

ВЗАИМОСВЯЗЬ МАГМАТИЧЕСКИХ, ОСАДОЧНЫХ И АККРЕЦИОННО-КОЛЛИЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЕ И ЕЕ СКЛАДЧАТОМ ОБРАМЛЕНИИ

Н.Л. Добрецов, М.М. Буслов*, Й. де Граве, Е.В. Скляров*****

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коттога, 3, Россия*

** Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коттога, 3, Россия*

*** Geochronology Group, Dept. of Mineralogy Petrology, Ghent University, 281/S8, Krijgslaan, B-900, Ghent, Belgium*

**** Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия*

Взаимосвязь геодинамических процессов в Центрально-Азиатском складчатом поясе и на Сибирской платформе рассмотрена по следующим темам: 1) общие проблемы тектоники и геодинамики Центрально-Азиатского складчатого пояса; 2) этапы осадочных и аккреционно-коллизийных процессов; 3) сопоставление этапов осадконакопления и источников сноса в северном и восточном обрамлении Сибирской платформы; 4) этапы развития Центрально-Азиатского складчатого пояса (алтаид) и формирование позднегерцинских осадочных бассейнов.

Изучение геохимических и изотопно-геохимических характеристик неопротерозой-палеозойских осадочных серий выявило синхронность осадконакопления в бассейнах различного типа как в пределах платформы, так и складчатого пояса. Это позволило более корректно на основе реконструкций геодинамических обстановок седиментогенеза отдельных осадочных бассейнов проследить развитие орогенных структур, окружающих Сибирский континент.

Подтверждено выделение каледонской Чарышско-Теректинско-Улаганско-Саянско-Ольхонской сутурно-сдвиговой зоны, разделяющей окраинно-континентальные комплексы пород Сибирского и Казахстанского континентов соответственно с ювенильным и смешанным типами коры. Позднепалеозойские крупноамплитудные сдвиги во многом нарушили первичные соотношения, в связи с чем древние структуры различных окраин тектонически перемешаны друг с другом, что создает трудности интерпретации палеогеографической, палеотектонической и палеогеодинамической зональностей Центрально-Азиатского складчатого пояса.

Микроконтиненты, островные дуги, тектоника, геодинамика, орогены, осадочные бассейны, аккреционно-коллизийные зоны, Центрально-Азиатский складчатый пояс, Сибирский континент, Казахстанско-Байкальский континент.

**INTERPLAY OF MAGMATISM, SEDIMENTATION, AND COLLISION PROCESSES
IN THE SIBERIAN CRATON AND THE FLANKING OROGENS**

N.L. Dobretsov, M.M. Buslov, J. De Grave, and E.V. Sklyarov

The interplay of geodynamic and sedimentation processes in the Central Asian orogen and the Siberian craton is discussed in several aspects: (1) general tectonics of the Central Asian orogen, (2) correlation of deposition and collision events, (3) comparison of deposition history and sediment sources on the northern and eastern margins of the Siberian craton, and (4) history of the Central Asian orogen (Altaids) and formation of Early Mesozoic sedimentary basins.

Chemical and isotope compositions and geochronology of Neoproterozoic–Paleozoic sedimentary sequences indicate deposition synchronicity in basins of different types, within both the craton and the orogen. Thus geodynamic models of deposition in separate basins provide reliable evidence of the history of orogens flanking the Siberian craton.

The study has confirmed the existence of the Vendian–Early Paleozoic Charysh–Terekta–Ulagan–Sayan–Olkhon strike-slip suture between the continental-margin complexes of Siberia and Kazakhstan, with the crust of juvenile and mixed types, respectively. Late Paleozoic large-scale strike-slip faulting deformed the previous tectonic framework and caused tectonic mixing of the older structures on different margins. This superposed deformation makes it difficult to decipher the paleogeography, paleotectonics, and paleogeodynamics of the Central Asian orogen.

Microcontinents, island arcs, tectonics, geodynamics, orogens, sedimentary basins, accretionary-collisional zones, Central Asian orogen, Siberian craton, Kazakhstan–Baikal continent

ВВЕДЕНИЕ

Представленные в спецвыпуске журнала «Геология и геофизика» № 10 за 2013 г. статьи включают важнейшие результаты, доложенные в 2012 г. на совещаниях в Усть-Каменогорске, Новосибирске и Иркутске. Они объединяются общим методологическим подходом — широким использованием изотопно-геохронологических данных по цирконам как магматических и метаморфических пород, так и детритовых в осадочных толщах. Широкое распространение этого подхода стало возможным в последние годы благодаря международной кооперации и развитию центров изотопных исследований во ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) и Институте геохимии (г. Иркутск). Совещания в Усть-Каменогорске (13—20 июня) и Новосибирске (27—28 августа) проведены в рамках интеграционных проектов Сибирского и Уральского отделений РАН и Министерства образования и науки Республики Казахстан по теме «Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология и металлогеническое прогнозирование».

На юбилейном десятом Всероссийском научном совещании «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса: от океана к континенту», проведенном в Иркутске в Институте земной коры Сибирского отделения РАН с 17 по 20 октября 2012 г., были рассмотрены и обсуждены новые оригинальные результаты, полученные российскими учеными по ключевым вопросам геологии, тектоники и металлогении крупнейшего в мире орогенного сооружения, каковым является Центрально-Азиатский складчатый пояс (ЦАСП). Уникальной особенностью ЦАСП является продолжительность активной тектонической жизни этой структуры, охватывающей более 700 млн лет. Процессы, связанные с заложением Центрально-Азиатского пояса, начались еще в неопротерозое около 1000 или 950 млн лет [Кузьмичев, Ларионов, 2011, 2013]. Однако тектоническая активность в пределах отдельных территорий, входящих в структуру пояса, не прекращается и до настоящего момента. К разряду ключевых и наиболее актуальных задач в расшифровке стадийности приращения континентальной литосферы Евразии были определены вопросы, касающиеся реконструкции начальных этапов развития Центрально-Азиатского складчатого пояса и выявления основных корообразующих процессов и рубежей в его геологической истории. Эти вопросы до настоящего времени активно обсуждаются в среде отечественных и зарубежных геологов. На совещании были представлены не только доклады, посвященные собственно эволюции литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса, но также доклады, затрагивающие закономерности геодинамической эволюции осадочного чехла Сибирской платформы. Основное внимание на совещаниях было сосредоточено на рассмотрении следующих вопросов:

- общие и региональные проблемы геодинамики;
 - петрология, геохронология и металлогения магматических комплексов кратонов и складчатых поясов;
 - Ольхонский геодинамический полигон: тектоника и метаморфизм, общие и региональные вопросы;
 - проблемы стратиграфии и геохимии осадочных толщ;
 - глубинное строение, вопросы палеомагнетизма и сейсмичности;
 - широкое использование результатов датирования детритовых цирконов.
- Перечисленные вопросы в той или иной мере обсуждены в статьях настоящего выпуска.

ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕКТОНИКИ И ГЕОДИНАМИКИ ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА

В статьях [Гладкочуб и др., 2013; Дмитриева и др., 2013; Летникова и др., 2013; Прокопьев и др., 2013; Буслов и др., 2013] на основе новых результатов и анализа опубликованной литературы рассмотрены взаимосвязи магматических, осадочных и аккреционно-коллизийных процессов на Сибирской платформе и ее складчатом обрамлении. В рамках решения этой проблемы важным является изучение изотопно-геохимических характеристик неопротерозойско-палеозойских осадочных толщ, включая U-Pb датирование детритовых цирконов и анализ изотопного состава карбонатов (Sr, C, O), что дает возможность получить информацию о геодинамических обстановках седиментогенеза, источниках поступления (ювенильного или рециклированного) и о времени седиментации в смежных структурах Сибирской платформы и ЦАСП.

Образование новой ювенильной коры происходит в зонах субдукции, во внутриплитных и спрединговых обстановках, а образование рециклированной коры происходит за счет переплавления корового материала на континентальных окраинах и в коллизийных обстановках. Во многом тип коры может быть определен через состав субдуцирующей плиты, фрагменты которой сохранились в аккреционно-коллизийных зонах. При решении вопроса об оценке соотношения ювенильной и рециклированной коры необходимо проведение изотопно-геохронологического и изотопно-геохимического анализов гранитоидов и метаосадочных пород, а также соответственно магматических и детритовых цирконов в них.

Для понимания генезиса гранитоидов и соотношения ювенильной и рециклированной коры в ЦАСП надежным инструментом является сочетание изотопных Hf характеристик цирконов и Nd в породе. Данная характеристика гранитоидов тесно коррелируется с тектоническим районированием ЦАСП.

Данные по Hf изотопам в цирконах и их редкоэлементной геохимии свидетельствуют, что в ЦАСП количество ювенильной коры меньше, чем предполагалось ранее [Condie et al., 2009; Kovach et al., 2013]. Поскольку надсубдукционные «метки» во многих гранитоидах ЦАСП фактически отражают характеристики их источника, а не самих расплавов и, следовательно, не могут быть использованы для геодинамических реконструкций, то изотопный анализ пород, гафниева изотопия в цирконах и их U-Pb датирование крайне важны для выявления соотношения типов коры.

Центрально-Азиатский складчатый пояс рассматривается как крупный аккреционно-коллизионный ороген [Моссаковский и др., 1993; Sengör et al., 1993; Берзин и др., 1994; Windly et al., 2007; Kröner et al., 2007, 2011] с длительной историей геологического развития (от позднего рифея до мезозоя включительно) и несколькими этапами формирования ювенильной континентальной коры [Коваленко и др., 1996, 2003; Jahn et al., 2000; Kovalenko et al., 2004; Руднев, 2013]. В строении восточной части ЦАСП принимают участие неопротерозойские («байкальские»), венд-раннепалеозойские («каледонские»), среднепозднепалеозойские («герцинские») складчатые зоны и композитные докембрийские микроконтиненты, которые «сшиваются» разнообразными по возрасту, составу и геодинамической позиции магматическими комплексами [Зоненшайн и др., 1990; Моссаковский и др., 1993; Берзин и др., 1994; Диденко и др., 1994; Kovalenko et al., 2004; и др.]. Детали строения и тектонического районирования оценивались названными авторами по-разному.

В последнее время в основе тектонического районирования ЦАСП выделены [Добрецов, Буслов, 2007, 2011; Буслов, 2011] следующие основные структурные элементы (рис. 1):

1. Венд-палеозойские окраинно-континентальные комплексы западной части Сибирского континента, состоящие из структур Кузнецко-Алтайской венд-кембрийской островной дуги, комплексов по-

