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник ФГБУН ИЗК СО
РАН Демонтерова Е.И.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт геологии и
геохронологии докембрия Российской
академии наук (г. Санкт-Петербург)

Защита диссертации состоится «8» сентября 2022 г. в 14 ч. 00 мин. на заседании диссертационного Д. 003.022.02 совета при Институте Земной Коры СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИЗК СО РАН и на сайте <http://earth.crust.irk.ru/images/upload/newsfull223/3467.pdf>

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять ученому секретарю совета к.г.-м.н. Б.С. Данилову по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, или e-mail: boris@crust.irk.ru

Автореферат разослан «__» июля 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д. 003.022.02
кандидат геолого-минералогических наук



Б.С. Данилов

Актуальность исследования. Монголо-Охотский складчатый пояс (МОСП) является одним из наиболее значимых структурных элементов Восточной Азии. В настоящее время его принято рассматривать в качестве реликта одноименного палеоокеана (см. обзор в [Парфенов и др., 1999, 2003 и др.]), закрывшегося в результате коллизии Северо-Азиатского кратона и Амурского супертеррейна. Разработанные к настоящему времени геодинамические модели формирования МОСП имеют во многом противоречивый характер. При этом наиболее дискуссионными остаются вопросы о возрасте и характере проявления аккреционных и коллизионных процессов.

Одним из необходимых условий для преодоления этих неопределенностей является получение информации о возрасте, составе и источниках сноса осадочных последовательностей, непосредственно участвующих в строении МОСП. В силу того, что они очень скупо охарактеризованы фауной, главным источником информации об их возрасте являются геохронологические данные для детритовых цирконов.

В этой связи мы провели U-Th-Pb и Lu-Hf изотопные исследования детритовых цирконов, а также Sm-Nd исследования валового состава слабометаморфизованных осадочных пород в поперечном сечении пояса в районе хребта Джагды, назвав этот район Джагдинским трансектом, включающим (с севера на юг) Унья-Бомский, Джагдинский и Тукурингрский террейны.

Цель работы: на основе данных о геологическом строении, а также результатов минералого-петрографических, U-Th-Pb и Lu-Hf изотопных исследований детритовых цирконов, Sm-Nd изотопных исследований валового состава метаосадочных пород вдоль Джагдинского трансекта, определить граничные условия для геодинамической модели формирования пояса.

Основные задачи исследования:

1. Установить возраст популяций детритовых цирконов в метаосадочных породах, участвующих в строении Унья-Бомского, Джагдинского и восточной части Тукурингрского террейнов; определить нижние возрастные границы накопления указанных пород.

2. На основе результатов U-Th-Pb и Lu-Hf изотопных исследований детритовых цирконов, Sm-Nd изотопных исследований валового состава метаосадочных пород установить главные источники кластического материала указанных террейнов.

3. Выявить граничные условия, имеющие определяющее значение для разработки геодинамической модели формирования МОСП.

Фактический материал. В основе диссертации лежат материалы, собранные непосредственно автором в течение полевых исследований в 2017-2019 гг., в ходе которых были изучены стратотипические разрезы палеозойских осадочных и вулканогенно-осадочных отложений Джагдинского трансекта. Авторская коллекция образцов характеризует практически все выделяемые стратиграфические подразделения вдоль трансекта. Для обоснования защищаемых положений изучено

более 200 шлифов, выполнен анализ Sm-Nd состава 24 образцов в ИГГД РАН (г. Санкт-Петербург), проведены U-Th-Pb геохронологические исследования детритовых цирконов в 12 образцах (более 120 зерен в каждом образце) методом LA-ICP-MS, а также Lu-Hf изотопные исследования цирконов в этих же 12 образцах (20-25 зерен в каждом образце) в Геохронологическом Центре Аризонского Университета (Arizona LaserChron Center, USA). Детальное описание оборудования и аналитических процедур приведено на сайте лаборатории (www.laserchron.org). Помимо оригинальных материалов, в диссертации синтезированы опубликованные к настоящему времени стратиграфические, палеонтологические, структурные данные для Унья-Бомского, Джагдинского и восточной части Тукурингского террейнов.

Защищаемые положения:

1). Нижние границы возрастов осадочных комплексов Унья-Бомского, Джагдинского и Тукурингского террейнов находятся в интервале от среднего триаса до конца ранней юры. Эти комплексы представляют собой набор тектонических пластин, входящих в состав раннемезозойского аккреционного комплекса, а не фрагменты единой осадочной последовательности, как предполагалось ранее.

2). Поступление материала в период накопления осадочных комплексов Унья-Бомского, Джагдинского и Тукурингского террейнов происходило в большей степени со стороны Амурского супертеррейна. Это указывает на то, что раннемезозойский аккреционный комплекс был сформирован перед северной окраиной Амурского супертеррейна.

3). Отсутствие в осадочных породах Молого-Охотского пояса цирконов моложе, чем 173 млн лет, и, одновременно, широкое присутствие таких и более молодых цирконов в орогенных осадочных бассейнах по обе стороны от складчатого пояса является следствием закрытия океанического бассейна на рубеже ранней и средней юры в результате аккреционно-коллизионных процессов и формирования на его месте орогенного сооружения.

Научная новизна работы.

1. Впервые установлены нижние границы накопления слабометаморфизованных осадочных комплексов Унья-Бомского, Джагдинского и восточной части Тукурингского террейнов.

2. Установлено, что участвующие в строении Джагдинского и восточной части Тукурингского террейнов метаосадочные комплексы имеют не палеозойский, а раннемезозойский возраст.

3. Показано, что слабометаморфизованные осадочные и вулканогенно-осадочные комплексы Монголо-Охотского пояса вдоль Джагдинского трансекта представляют собой не единую последовательность, как предполагалось ранее, а набор тектонических пластин.

4. Получены геохронологические свидетельства того, что «закрытие» Монголо-Охотского бассейна и формирование на его месте орогенного сооружения произошло на рубеже ранней и средней юры.

Практическая значимость. Полученные в процессе выполнения работы и опубликованные автором результаты могут быть использованы при корреляции осадочных комплексов восточной части Монголо-Охотского складчатого пояса при проведении геолого-съёмочных работ, составлении легенд к геологическим картам нового поколения.

Объем и структура работы. Диссертационная работа общим объемом 154 страницы состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы из 99 наименований, включая 40 рисунков, 3 таблицы.

Публикации и апробация результатов работы. По теме диссертационной работы опубликовано 6 статей в журналах, включенных в перечень научных изданий ВАК. Кроме того, все указанные публикации входят в систему цитирования Web-of-Science. Основные положения диссертационной работы были представлены на конференциях "Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) (Иркутск, ИЗК СО РАН, 2017, 2018, 2019), "Методы и геологические результаты изучения изотопных геохронометрических систем минералов и пород" (Москва, ИГЕМ РАН, 2018), "Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии" (Благовещенск, ИГиП ДВО РАН, 2018).