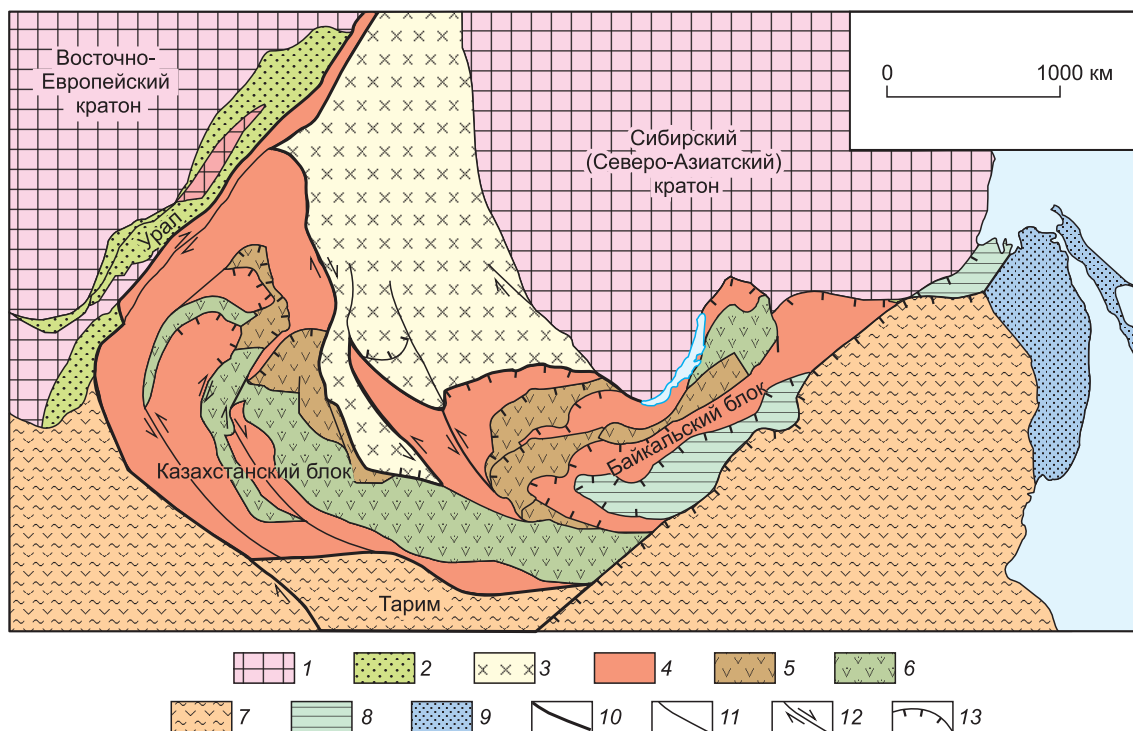
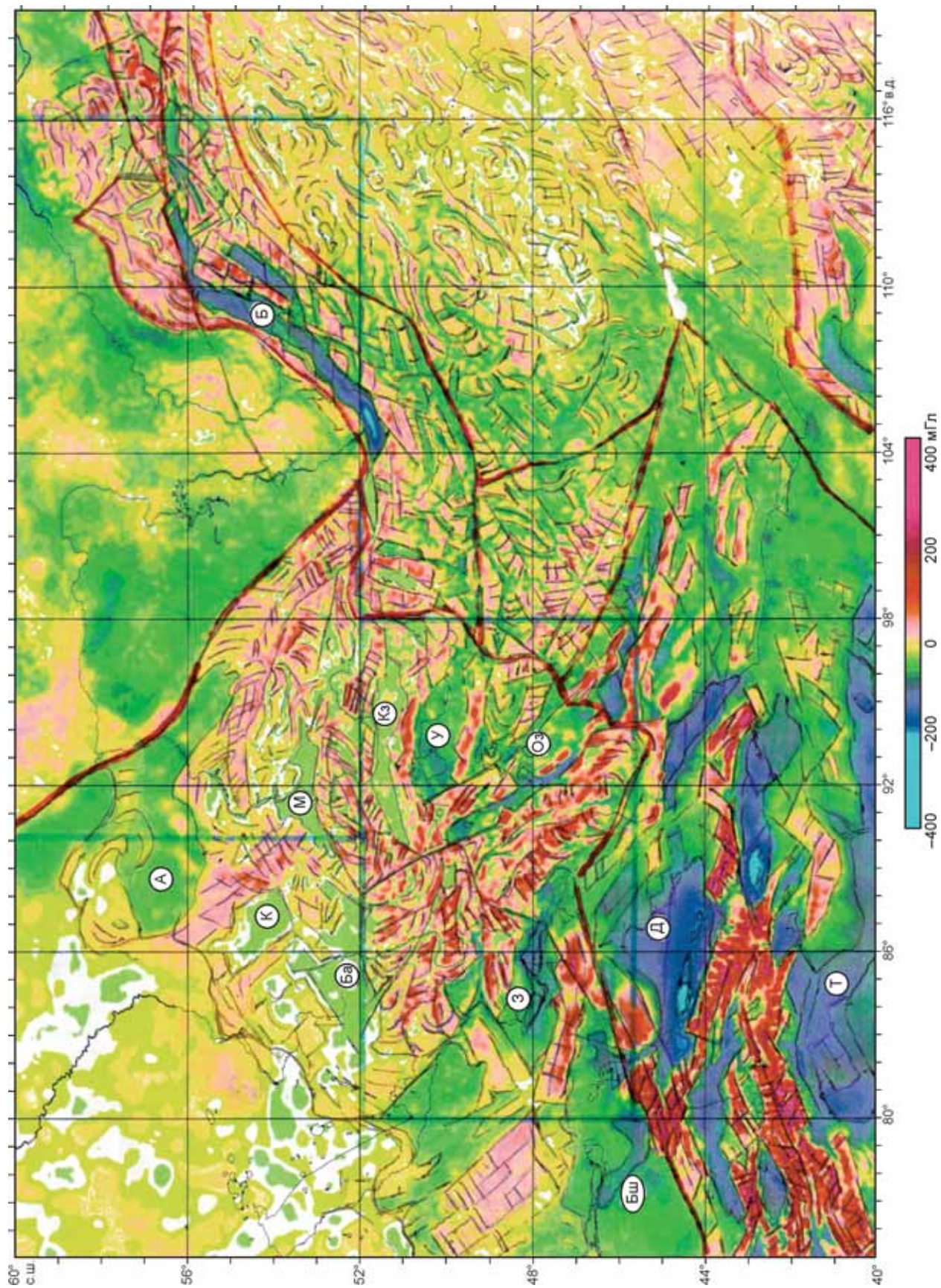


Рис. 1. Схема тектонического районирования Центрально-Азиатского складчатого пояса [Буслов, 2011].

1 — докембрийские кратоны, 2 — палеозойские образования пассивной окраины Восточно-Европейского кратона, 3 — венд-палеозойские окраинно-континентальные образования Сибирского (Северо-Азиатского) кратона, 4—7 — Казахстанско-Байкальский составной континент: 4 — аккреционно-коллизионные зоны с докембрийскими микроконтинентами гондванской группы, 5, 6 — венд-раннекембрийская Казахстанско-Тувинно-Монгольская островная дуга: 5 — преимущественно магматические породы, 6 — образования аккреционных призм и преддуговых прогибов; 7 — раннемезозойский аккреционно-коллизионный пояс, содержащий микроконтиненты и континенты гондванского происхождения; 8 — раннемезозойская Монголо-Охотская сутурно-сдвиговая зона, 9 — позднемезозойский аккреционно-коллизионный пояс, 10 — ограничения Казахстанско-Байкальского составного континента; 11 — позднепалеозойские разломы нерасчлененные, 12 — позднепалеозойские и раннемезозойские сдвиги, стрелками показаны направления смещений, 13 — позднепалеозойские и раннемезозойские надвиги.



род ордовикско-раннедевонской пассивной окраины и девонско-раннекарбоновой активной окраины. Они развиты в северной части Алтае-Саянской складчатой области и в фундаменте восточной части Западно-Сибирской плиты. Кузнецко-Алтайская островная дуга на протяжении более 1000 км реконструирована в западной части Алтае-Саянской складчатой области, в составе ее аккреционных клиньев обнаружены только фрагменты океанической коры [Буслов и др., 2013], а Sr-Nd изотопные данные в совокупности с геохимическими характеристиками плагиигранитоидных ассоциаций указывают на доминирование ювенильных мафических источников при формировании исходных для них расплавов [Руднев и др., 2013а,б].

2. Казахстанско-Байкальский составной континент [Буслов, 2011; Добрецов, Буслов, 2012], фундамент которого сформирован в венде—кембрии в результате субдукции плиты Палеоазиатского океана, включающей докембрийские микроконтиненты и террейны гондванской группы, под Казахстанско-Тувинско-Монгольскую островодужную систему, обрамляющую Сибирский континент с юго-востока (в современных координатах). Субдукция и последующая коллизия микроконтинентов и террейнов с островной дугой привели к консолидации земной коры и формированию фундамента составного континента. Составной континент, по мнению М.М. Буслова и Н.Л. Добрецова, занимает огромную территорию, включая Байкальский регион, южную часть Алтае-Саянской складчатой области, Туву, Монголию, Казахстан и Тянь-Шань, и характеризуется сочетанием ювенильного и рециклированного типа коры [Kovach et al., 2013]. В раннем—среднем палеозое он был отделен от Сибирского континента Обь-Зайсанским океаническим бассейном.