Благодарности. Работа выполнена в лаборатории петрогенезиса и геодинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук в 2016-2019 гг под руководством д.г.-м.н. А.А. Сорокина, которому автор выражает глубокую признательность. Автор искренне благодарен член-корреспонденту РАН А.П. Сорокину, а также А.Б. Котову, В.П. Ковачу, С.Д. Великославинскому за полезные консультации на всех стадиях исследования и написания диссертации, сотрудникам аналитических подразделений Института геологии и природопользования ДВО РАН (Е.Н. Воропаевой, В.В. Глушенковой, О.Г. Медведевой, С.Г. Некрасовой), персоналу Центра LaserChron Университета штата Аризона (США) за проведение изотопных исследований.

ТЕКТОНИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ МОНГОЛО-ОХОТСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА СРЕДИ ОСНОВНЫХ СТРУКТУР ВОСТОЧНОЙ АЗИИ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

МОСП является одним из наиболее значимых структурных элементов Восточной Азии. Он протягивается в виде узкой (до 300 км) полосы на 3000 км от Удской губы до Центральной Монголии (рис. 1). В современном структурном плане этот пояс представляет собой сложный коллаж вытянутых вдоль его простирания тектонических блоков, которые рассматриваются в качестве структурно-формационных зон [Кириллова, Турбин, 1979; Зубков, Вольский, 1984; Зубков,

Турбин, 1984; Красный, Пэн Юньбяо, 1999] или террейнов [Гусев, Хаин, 1995; Парфенов и др., 1999; Геодинамика..., 2006; Natal'in, 1993; Nokleberg et al., 2005].

Существует большое количество схем структурного районирования МОСП, различающихся, прежде всего, тектоническими убеждениями их авторов. В настоящее время большей популярностью пользуются схемы, разработанные на основе террейнового анализа [Парфенов и др., 1999; Nokleberg et al., 2005; Геодинамика..., 2006]. В частности, в строении МОСП выделяются террейны аккреционного клина двух типов: сложенными преимущественно турбидитами, и преимущественно, океаническими образованиями. В восточной части пояса к первому типу отнесены Унья-Бомский, Ланский, Ульбанский, ко второму – Тукурингра-Джагдинский, Ниланский, Галамский.

В данной работе мы использовали схему структурного районирования [Сорокин, 2001], также разработанную на основе террейнового анализа, но отличающуюся большей детальностью и более точно отображающей строение комплексов восточной части МОСП. В частности в осевой части выделяются Унья-Бомский и Ульбанский террейны, сложенные верхнетриасовыми, среднеюрскими образованиями, представленными мощными толщами турбидитов с подчиненной ролью кремнистых пород и метабазальтов, тяготеющих к низам разреза. К северо-востоку и юго-западу (в современной координатах) от этих террейнов располагаются террейны аккреционного клина, представляющие собой комплекс пластин, сложенных палеозойскими турбидитами, океаническими (вулканогенными и кремнистыми), терригенно-карбонатными отложениями; нередко в их составе отмечаются офиолиты (Янканский, Тукурингрский, Джагдинский, Ланский, Галамский, Токурский, Селемджинский, Ниланский террейны).

Имеющиеся палеомагнитные данные [Kravchinsky et al., 2002a,b; Metelkin et al., 2010; Zhao et al., 2013; Van der Voo et al., 2015] указывают на наличие в палеозое и раннем мезозое значительного пространства между окраиной Северо-Азиатского кратона и континентальными массивами, расположенными к югу от Монголо-Охотского пояса. Исключительно важным моментом для понимания истории

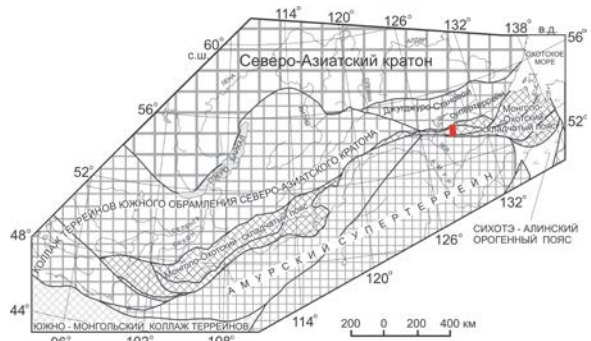


Рис. 1. Положение Монголо-Охотского складчатого пояса среди основных структур Восточной Азии [по Парфенов и др., 1999, с изменениями]. Красной линией показан Джагдинский трансект.

формирования пояса является присутствие внутри пояса палеозойских офиолитов и габбро-гранитных комплексов [Sorokin et al, 2003, 2007; Tomurtoogo et al., 2005], а так же палеозойских и мезозойских интрузий в северном и южном обрамлении пояса.

Вышеприведенные данные свидетельствуют о длительной и сложной истории формирования Монголо-Охотского пояса. При этом многие кардинальные вопросы его эволюции все еще остаются не ясными. Особое место в дискуссиях занимает вопрос окончательного закрытия Монголо-Охотского океана и формирования на его месте орогенного сооружения.

Для решения этого вопроса мы провели исследования метаосадочных пород МОСП в его поперечном сечении в районе хребта Джагды. Непосредственные объекты исследований вдоль этого трансекта располагаются в пределах Унья-Бомского, Джагдинского и восточной части Тукурингского террейнов (рис. 1, Приложение 1).

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Первое защищаемое положение. Нижние границы возрастов осадочных комплексов Унья-Бомского, Джагдинского и Тукурингского террейнов находятся в интервале от среднего триаса до конца ранней юры. Эти комплексы представляют собой набор тектонических пластин, входящих в состав раннемезозойского аккреционного комплекса, а не фрагменты единой осадочной последовательности, как предполагалось ранее.

Унья-Бомский террейн вытянут в субширотном направлении на 180 км при максимальной ширине 15-20 км (Приложение 1). Северная граница террейна перекрыта кайнозойскими отложениями Верхнезейской впадины. На северо-востоке по зонам Огодженонского и Ланского разломов граничит с Ланским террейном, по Джелтулинскому разлому с юго-запада - с Джагдинским террейном.

В строении террейна выделяют (снизу вверх) следующую последовательность стратифицированных образований [Кириллова, Турбин, 1979; Серёжников, Волкова, 2007]: 1). Условно верхнетриасовая муяканская свита (1200 м) представлена метапесчаниками с прослоями и линзами филлитов, метаалевролитов, зеленых сланцев, туфопесчаников, седиментационных брекчий, туффитов. 2). Верхнетриасовая нелская свита (1200 м) представлена филлитами, метаалевролитами и метапесчаниками, часто флишиоидно переслаивающимися, реже зелеными и кремнистыми сланцами, седиментационными брекчиями. Свита содержит фауну карнийского и низов норийского ярусов верхнего триаса: *Monotisochoptica* Keys., *M. jacutica* Tell., *Eomonotisscutiformis* Kipar., *Halobiacf. australica* Moys., *Oxytoma (Palmoxytoma) moysisovicsi* Tell. 3). Нижнеюрская курнальская свита (2000 м) сложена разнородными полимиктовыми метапесчаниками, иногда туфогенными. Филлитизированные алевролиты, гравелиты, седиментационные брекчии и конгломераты слагают маломощные прослои. Возраст курнальской свиты определен по находкам криноидей

Seirocrinus alaska (Spring.), *Seirocrinus cf. subangularis* (Mill.) ранней юры. 4). Условно среднеюрская амканская свита (до 1500 м) сложена ритмично переслаивающимися метапесчаниками, метаалевролитами и метааргиллитами. Конгломераты образуют редкие маломощные прослои. Органических остатков свита не содержит.

Породы указанных стратиграфических подразделений неравномерно метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации [Сережников, Волкова, 2007].

В процессе геохронологических исследований из метаалевролита нелской свиты (обр. V-41) было проанализировано 120 зерен детритовых цирконов, для 83 из которых получены конкордантные оценки возрастов. Большая часть цирконов имеет мезозойский и палеозойский возраст. Пики на кривой относительной вероятности возрастов соответствуют значениям ~ 222, 345, 399, 432 млн лет (Приложение 2). В незначительном количестве присутствуют палеопротерозойские и архейские цирконы (пики 1.9 и 2.5 млрд лет), а также несколько нео- и мезопротерозойских цирконов. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 220 ± 3 млн лет.

В ходе геохронологических исследований метаалевролита курнальской свиты (обр. С-1296) проанализированы 127 зерен детритовых цирконов, для 100 получены конкордантные оценки возраста. Большинство цирконов имеет мезозойский и палеозойский возраст (пики на кривой относительной вероятности возрастов соответствуют значениям ~ 207, 245, 323, 362, 433, 473 млн лет). Два зерна циркона имеют неопротерозойские конкордантные возрасты 606 и 828 млн лет. Для трех зерен циркона получены палеопротерозойские оценки возраста (по отношению $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) в интервале 1735-1928 млн лет (Приложение 2). Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 200 ± 3 млн лет.

Для геохронологических исследований метаалевролита амканской свиты (обр. С-1290) использованы 123 зерна детритовых цирконов, для которых получены 96 преимущественно мезозойских и палеозойских конкордантных оценок возраста. Главные пики на кривой относительной вероятности возрастов детритовых цирконов соответствуют значениям ~ 260, 278, 304, 356, 406, 496 млн лет (Приложение 2). Присутствуют шесть неопротерозойских цирконов, три из которых отвечают пику 830 млн лет, три зерна с палеопротерозойскими возрастными. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 238 ± 4 млн лет.

Джагдинский Террейн располагается в осевой части района исследований и вытянут в субширотном направлении почти на 200 км при максимальной ширине 35-40 км (Приложение 1). На юге, юго-западе по Туксинскому разлому он граничит с восточной частью Тукурингского террейна.

В строении Джагдинского террейна выделяют (снизу вверх) следующую последовательность стратифицированных образований [Кириллова, Турбин, 1979; Серёжников, Волкова, 2007]: 1). Условно верхнекаменноугольная джескогонская свита (1550 м) сложена глинистыми сланцами с прослоями разнозернистых метапесчаников, зеленокаменных пород и линзами известняков. Свита не содержит фауны. 2). Условно верхнекаменноугольная нектерская свита (1050 м) представлена

филлитизированными алевролитами с прослоями и линзами мелкозернистых метапесчаников, зеленых сланцев, кварцитов, мраморизованных известняков. В известняках обнаружены фораминиферы *Triticites* ex gr. *parvulus* Schell., *T.* ex gr. *irregularis* Schell., характерные для конца позднего карбона. 3). Условно раннепермская бочагорская свита (1650 м) сложена филлитами, зелеными сланцами, кварцитами, метапесчаниками с пластами и линзами кремнистых сланцев, аргиллитов, мраморизованных известняков. Известняки содержат комплекс фораминифер и кораллов *Pseudofusulina* cf. *uralica* Schelw., *Acervoschwagerina* sp., *Waagenophyllum* cf. *magnificum* Dougl., характерных для ассельского яруса ранней перми.

По существующим представлениям [Кириллова, Турбин, 1979; Серёжников, Волкова, 2007] джескогонская (внизу) и нектерская (вверху) свиты слагают крылья синклинальной структуры, а бочагорская свита - ее ядро. С учетом этого обстоятельства образцы для геохронологических исследований из джескогонской и нектерской свит были отобраны, как из северного, так и южного крыла складчатой структуры (Приложение 1).

Для 122 зерен детритовых цирконов из метаалевролита (обр. V-32) джескогонской свиты северной части террейна конкордантные оценки возраста получены для 91 зерна. Они находятся в интервале 218-501 млн лет. Пики на кривой относительной вероятности возрастов соответствуют значениям ~ 244, 253, 476 млн лет. Присутствуют единичные зерна неопротерозойских и мезопротерозойских цирконов с конкордантными значениями возраста около 578, 878, 893 млн лет и 1.1, 1.2 млрд лет. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 230 ± 3 млн лет (Приложение 3).

Из метаалевролита (обр. V-11) джескогонской свиты южной части террейна было изучено 117 зерен детритовых цирконов и для 101 зерна получены конкордантные оценки возраста в интервале 193-501 млн лет. Пики на кривой относительной вероятности возрастов соответствуют значениям ~ 196, 211, 255, 271, 312, 344, 449, 480 млн лет. Также присутствуют единичные зерна палеозойских, неопротерозойских и мезопротерозойских цирконов с конкордантными значениями возраста около 551, 878, 929 млн лет, и 1.4 млрд лет. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 194 ± 4 млн лет (Приложение 3).

В ходе U-Pb геохронологических исследований были проанализированы 121 зерен детритовых цирконов из метаалевролита (обр. C-1288) нектерской свиты северной части террейна. Конкордантные оценки возраста получены для 96 зерен в интервале 197 – 547 млн лет. Основные пики на кривой относительной вероятности возрастов соответствуют значениям ~ 202, 213, 262, 338, 353, 418, 447, 483, 509, 543 млн лет. Кроме того, присутствуют единичные зерна неопротерозойских и палеопротерозойских цирконов с конкордантными значениями возраста около 622, 843 млн лет и 1.8 млрд лет. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 201 ± 2 млн лет (Приложение 3).

Из метапесчаника (обр. V-9) нектерской свиты южной части террейна было проанализировано 128 зерен детритовых цирконов и для 117 зерен получены

конкордантные оценки возраста, находящиеся в интервалах 211-285, 456-518, 711-1126 млн лет. Основные пики на кривой относительной вероятности возрастов соответствуют значениям ~ 220, 229, 262, 485, 759, 957 млн лет. Также присутствуют единичные зерна цирконов с конкордантными значениями возраста около 366, 559, 618 млн лет, а так же ~ 1.2, 1.3, 1.4, 1.6, 1.8, 2.4 млрд лет. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 215 ± 3 млн лет (Приложение 3).