3. Каледонская Чарышско-Теректинско-Улаганско-Саянско-Ольхонская сутурно-сдвиговая зона, разделяющая окраинно-континентальные комплексы Сибирского и Казахстанско-Байкальского континентов. В ее строении в Алтае-Саянском регионе принимают участие фрагменты поздневендско-раннеордовикской океанической коры Обь-Зайсанского океанического бассейна, ордовикские голубые сланцы и кембро-ордовикские турбидиты, ордовикско-силурийские коллизионные граниты и метаморфические породы зон смятий. В восточном сегменте, в Туве и Прибайкалье, она представлена глубокометаморфизованными породами Сангиленской и Ольхонской сдвиговых зон, включающих также сильнодеформированные фрагменты океанической коры.

4. Позднепалеозойские покровно-сдвиговые и сдвиговые зоны. Они формируют орогенический коллаж террейнов, образованный в позднем девоне—раннем карбоне при трансформной аккреции с последующей коллизией Казахстанско-Байкальского составного континента с Сибирским континентом, создавших единый Северо-Азиатский континент, и коллаж террейнов, созданный в позднем карбоне—перми при столкновении Восточно-Европейского континента с Северо-Азиатским.

Новой особенностью приведенного тектонического районирования является выделение каледонской Чарышско-Теректинско-Улаганско-Саянско-Ольхонской сутурно-сдвиговой зоны, разделяющей окраинно-континентальные комплексы пород Сибирского и Казахстанского континентов соответственно с ювенильным и смешанным типами коры. Строение Ольхонского фрагмента этой зоны обсуждено в статьях [Донская и др., 2013; Механошин и др., 2013]. Позднепалеозойские крупноамплитудные сдвиги во многом нарушили первичные соотношения, в связи с чем древние структуры различных окраин тектонически перемешаны друг с другом, что создает трудности интерпретации палеогеографической, палеотектонической и палеогеодинамической зональностей.

В мезозое и кайнозое структура ЦАСП была интенсивно реактивирована с формированием внутриконтинентальных орогенов. В работах [Dobretsov et al., 1996; De Grave et al., 2004, 2006, 2007; Buslov et al., 2007; Буслов и др., 2008; Буслов, 2012] показана роль эффекта дальнего распространения деформаций внутрь континента при взаимодействии крупных континентальных плит. Так, в результате коллизии Индийского континента с Евразией были сформированы современные горы Центральной Азии, а также сопутствующие им осадочные бассейны, сдвигонадвиговые структуры и рифты.

Древние тектонические структуры, а также наложенные кайнозойские деформации, отчетливо отображены на карте гравитационных аномалий Мая (Free air anomaly) (рис. 2) — объективной и унифицированной основе мировой базы данных DNSC-08 [Andersen et al., 2010]. Характеристика тектонических структур, полученная из распределения гравитационных аномалий, является принципиально важным аспектом исследований, позволяющим выявлять различные типы деформационных узоров (или деформа-

ционных решеток) [Добрецов и др., 2013], обусловленные наложением разновозрастных деформаций. В частности, на рис. 2 выделена зона кайнозойских деформаций, протягивающаяся от Байкала (Б, см. рис. 1) и примыкающих рифтовых впадин, до Джунгарской (Д), Таримской (Т) и примыкающих впадин по обрамлению и внутри Тянь-Шаня. Зона молодых деформаций топографически выражена как система хребтов и впадин и обусловлена деформациями, распространяющимися в миоцене—плейстоцене (моложе 23 млн лет) от столкновения с Индией в результате последовательного поднятия Тибета и погружения Таримской микроплиты, поднятия Тянь-Шаня и погружения Джунгарского бассейна, поднятия Алтая, Восточного Саяна и Прибайкальских хребтов и возникновения здесь системы впадин типа пул-апарт [Добрецов и др., 1995; Dobretsov et al., 1996; De Grave et al., 2007; Буслов и др., 2008; Буслов, 2012; Glorie et al., 2012]. Во всей этой системе характерен ромбовидный узор ограничений поднятий и впадин, и в ряде случаев — ромбовидная внутренняя структура, а также максимальный перепад гравитационных аномалий от -300 до $+300$ в Тянь-Шане и его обрамлении и от -250 до $+200$ в обрамлении Байкала (см. рис. 2). Вне этой зоны в складчатом поясе наблюдаются овальные и извилистые узоры, обусловленные покровно-складчатой структурой, нарушенной более поздними сдвигами. Наиболее отчетливо этот деформационный узор наблюдается в Восточной Монголии, а также в Северо-Западной Монголии, Туве, Западном и Восточном Саяне. Детали этой структуры иллюстрируются в статьях [Руднев и др., 2013б; Буслов и др., 2013]. В Алтае-Саянской области (к северо-западу от зоны молодых деформаций) впадины Ачинская (А), Кузбасская (К), Минусинская (М), Барнаульская (Ба), Кызыльская (Кз) характеризуются умеренными отрицательными аномалиями (до -50 , -60 мГл) и только во впадинах Убсунурской (У), Зайсанской (З), Балхашской (Бш), пограничных с зоной молодых деформаций, появляются аномалии до -100 , -120 мГл (см. рис. 2).

Узор на гравитационной карте (см. рис. 2) в пределах Сибирской платформы и осадочного чехла Западно-Сибирской низменности носит размытый характер и примерно отражает погружения и поднятия фундамента.

Сопоставление этапов осадконакопления и коллизионного горообразования в названных зонах молодых деформаций рассмотрена в работах [De Grave et al., 2007; Буслов и др., 2008; Буслов, 2012; Новиков, 2013; Glorie et al., 2012] и планируется продолжить в специальном выпуске журнала.

В последние годы в России и за рубежом широко используются геофизические исследования на опорных параметрических профилях, интерпретация которых приводит к решению проблем глубинного строения литосферы, обоснования минерагенического прогноза и разработки критериев поиска глубинных месторождений полезных ископаемых, оценки и предупреждения сейсмической опасности. В статье А.Н. Диденко и соавторов [Диденко и др., 2013] реализован такой подход. Проведен анализ комплексного геолого-геофизического исследования области сочленения восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса с Сибирской платформой в полосе профиля 3-ДВ ($52-60^\circ$ с.ш. и $122-129^\circ$ в.д.) Сковородино—Томмот, где серией глубинных разломов пояс отделен от Алдано-Станового щита платформы. Получены сейсмические, плотностные, геоэлектрические характеристики пород, на основании которых определены (уточнены) внутрикоровые границы тектонических структур. Установлены крупноблоковая делимость земной коры, обусловленная разломами мантийного заложения, и различие слоистой структуры коры для щита и складчатых областей.