Для геохронологических исследований метапесчаник (обр. V-10) боцагорской свиты были использованы 125 зерен. Для 116 зерен получены конкордантные оценки возраста, находящиеся в интервале 245 млн лет – 1.2 млрд лет. Главные пики на кривой относительной вероятности возрастов соответствуют значениям ~ 255, 486, 761, 955, 1122 млн лет. Присутствуют единичные зерна цирконов с конкордантными значениями возраста ~ 368, 429, 850, 861 млн лет, а так же ~ 1.2, 1.4, 1.8, 2.7 млрд лет. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 245 ± 4 млн лет (Приложение 3).

Тукурингрский террейн является наиболее крупным в восточной части Монголо-Охотского пояса. Его протяженность составляет более 350 км, при максимальной ширине 50 км (Приложение 1). На юге по Южно-Тукурингрскому разлому он граничит с северной окраиной Амурского супертеррейна. В его строении выделена следующая (снизу вверх) последовательность стратифицированных образований [Кириллова, Турбин, 1979; Серёжников, Волкова, 2007]: 1). Условно силурийская тунгалинская толща (1100 м) сложена серицит-кварцевыми, эпидот-хлорит-кварцевыми, альбит-эпидот-актинолитовыми сланцами с пластами метапесчаников, линзами мраморов. 2). Нижнедевонская дугдинская свита (2000 м) сложена филлитами, метапесчаниками с пластами зеленых сланцев. 3). Нижне-средне девонская туксинская свита (1700 м) сложена преимущественно зелеными сланцами с прослоями филлитов, метапесчаниками. В бассейне р. Дугда в разрезе наблюдаются единичные линзы мраморизованных известняков, в которых установлены остатки *Favosites* sp., *Squameofavosites* sp., *Pachyporidae*, *Syringopora* sp. ранне-среднедевонского возраста. 4). Среднедевонская тангоменская толща (1500 м) сложена филлитами и метапесчаниками в грубом, иногда тонком ритмичном переслаивании. В верхней части разреза (бассейн р. Дугда) встречаются метапесчаники с фауной брахиопод, мшанок и криноидей лоны *Eurispirifer pseudocheehiel* живетского яруса девона.

Из 124 детритовых цирконов из метапесчаника (обр. V-54) тунгалинской толщи, для 88 получены конкордантные оценки возрастов, находящиеся в большинстве в интервале 201 – 251 млн лет. Главные пики на кривой относительной вероятности возрастов соответствуют значениям ~ 207, 224, 251, 469, 500, 762 млн лет. Присутствуют единичные зерна цирконов с конкордантными значениями возраста ~ 292, 423, 861 млн лет, 1.2, 1.8 млрд лет. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 203 ± 3.0 млн лет (Приложение 4).

Из метапесчаника тунгалинской толщи (обр. V-55-1) было проанализировано 123 зерна детритовых цирконов, для 115 получены конкордантные оценки возраста. Практически половина этих значений находится в интервале 305–200 млн лет, с пиками на кривой относительной вероятности возрастов ~ 204, 222, 249, 478, 487, 762 млн. лет. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 202 ± 2 млн лет (Приложение 4).

Из метапесчаника тангоменской толщи (обр. V-48) было проанализировано 126 зерен детритовых цирконов, для 118 получены конкордантные оценки возраста, находящиеся в интервале 171 – 305 млн лет. Основные пики на кривой относительной вероятности возрастов соответствуют ~ 189, 253, 294, 471 млн лет. Присутствуют единичные зерна с палеозойскими ~ 314, 329, 413, 423, 429, 500, 502, 512 млн лет, неопротерозойскими ~ 791, 802, 868, 892 млн лет конкордантными значениями возраста. Одно зерно архейского возраста ~ 2.7 млрд лет. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 173 ± 2 млн лет (Приложение 4).

Из 129 детритовых цирконов из метаалевролита дугдинской свиты (обр. V-1), получены конкордантные значения возраста для 113 зерен, находящиеся в большинстве в интервале 173 – 306 млн лет. Основные пики на кривой относительной вероятности возрастов соответствуют значениям ~ 181, 190, 252, 303, 437, 487 млн лет. Присутствует популяция неопротерозойских цирконов с возрастом 789 млн лет, а так же единичные зерна с конкордантными значениями ~ 330, 386, 520, 538, 569 млн лет, 1.1 млрд лет. Конкордантный возраст наиболее молодой популяции цирконов составляет 173 ± 2 млн лет (Приложение 4).

Приведенные результаты геохронологических исследований детритовых цирконов их слабометаморфизованных осадочных отложений Унья-Бомского, Джагдинского и Тукурингского террейнов позволяют сформулировать следующие выводы:

1). Наиболее молодые популяции детритовых цирконов в метаосадочных породах вдоль Джагдинского трансекта имеют раннемезозойский возраст, а не палеозойский как предполагалось ранее [Кириллова, Турбин, 1979; Сережников, Волкова, 2007].

2). В составе выделяемых свит в Унья-Бомском, Джагдинском, Тукурингском террейнах объединены породы различного генезиса: яшмы, вулканыты, метапесчаники, метаалевролиты. Известняки, в которых обнаружена фауна, встречаются в виде линз.

3). Возрастные характеристики цирконов из пород джескогонской и нектерской свит в северной части Джагдинского террейна существенно отличаются для этих же свит в южной части террейна. Эти данные не согласуются с представлениями [Кириллова, Турбин, 1979; Сережников, Волкова, 2007] о том, что рассматриваемые свиты слагают синклиналиную структуру с бочагорской свитой в ее ядре.

Все это в совокупности указывает на то, что осадочные комплексы Унья-Бомского, Джагдинского, восточной части Тукурингского террейнов, представляют

собой не единую последовательность, а набор тектонических пластин, сложенных породами различного генезиса, входящих в состав раннемезозойского аккреционного комплекса.

Второе защищаемое положение. Поступление материала в период накопления осадочных комплексов Унья-Бомского, Джагдинского и Тукурингрского террейнов происходило в большей степени со стороны Амурского супертеррейна. Это указывает на то, что раннемезозойский аккреционный комплекс был сформирован перед северной окраиной Амурского супертеррейна.

При определении источников кластического следует учитывать, что восточная часть МОСП граничит с юго-восточным обрамлением Северо-Азиатского кратона, с одной стороны, и континентальными массивами, включаемыми в состав Амурского супертеррейна, с другой (Рис. 1). В связи с этим, указанные континентальные структуры являются потенциальными источниками обломочного материала для осадочных комплексов МОСП, но они резко различаются по своему строению и изотопным характеристикам слагающих их пород. В пределах юго-восточного обрамления Северо-Азиатского кратона раннедокембрийские, а так же более молодые магматические и метаморфические комплексы сформированы при существенном участии материала раннедокембрийской континентальной коры. В этой связи они характеризуются преимущественно палеопротерозойскими и архейскими Nd-модельными возрастaми 3.2–2.0 млрд лет [Великославинский, 2011, 2012, 2015, 2016 и др.] и практически такими же Hf-модельными возрастaми в цирконах 3.2-1.5 млрд лет [Ларин и др. 2018].

В строении континентальных массивов, включаемых в состав Амурского супертеррейна, наиболее древние комплексы имеют неопротерозойский возраст [Котов и др. 2009, 2013; Сальникова и др., 2012; Сорокин и др. 2017, 2019; Wu et al., 2011 и др.]. При этом Nd модельные возрастa валового состава пород, а так же Hf- модельные возрастa цирконов из них обычно не древнее 1.5–1.0 млрд лет.

В результате проведенных нами Lu-Hf исследований установлено, что подавляющее большинство неопротерозойских, палеозойских и раннемезозойских цирконов в осадочных комплексах Унья-Бомского, Джагдинского и восточной части Тукурингрского террейнов характеризуются модельными возрастaми $t_{\text{Hf(C)}}$ < 1.5-1.3 млрд лет (Приложение 5,6). Это свидетельствует о том, что первичными источниками этих цирконов являются магматические или метаморфические комплексы, сформированные без существенного участия раннедокембрийской континентальной коры. В этой связи нам остается предполагать, что поступление таких цирконов происходило со стороны континентальных массивов Амурского супертеррейна.

Это предположение хорошо согласуется с геологическими данными, поскольку неопротерозойские, раннепалеозойские, позднепалеозойские и раннемезозойские интрузии пользуются широким распространением в пределах

Аргунского, Мамынского, Буреинского континентальных массивов [Ge et al., 2005; Wu et al., 2011; Zhou et al., 2011; Sun et al., 2013; Tang et al., 2013; Сорокин и др. 2011, 2017, 2019]. При этом, цирконы их этих интрузий имеют неолитические мезопротерозойские Hf модельные возрасты [Wu et al., 2014; Tang et al., 2013; Gou et al., 2013; Zhao et al., 2016].

Палеопротерозойские и архейские цирконы в некотором количестве присутствуют в осадочных комплексах Унья-Бомского террейна, в остальных случаях либо отсутствуют, либо не образуют статистически-значимых популяций. Они характеризуются модельными возрастными $t_{\text{Hf(C)}} > 2.3$ млрд лет (Приложение 5,6). В этой связи в качестве единственно возможного их источника следует рассматривать магматические и метаморфические комплексы южного обрамления Северо-Азиатского кратона. В частности, такими источниками могут быть породы станового метаморфического комплекса, протолиты которых имеют возраст 2.6-2.9 млрд лет [Великославинский и др., 2011, 2017], а так же неархейские и палеопротерозойские интрузии [Великославинский и др., 2017, Бучко и др., 2006, 2008], претерпевших структурно-метаморфические преобразования на рубежах 2.6 и 1.9 млрд лет. В осадочных комплексах Унья-Бомского террейна, особенно в нелской свите, присутствуют каменноугольные цирконы, которые характеризуются модельными возрастными $t_{\text{Hf(C)}} > 1.5$ млрд лет. Мы полагаем, что их источниками могут быть гранитоиды олекминского комплекса с возрастом 358 ± 2 млн лет [Ларин и др., 2015], 360 ± 2 млн лет [Великославинский и др., 2016], а так же вулканические породы с возрастом 358 ± 2 млн лет Амазаро-Гилульской зоны [Великославинский и др., 2016] южного обрамления Северо-Азиатского кратона.

Кроме того, в нелской свите присутствуют также триасовые цирконы модельными возрастными $t_{\text{Hf(C)}} > 1.5$ Ga. Поступление этих цирконов, на наш взгляд, можно связывать с разрушением триасовых магматических пород южного обрамления Северо-Азиатского кратона. В частности, близкий возраст имеют метариолиты гилульского метаморфического комплекса 231 ± 4 млн лет [Великославинский и др., 2016], диориты токско-алгоминского комплекса 238 ± 2 млн лет [Сальникова и др., 2006], риолиты куйтунского комплекса 239 ± 5 млн лет [Ларин и др., 2011], граниты нерчуганского комплекса 246 ± 2 млн лет [Ларин и др., 2011].

Далее обратимся к Sm-Nd изотопно-геохимическим данным. Согласно нашим исследованиям, метасадочные породы Унья-Бомского, Джагдинского и восточной части Тукурингского террейнов характеризуются величинами $\epsilon_{\text{Nd(t)}}$ от -5 до -0.5 и мезопротерозойскими значениями Nd модельных возрастов $t_{\text{Nd(DM)}} = 1.5-1.0$ млрд лет, $t_{\text{Nd(C)}} = 1.4-1.1$ млрд лет.

Близкими Nd-изотопными параметрами характеризуются палеозойские терригенные породы Ольдойского прогиба [Сорокин и др., 2015] и мезозойские осадки Верхнеамурского и Зея-Депского прогибов [Смирнова и др., 2017], развитые к югу от МОСП (Приложение 7). Данное сходство позволяет

предполагать, что осадочные комплексы МОСП в пределах Джагдинского трансекта, с одной стороны, Верхнеамурского, Зея-Депского и Ольдойского бассейнов сформировались за счет близких по своим Sm-Nd изотопно-геохимическим характеристикам источников. В качестве данных источников могут выступать палеозойские магматические и осадочные комплексы северной окраины Амурского супертеррейна, которые, в основном, характеризуются значениями Nd-модельных возрастов в интервале 1.5–1.0 млрд лет [Сорокин и др., 2005, 2014, 2015].

В целом, полученные данные указывают на то, что поступление материала в период осадконакопления осадочных комплексов, представленных вдоль Джагдинского трансекта, происходил из разных провинций, а именно – со стороны Амурского супертеррейна (с юга в современных координатах) и со стороны южного обрамления Северо-Азиатского кратона (с севера в современных координатах). Однако незначительное количество в исследованных отложениях палеопротерозойских и архейских цирконов, а также палеозойских и мезозойских цирконов с раннедокембрийскими Hf-модельными возрастными свидетельствами о том, что вклад последнего источника был незначительным.

Приведенные результаты позволяют сформулировать следующие выводы:

1). Подавляющее большинство неопротерозойских, палеозойских и раннемезозойских цирконов в осадочных комплексах Унья-Бомского, Джагдинского и Тукурингского террейнов характеризуются модельными возрастными $t_{\text{Hf(C)}} < 1.5\text{-}1.3$ млрд лет.