На основании проведенных исследований в зоне сочленения Алданского и Станового геоблоков выделена Пристановая складчато-надвиговая зона протяженностью не менее 1000 км. Палеомагнитные реконструкции для мезозойского периода для этой территории [Диденко и др., 2010, 2013] указывают на то, что история развития Пристановой складчато-надвиговой зоны тесно связана с коллизионными процессами, происходившими в зоне сочленения Сибирской платформы с расположенными к югу от нее микроконтинентами и фрагментами орогенных поясов: Селенга-Станового и Монголо-Охотского. В зоне коллизионного шва, вдоль Желтулакского и Северотуруингрского разломов, в мезозое происходил подвиг образований Монголо-Охотского орогенного пояса под Алдано-Становой щит. Давление со стороны погружающейся плиты вызвало срыв и выдавливание тектонических пластин со средних и нижних горизонтов земной коры в верхние ее этажи в зоне Станового глубинного разлома. В результате этих процессов тектонические пластины метаморфических пород высоких степеней регионального метаморфизма были надвинуты на юрские терригенные образования Южно-Алданского прогиба и метаморфические толщи Алданского мегаблока. Таким образом, тектонические структуры, расположенные в полосе профиля, разделяются по строению коры и литосферной мантии. Различия отчетливо устанавливаются и в литосферной мантии. На этой основе разломы расчленяются на имеющие мантийные корни и внутрикоровые.

Деформационные (коллизионные) процессы земной коры в пределах современного восточного фрагмента Монголо-Охотского орогенного пояса продолжались до начала эоцена и сформированы за счет вращательной составляющей Сибирской платформы [Диденко и др., 2010], в отличие от более западного фрагмента области сочленения структур Центрально-Азиатского пояса и Сибирской платформы, где до настоящего времени отмечается влияние Индо-Евразийской коллизии (см. рис. 2).

В следующей части статьи мы перейдем к сопоставлению этапов осадконакопления на Сибирской платформе и аккреционно-коллизийных процессов ее обрамления в длительном интервале времени от начала неопротерозоя (1000 млн лет) до конца палеозоя (250 млн лет).

ЭТАПЫ ОСАДОЧНЫХ И АККРЕЦИОННО-КОЛЛИЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

На рис. 3 показано распределение возрастов детритовых цирконов из различных уровней вендских (эдиакарских) осадочных толщ Сибирской платформы, приведенных в статьях настоящего номера [Гладкочуб и др., 2013; Летникова и др., 2013]. Они сопоставлены с распределениями возраста цирконов из неопротерозойских и каледонских структур южного и юго-западного обрамления Сибирской платформы, которые могли послужить источниками сноса в венд-неопротерозойские и палеозойские осадочные толщи Сибирской платформы. В качестве неопротерозойских источников (см. рис. 3) приведены Восточный Саян (обрамление Гарганской глыбы), СЗ Монголия (Тувинно-Монгольский массив), Енисейский кряж [Rojas-Agramonte et al., 2011; Кузьмичев, Ларионов, 2011, 2013; Романова и др., 2012], в качестве каледонских — Восточный Саян, Северо-Западная Монголия, Ольхонская зона Прибайкалья [Волкова и др., 2010; Добрецов, 2011; Ножкин и др., 2011; Руднев, 2013; Руднев и др., 2013а].

Фундамент Сибирской платформы сложен архейскими и палеопротерозойскими породами, которые в разной пропорции присутствуют во всех выступах фундамента (Алданском, Анабарском щитах, Шарьжалгайском выступе ю.-з. части платформы) и служили источниками сноса в неопротерозойские-раннепалеозойские толщи чехла и обрамления Сибирской платформы (значения от 1800 до 3200 млн лет, см. рис. 3). В последние годы все больше появляется архейских дат — реликтовых событий, переработанных в палеопротерозойский цикл [Туркина и др., 2011, 2013]. Завершался палеопротерозойский цикл интрузиями ультрасоснового—основного состава (чинейский, медведевский комплекс и другие) с возрастом около 1800—1700 млн лет.

На основании палеомагнитных данных [Диденко и др., 2013] разработана реконструкция, согласно которой Сибирский палеоконтинент столкнулся с Северо-Американским при образовании суперконтинента Колумбия в конце палеопротерозоя. Сочленение этих блоков проходило по южным окраинам (современные координаты) Ангаро-Анабарской и Алдано-Становой провинций Сибирского кратона и северной окраине (современные координаты) Канадского щита. Вероятно, что это коллизийное событие явилось причиной формирования позднепалеопротерозойских («карельских и балтийских») магматических и метаморфических пород, цирконы из которых с возрастными 2100—1850 млн лет широко представлены в осадочном чехле южной части Сибирской платформы (см. рис. 3).

Спорадически проявляющимися являются источники сноса мезопротерозойского (гренвильского или «лаксфордского», 1450—1100 млн лет) возраста, характеризующие период орогенических процессов при сборе Гондваны. Традиционно гренвильскими считаются покровно-складчатые структуры и толщ Енисейского кряжа, расположенные в юго-западной части Сибирской платформы. Основанием этому являются палеопротерозойские модельные Nd возрасты 2.1—2.3 млрд лет в осадках сухопитской и других свит Енисейского кряжа, отдельные (в основном старые) датировки в Рыбинско-Панимбинском поясе 1300—1400 млн лет и возраст метаморфизма этого пояса 1043—1051 млн лет, соответствующий началу следующего цикла [Попов и др., 2010]. Наконец, гренвильский пояс предполагается под верхоянской осадочной серией [Парфенов и др., 2003; Розен и др., 2006].