2). Валовый состав метаосадочных пород Унья-Бомского, Джагдинского, Тукурингского террейнов характеризуются модельными возрастными $t_{\text{Nd(C)}} < 1.4\text{-}1.1$ млрд лет.

Все это в совокупности указывает на то, что поступление материала в период накопления осадочных комплексов Унья-Бомского, Джагдинского и Тукурингского террейнов происходило преимущественно со стороны Амурского супертеррейна. На этом основании мы полагаем, что раннемезозойский аккреционный комплекс был сформирован перед северной окраиной Амурского супертеррейна.

Третье защищаемое положение. Отсутствие в осадочных породах Молого-Охотского пояса цирконов моложе, чем 173 млн лет, и, одновременно, широкое присутствие таких и более молодых цирконов в орогенных осадочных бассейнах по обе стороны от складчатого пояса является следствием закрытия океанического бассейна на рубеже ранней и средней юры в результате аккреционно-коллизонных процессов и формирования на его месте орогенного сооружения.

Результаты проведенных изотопных исследований позволяют также определить время закрытия Монголо-Охотского бассейна и, таким образом, решить одну из наиболее дискутируемых проблем эволюции этой структуры.

Как было отмечено выше, наиболее молодые цирконы Джагдинского трансекта присутствуют в метаосадочных породах дугдинской свиты и

тангоменской толщи, где имеют возраст 173 ± 2 млн. Данное обстоятельство может указывать на прекращение седиментации в Монголо-Охотском бассейне на рубеже ранней и средней юры. Однако, такое предположение будет реалистичным при одном обязательном условии: на рубеже ранней и средней юры магматические источники с возрастом ~ 173 млн лет были выведены на поверхность и могли обеспечить поступление цирконов в область осадконакопления. Иными словами такие цирконы должны присутствовать в других юрских бассейнах рассматриваемого региона.

Для обоснования выдвинутой идеи сравним возрасты цирконов, с одной стороны, в метаосадочных породах МОСП, с другой, - в юрских осадочных бассейнах по обе стороны от МОСП.

Впадины, расположенные вдоль границы МОСП и Северо-Азиатского кратона (к северу от МОСП).

В породах Стрелкинской впадины возраст мезозойских цирконов варьирует в интервале 213-156 млн лет, пики на кривой относительной вероятности возрастов соответствуют значениям $\sim 181, 170, 164$ млн лет.

В породах Малотындинской впадины возраст мезозойских цирконов варьирует в интервале 194-162 млн лет, пик на кривой относительной вероятности возрастов соответствует значению ~ 171 млн лет.

В породах Удской впадины возраст мезозойских цирконов варьирует в интервале 249-150 млн лет, пик на кривой относительной вероятности возрастов соответствует значению ~ 175 млн лет.

Впадины, расположенные вдоль границы МОСП и Амурского супертеррейна (к югу от МОСП).

В породах Верхнеамурского прогиба возраст мезозойских цирконов варьирует в интервале 250-158 млн лет, пики на кривой относительной вероятности возрастов соответствуют значениям $\sim 164, 173, 185$ млн лет [Смирнова и др., 2017]. В породах Зея-Депского прогиба возраст мезозойских цирконов варьирует в интервале 250-155 млн лет, пики на кривой относительной вероятности возрастов соответствуют значениям $\sim 161, 189$ млн лет [Смирнова и др., 2017]. Таким образом, цирконы возраста моложе, чем 173 млн лет, отсутствуют в метаосадочных породах Монголо-Охотского пояса, но присутствуют орогенных осадочных бассейнах по обе стороны от складчатого пояса. Данное обстоятельство свидетельствует о закрытии Монголо-Охотского бассейна на рубеже ранней и средней юры в результате аккреционно-коллизийных процессов и формирования на его месте орогенного сооружения (Приложение 8).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе подготовки диссертации проведены комплексные исследования слабометаморфизованных осадочных пород Унья-Бомского, Джагдинского, восточной части Тукуруингского террейнов МОСП, включающие U-Th-Pb и Lu-Hf изотопные исследования детритовых цирконов из этих пород, а также Sm-Nd изотопные исследования их валового состава.

Основные результаты сводятся к нижеследующему.

1). Осадочные комплексы МОСП, изученные вдоль Джагдинского трансекта имеют не палеозойский, как считалось ранее, а раннемезозойский возраст.

2). Вышеуказанные комплексы не слагают единую последовательность, а представляют набор тектонических пластин в составе раннемезозойского аккреционного комплекса.

3). Снос материала при накоплении осадочных пород Унья-Бомского, Джагдинского, восточной части Тукурингского террейнов происходил преимущественно со стороны континентальных массивов Амурского супертеррейна (с юга в современных координатах).

4). Закрывание Монголо-Охотского бассейна и формирование на его месте орогенного сооружения произошло на рубеже ранней и средней юры.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

Заика В.А., Сорокин А.А., Сю Б., Котов А.Б., Ковач В.П. Геохимические особенности и источники метаосадочных пород западной части Тукурингского террейна Монголо-Охотского складчатого пояса // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2018. – Т. 26. - № 2. - С. 38-58.

Заика В.А., Сорокин А.А., Ковач В.П., Сорокин А.П., Котов А.Б. Возраст и источники нижнемезозойских метаосадочных пород Унья-Бомского террейна Монголо-Охотского складчатого пояса: результаты U-Th-Pb геохронологических (LA-ICP-MS) и Sm-Nd изотопных исследований // ДАН. – 2019. Т. – 484. - № 4. – С. – 455-459.

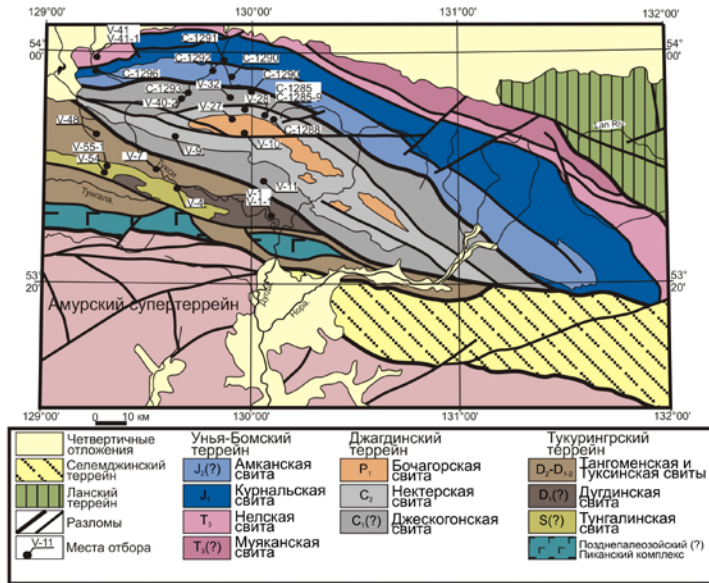
Заика В.А., Сорокин А.А., Ковач В.П., член-корреспондент РАН Сорокин А.П., Котов А.Б. Возраст и источники обломочных цирконов из юрских конгломератов Стрелкинской впадины (северное обрамление Монголо-Охотского складчатого пояса) // ДАН. – 2019. Т. – 485. - № 4. – С. – 470-474.

Заика В.А., Сорокин А.А. Возраст и источники метаосадочных пород Джагдинского террейна Монголо-Охотского складчатого пояса: результаты U-Pb и Lu-Hf изотопных исследований детритовых цирконов // Тихоокеанская геология. – 2020. Т. – 39. – № 1. – С. – 24-36.

Заика В.А., Сорокин А.А., Ковач В.П., Котов А.Б. Геохимические особенности метаосадочных пород, источники кластического материала и тектоническая природа мезозойских впадин северного обрамления восточной части Монголо-Охотского складчатого пояса // Геология и Геофизика. – 2020 Т. – 61. – № 3. – С. – 357-377.

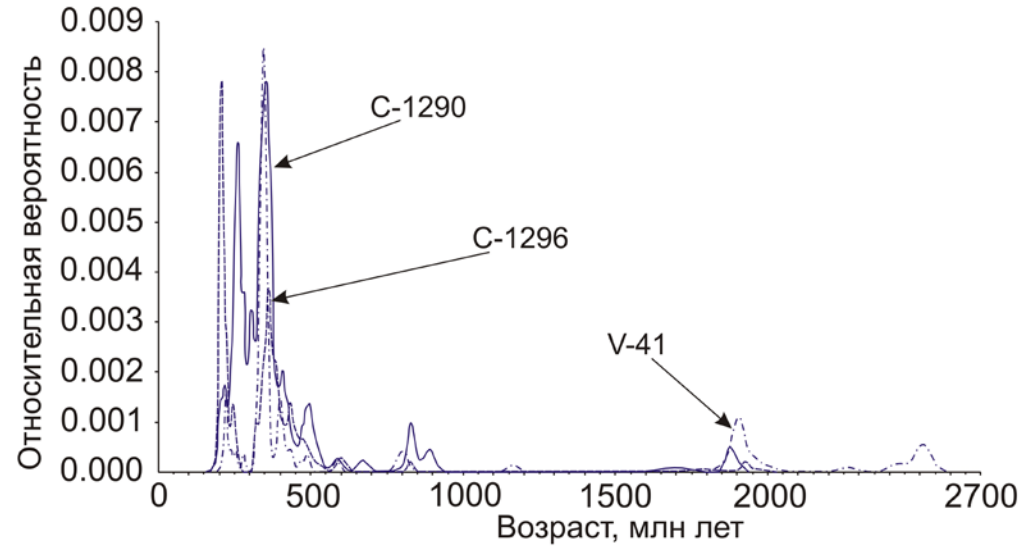
Sorokin A.A., **Victor A. Zaika**, Kovach V.P., Kotov A.B, Xu W.L., Yang H. Timing of closure of the eastern Mongol–Okhotsk Ocean: Constraints from U–Pb and Hf isotopic data of detrital zircons from metasediments along the Dzhagdy Transect // Gondwana Research. – 2020. V. – 81. – P. –58-78.

Приложение 1



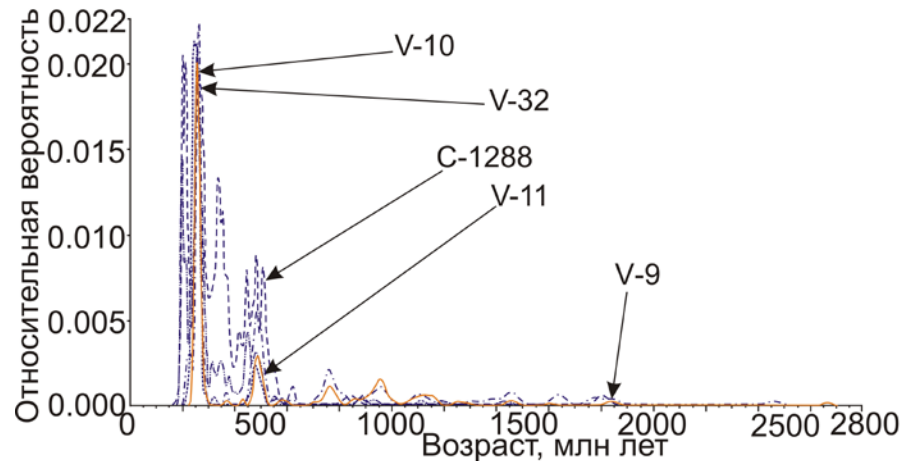
Геологическая схема восточной части Монголо-Охотского складчатого пояса. Составлена по [Сережников, Волкова, 2007 с изменениями авторов]

Приложение 2



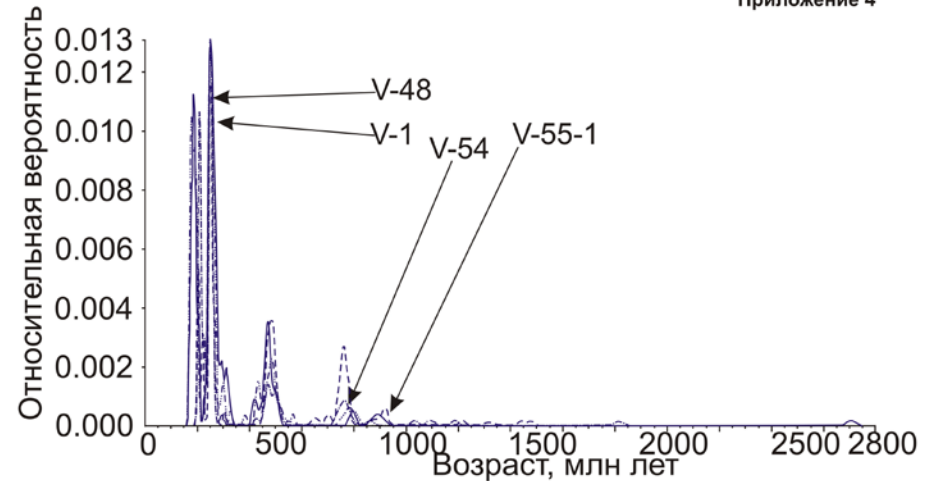
Кривые относительной вероятности возрастов детритовых цирконов из метаалевролита нелской свиты (обр. V-41); метаалевролита курнальской свиты (обр. C-1296); метаалевролита амканской свиты (обр. C-1290)