В неопротерозойской эволюции покровно-складчатых структур Енисейского кряжа отчетливо выделяются [Ножкин и др., 2011] два цикла: ранний 1050—800 и поздний 780—620 млн лет. В Енисейском кряже в ранний этап первого цикла формировались гранитогнейсовые купола, связанные, по А.Д. Ножкину, с позднегренвильской орогенией 1.1—0.95 млрд лет. В наиболее изученном Тейском гранитогнейсовым куполе выделяются главный этап 1100—950 млн лет и два наложенных (реоморфических) этапа около 880—850 млн лет и 700—670 млн лет [Ножкин и др., 2011]. В этап 880—850 млн лет происходило внедрение гранитоидов тейского комплекса, гранодиоритов среднетырадинского плутона 857 ± 9.5 млн лет [Верниковский и др., 2011; Ножкин и др., 2011]. Заключительный этап — зональный метаморфизм кианит-силлиманитового типа с возрастом 850—830 млн лет [Лиханов и др., 2009]. Во второй цикл (780—620 млн лет) в Енисейском кряже формировались контрастные бимодальные ассоциации с возрастом 780—750 млн лет и одновозрастные им субщелочные и щелочные гранитоиды аяхтинского комплекса 760—750 млн лет. В позднеколлизийный этап формировались молассоидные прогибы с трахибазальт-трахитовой ассоциацией с возрастом 730—700 млн лет [Ножкин и др., 2011] и гранитоиды глушихинского комплекса 750—720 млн лет [Верниковский и др., 2011]. Заключительными этапами магматизма явились щелочно-пикритовая ассоциация (670—650 млн лет) и щелочно-гранит-сиенитовая ассоциация средневороговского комплекса (630—620 млн лет), включая субщелочные граниты Татарского массива (630 млн лет).

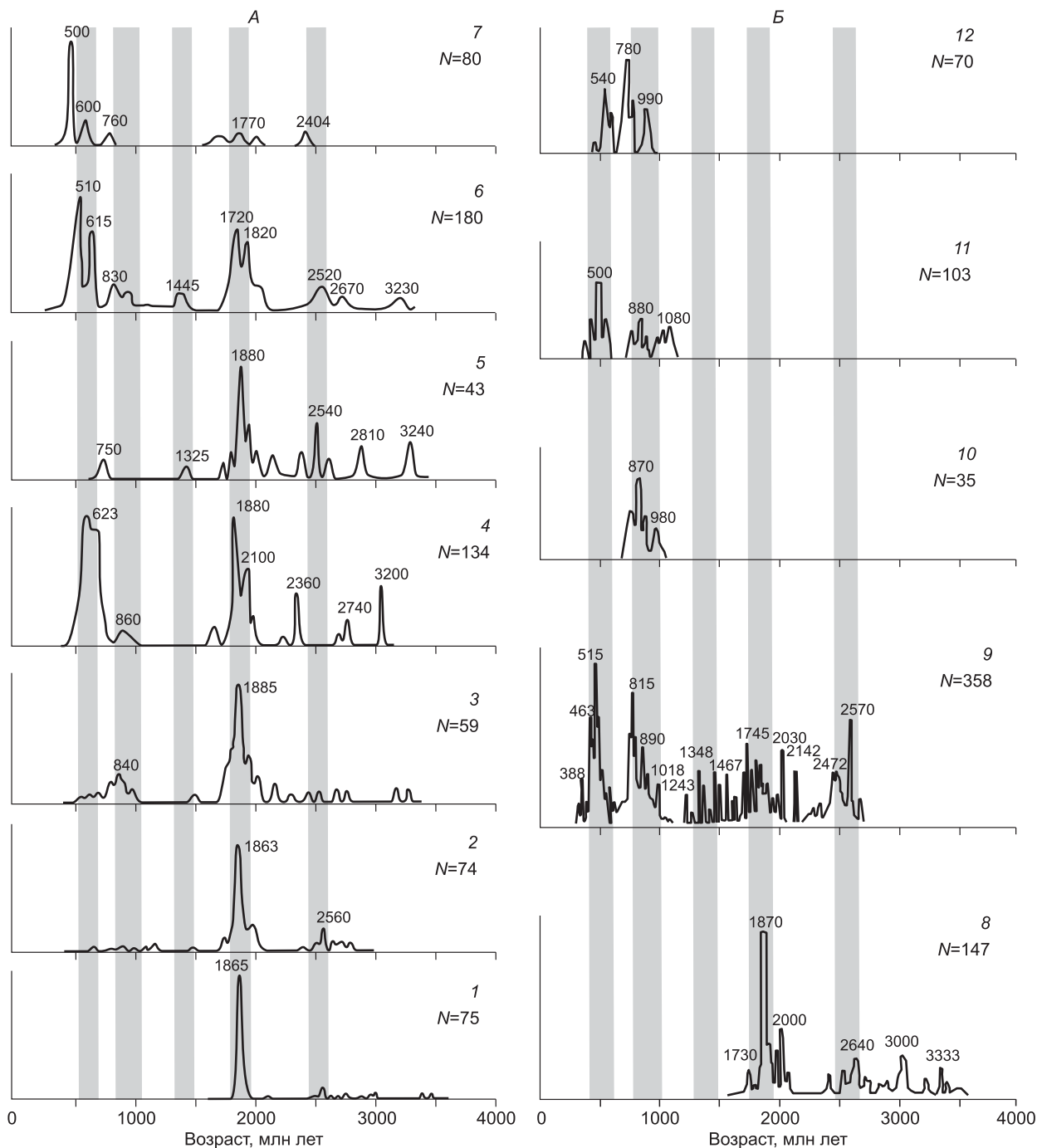


Рис. 3. Гистограммы и кривые относительной вероятности U-Pb возрастов детритовых цирконов из осадочных пород южной части Сибирской платформы (A, 1—7) и магматических и метаморфических пород обрамления (B, 8—12).

Вендские отложения: 1 — голоустенская свита, 2 — улунтуйская свита, 3 — качергатская свита; 4 — ушаковская свита [Гладко-чуб и др., 2013; Летникова и др., 2013], 5 — кембрийские отложения оселковской серии, район п. Соленое (новые данные, полученные в Гонконгском Университете, Гонконг), 6 — раннеордовикские и 7 — среднедевонские отложения бассейна р. Бирюса, район п. Шелехово и п. Покровка (новые данные, полученные в Гентском Университете, Бельгия); 8 — южная Сибирь (фундамент Сибирской платформы) [Rojas-Agramonte et al., 2011], 9 — Монголия [Rojas-Agramonte et al., 2011], 10 — Восточный Саян (Гарганская глыба Тувино-Монгольского микроконтинента) [Кузьмичев, Ларионов, 2011, 2013], 11 — Тува, Северо-Западная Монголия (Тувино-Монгольский микроконтинент) [Кузьмичев, Ларионов, 2012, 2013], 12 — Енисейский кряж [Верниковский и др., 2012; Ножкин и др., 2013]. N — количество датировок.