Приложение 3



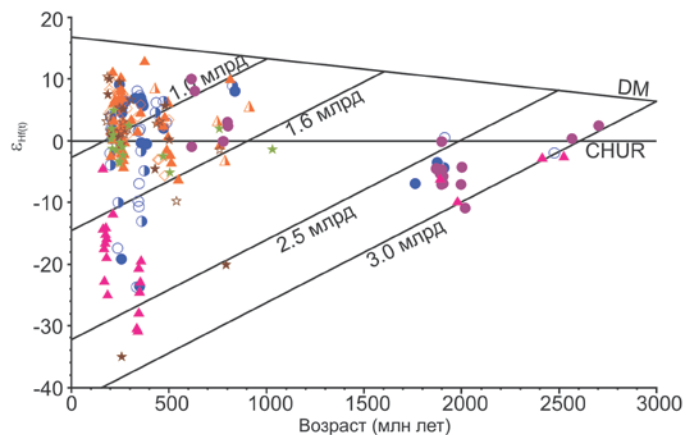
Кривые относительной вероятности возрастов детритовых цирконов из метаалевролита джескогонской свиты (обр. V-32, V-11); метаалевролита (обр. C-1288), метапесчаника (обр. V-9) нектерской свиты; метапесчаника бочагорской свиты (обр. V-10)

Приложение 4



Кривые относительной вероятности возрастов детритовых цирконов из метапесчаника тунгалинской толщи (обр. V-54, V-55-1); метаалевролита дугдинской свиты (обр. V-1); метапесчаника тангоменской толщи (обр. V-48)

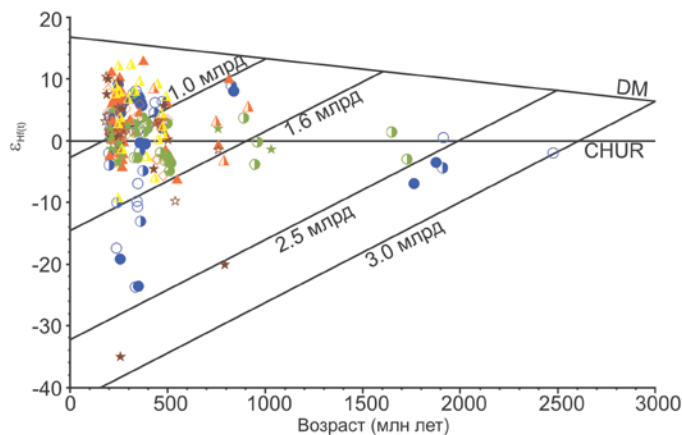
Приложение 5



- | | | |
|----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Унья-Бомский террейн | Джагдинский террейн | Тукурингрский террейн |
| ● Амканская свита | ▲ Бочагорская свита | ★ Тангоменская свита |
| ○ Курнальская свита | ▲ Нектерская свита | ☆ Дугдинская свита |
| ○ Нелская свита | ◇ Джескогонская свита | ★ Тунгалинская свита |
| Удская впадина | Стрелкинская впадина | |
| ● Рыбалкинская свита | ▲ Верхнедолохитская подсвита | |

Диаграмма $\epsilon_{Hf}(t)$ – возраст (млн лет) для цирконов из метаосадочных пород Джагдинского трансекта в сравнении с впадинами северного обрамления МОСП. DM – деплетированная мантия, CHUR – однородный хондритовый резервуар.

Приложение 6



- | | | |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Унья-Бомский террейн | Джагдинский террейн | Тукурингрский террейн |
| ● Амканская свита | ▲ Бочагорская свита | ★ Тангоменская свита |
| ○ Курнальская свита | ▲ Нектерская свита | ☆ Дугдинская свита |
| ○ Нелская свита | ◇ Джескогонская свита | ★ Тунгалинская свита |
| Моринский прогиб | Ольдойский прогиб | |
| ▲ Моринская толща | ● Типаринская свита | |

Диаграмма $\epsilon_{Hf}(t)$ – возраст (млн лет) для цирконов из метаосадочных пород Джагдинского трансекта в сравнении с впадинами южного обрамления МОСП. DM – деплетированная мантия, CHUR – однородный хондритовый резервуар.

Приложение 7

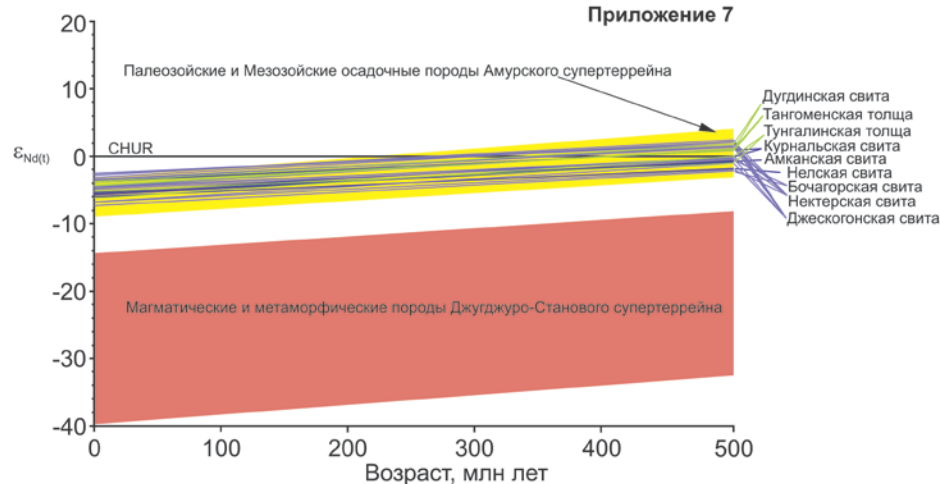
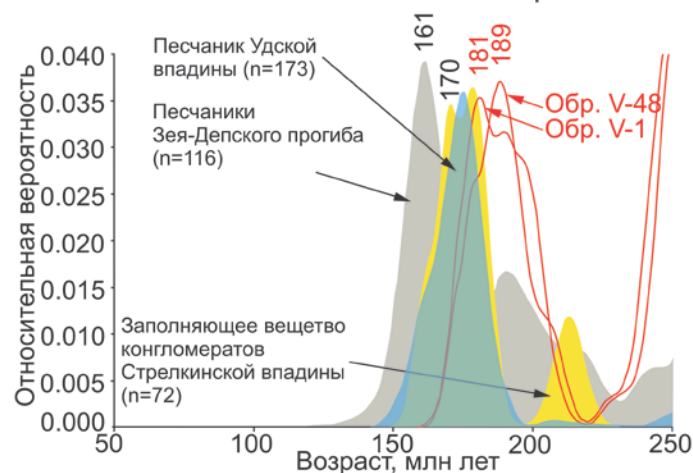


Диаграмма $\epsilon_{Nd}(t)$ – возраст для метатерригенных пород Джагдинского трансекта в сравнении с составами ключевых геологических комплексов Амурского супертеррейна и южного обрамления Северо-Азиатского кратона.

Приложение 8



Кривые относительной вероятности возрастов детритовых цирконов из наиболее молодых метаосадочных образований восточной части МОСП в сравнении с кривыми относительной вероятности возрастов Стрелкинской впадины, Удского прогиба и Зейя-Депского прогиба.