События, отвечающие по возрасту позднегерневильской складчатости, проявлены в Восточном Саяне [Кузьмичев, Ларионов, 2013] и в обрамлении Карского массива [Верниковский и др., 2013]. Датированный интервал магматической активности в Дунжугурской дуге Восточного Саяна составил 1034—900 млн лет. Начальная стадия этой дуги (1034—1000 млн лет) сопровождалась бонинитовым магматизмом, что фиксируется в дунжугурских офиолитах с возрастом 1020—1010 млн лет [Khain et al., 2002]. Время коллизии Тувино-Монгольского микроконтинента (Гарганского блока) с Дунжугурской дугой фиксируется формированием сумсунурских гранитоидов с возрастом 785—790 млн лет, после чего возникли сархойская активная окраина с кислым вулканизмом возраста 800—770 млн лет [Кузьмичев, Ларионов, 2011]. Третий элемент этой системы — Шишхидская океаническая островная дуга, для которой по цирконам зафиксированы два этапа магматизма — 830—800 млн лет и 775 + 8 млн лет [Кузьмичев, Ларионов, 2013]. Предполагаемый возраст коллизии Шишхидской дуги около 650 млн лет.

В статье [Гладкочуб и др., 2013] приводятся данные об U-Pb возрасте (LA-ICP-MS) детритовых цирконов из позднедокембрийских терригенных пород байкальской серии и ушаковской свиты Западного Прибайкалья (южный фланг Сибирского кратона). Сделан вывод о том, что обилие неопротерозойских цирконов в песчаниках из верхних горизонтов байкальской серии и ушаковской свиты может быть объяснено сокращением площади океанического бассейна в результате сближения кратона с микроконтинентами и островными дугами, существовавшими в пределах Палеоазиатского океана. Изотопное датирование детритовых цирконов показывает, что время накопления позднедокембрийских осадочных толщ Западного Прибайкалья (байкальская серия и ушаковская свита) может быть ограничено поздним вендом (эдиакарием). Отсутствие в проанализированных пробах эдиакарского чехла Сибирской платформы детритовых цирконов мезопротерозойского возраста подтверждает гипотезу о существовании глобального по своей продолжительности перерыва (около 1 млрд лет) в эндогенной активности, проявившегося в пределах южного фланга Сибирского кратона [Гладкочуб и др., 2013].

Присутствие мезопротерозойских цирконов в улунтуйской свите байкальской серии, контрастирующее с возрастными спектрами, полученными для подстилающих (голоустенская) и перекрывающих (качергатская) толщ, интерпретировано как вклад источников вещества, располагавшихся в пределах Тувино-Монгольского и Дзабханского микроконтинентов. Обилие неопротерозойских цирконов в песчаниках верхневендской ушаковской свиты объяснено сокращением площади океанического бассейна в результате сближения Сибирского кратона с микроконтинентами и островными дугами, существовавшими в пределах Палеоазиатского океана [Гладкочуб и др., 2013]. В последующем процесс закрытия палеоокеана в его рассматриваемом сегменте завершился формированием раннепалеозойского каледонского коллизионного пояса [Донская и др., 2000, 2013; Gladkochub et al., 2008], являющегося частью крупной Чарышско-Теректинско-Улаганско-Саянско-Ольхонской сутурно-сдвиговой зоны (см. рис. 1) [Добрецов, Буслов, 2007, 2011; Буслов, 2011].

В статье Н.В. Дмитриевой с соавторами [Дмитриева и др., 2013] дана сравнительная геохимическая характеристика позднедокембрийских осадочных пород (усть-келянская и тулуинская толщи) Анамакит-Муйской зоны Байкало-Муйского пояса. Определены условия осадконакопления, приведены первые результаты U-Pb LA-ICP-MS-датирования обломочных цирконов и Sm-Nd изотопные данные для отложений тулуинской толщи. В результате петрогеохимического исследования установлено, что рассматриваемые осадки являются «first cycle» породами, близкими по составу терригенным осадкам островных дуг. Весьма низкий уровень содержания в песчаниках усть-келянской толщи Th, Rb, Zr, Hf, LREE и повышенный — Co, Ni, Sc, V, Cr, Fe₂O₃ указывает на их сходство с отложениями океанических дуг, напротив, заметная обогащенность пород тулуинской толщи Zr, LREE, Th, Rb, Nb свидетельствует об их соответствии отложениям, образованным в условиях континентальных островных дуг или активной континентальной окраины. Изотопно-геохронологические исследования отложений тулуинской толщи отражают смешение детритового материала, образованного в результате эрозии неопротерозойских островодужных магматических ассоциаций с возрастом 625—700 млн лет, подобных развитым в Каралон-Мамаканской зоне (якорная и каралонская свиты) и более древних, подобных келянской (812—824 млн лет) и/или джалтукской сериям. Нижняя граница осадконакопления, судя по минимальному возрасту детритового циркона, соответствует 0.6 млрд лет.

На рис. 3 приведены возрасты детритовых цирконов из вендских, раннекембрийских, раннеордовикских и раннедевонских отложений Бирусинского прогиба южной части Сибирской платформы с использованием неопубликованных материалов Де Граве. Они сопоставлены с возрастом цирконов из магматических и метаморфических пород фундамента южной части Сибирской платформы; из Казахстанско-Байкальского составного континента, получены данные по Тувино-Монгольской островной дуге и одноименному микроконтиненту, Восточным Саянам (Гарганская глыба Тувино-Монгольского микроконтинента), Туве и Северо-Западной Монголии (Тувино-Монгольский микроконтинент), аккреционно-коллизионным комплексам Енисейского кряжа юго-восточной части Сибирской платформы. Серыми полосами на рис. 3 показаны периоды эндогенной активизации, характеризующие эволюцию

Сибирского и Казахстанско-Байкальского континентов. Периоды 2480—2780, 1730—1950 и 700—465 млн лет являются общими для них, а периоды 1260—1450 млн лет («грэнвильской») и 1100—780 млн лет («байкальский» и «позднегрэнвильский»), являются отличительной чертой Казахстанско-Байкальского континента, период 824—625 млн лет («делийский») характерен для Казахстанско-Байкальского континента, Байкало-Муйского пояса [Дмитриева и др., 2013] и Енисейского кряжа [Ножкин и др., 2011].

В осадочном чехле Сибирской платформы грэнвильские обломочные цирконы редки, кроме вышеупомянутой улунтуйской свиты. В малом количестве в вендских, раннеордовикских и раннедевонских отложениях встречаются обломочные цирконы, соответствующие по возрасту байкальской, делийской и грэнвильской складчатостям. Источником сноса для них могли быть позднепротерозойские (824—625 млн лет) магматических породы Байкало-Муйского пояса и породы Енисейского кряжа (см. рис. 3).

Следует предполагать, что магматические и метаморфические цирконы, попадавшие в вендско-раннедевонские бассейны чехла Сибирской платформы, имели постоянный источник в длительный период времени около 200 млн лет. Таким источником могли быть породы Саяно-Байкало-Муйского аккреционно-коллизийного пояса, ограничивающего платформу с юга. Аккреционно-коллизийный пояс сформирован в период 850—650 млн лет на месте активной окраины, к которой были аккретированы Муйский и Баргузинский микроконтиненты. В период 650—490 млн лет была заложена и аккретирована к Сибирскому континенту новая островная дуга [Жмодик и др., 2006]. Согласно [Добрецов, Буслов, 2007, 2011; Буслов, 2011], в венде—кембрии происходила субдукция и последующая коллизия гондванских микроконтинентов и террейнов с Казахстанско-Тувино-Монгольской островной дугой, что привело к консолидации земной коры и формированию фундамента составного континента на юго-восточной окраине Сибирского континента. В раннем ордовике коллизия континентов привела к заложению Ольхонской сдвиговой зоны.

Летникова Е.Ф. с соавторами [Летникова и др., 2013] отмечают, что при изучении осадочных толщ, наряду с датированием детритовых цирконов, необходимо проводить геохимические и изотопно-геохимические исследования. Привлечение современных изотопно-геохимических методов способно существенно помочь в решении многих спорных вопросов: во-первых, более обоснованно установить состав и возраст пород питающих провинций, послуживших источниками сноса материала терригенных комплексов; во-вторых, реконструировать условия осадконакопления; в-третьих, наметить общие этапы развития осадочного бассейна; в-четвертых, на основе изотопных данных о возрастном интервале седиментации провести на новой методической основе корреляцию изучаемых пород с отложениями платформы и ее складчатого обрамления. Авторами проведено изучение содержаний породообразующих, рассеянных и редкоземельных элементов в отложениях позднекембрийских байкальской и оселковой серий Сибирской платформы, исследованы Sm-Nd и Rb-Sr систематики в коллекции терригенных и карбонатных пород. По результатам U-Pb датирования методом LA-ICP-MS детритовых цирконов верхневендской оселковой серии показано, что различия в литологических особенностях и наборе литотипов осадочных пород обусловлено фациальными различиями. При этом геохимические и изотопные характеристики пород изученных серий имеют общие черты: подобные значения Eu минимума, Th/U и La/Th отношений, содержаний Zr, Hf, что возможно при механической сортировке, перемешивание осадков и его транспортировка в обстановках мелководных морских бассейнов. Сходство состава источников сноса не оставляют сомнений, что седиментация происходила синхронно в пределах шельфа Сибирской платформы при пассивном тектоническом режиме. Лишь присутствие в верхних горизонтах этих серий туфитового материала основного состава указывает на начало субдукционных процессов по ее обрамлению.

В статье Т.В. Донской и соавторов [Донская и др., 2013] приводятся результаты геолого-структурных и геохимических исследований синметаморфических гранитоидов Тутайского и Южно-Ольхонского массивов Ольхонского террейна Центрально-Азиатского орогенного пояса, а также оценка возраста U-Pb методом по циркону гранитов Тутайского массива. Структурные и петрологические данные свидетельствуют о синскладчатом и синметаморфическом характере гранитоидов. Датирование U-Pb методом по циркону гранитов Тутайского массива показало, что они имеют возраст 488.6 ± 8.0 млн лет, который практически совпал с оценкой возраста 495 ± 6 млн лет, полученной ранее для кварцевых сиенитов Южно-Ольхонского массива. Оба массива занимают одинаковую позицию в структуре региона. Завершающие этапы деформаций и метаморфические преобразования гранитоидов отвечают рубежу 464 ± 11 млн лет. Тутайский массив сложен умеренно-калиевыми гранитами. Южно-Ольхонский массив образован кварцевыми сиенитами и гранитами. Геохимические характеристики гранитов (низкие содержания Y и Yb, фракционированные спектры распределения редкоземельных элементов, высокие значения отношения Sr/Y) свидетельствуют о том, что их формирование происходило в условиях

кристаллизации гранитов в рестите на глубинных уровнях коры. Кварцевые сиениты Южно-Ольхонского массива обнаруживают более высокие по сравнению с гранитами содержания Y, Yb.

Данный факт может указывать на то, что магмы кварцевых сиенитов в процессе их формирования и эволюции не находились в равновесии с гранатсодержащими минеральными парагенезисами. В качестве субстрата для гранитов Тутайской и Южно-Ольхонского массивов принимаются коровые породы кварц-полевошпатового состава, а для кварцевых сиенитов Южно-Ольхонского массива допускается смешанный (корово-мантийный) источник. Предполагается, что образование гранитоидов происходило в коре, утолщенной в результате аккреции. При этом ранние аккреционные события, выделенные в регионе впервые, затронули не только Прибрежную зону, в которой расположены Тутайский и Южно-Ольхонский массивы, но и всю мегазону Анга—Сатюрты Ольхонского террейна. Аккреционный этап завершился тектоническим сближением и косой коллизией Ольхонского террейна и Сибирского континента, когда тотальное развитие получил сдвиговый тектогенез.

В статье А.С. Механошина и соавторов [Механошин и др., 2013] охарактеризованы ранние каледониды Ольхонского региона Западного Прибайкалья, участвующие в складчатом обрамлении Сибирской платформы. Они представляют собой уникальный геологический полигон, где можно изучать процессы мантийно-корового взаимодействия на глубинных уровнях земной коры. В статье охарактеризованы реститовые гипербазитовые тела и будины, пространственно приуроченные к разломам (бластомилонитовым швам), и синкинематические граниты, отвечающие амфиболитовой фации метаморфизма. Приведены оценки *PT*-параметров метаморфизма складчатого обрамления гипербазитовых тел, химический и минеральный составы гипербазитов, бластомилонитов и синкинематических гранитов, результаты U-Pb и Ar-Ar изотопного датирования. Особое внимание уделено термальной истории тектонического экспонирования гипербазитовых тел как реликтов палеоокеанической коры в коллизионной системе ранних каледонид Западного Прибайкалья.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ЭТАПОВ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И ИСТОЧНИКОВ СНОСА В СЕВЕРНОМ И ВОСТОЧНОМ ОБРАМЛЕНИИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

В северном и восточном обрамлении Сибирской платформы детритовые цирконы изучены в верхоянской серии и ее аналогах на Новосибирских островах и в обрамлении моря Лаптевых. Верхоянская серия — одна из наиболее мощных в мире терригенных серий, отложенных вдоль восточного обрамления Сибирской платформы (палеосеверотихоокеанского обрамления) после девонского рифтинга и формирования Виллюйского грабена [Добрецов и др., 2013]. Она накапливалась от раннего карбона до ранней юры и сформировала толщу мощностью до 15 км [Прокопьев и др., 2013; Prokoriev et al., 2008; Miller et al., 2013]. Источниками терригенных осадков служили главным образом Прибайкальские и Алтае-Саянские горные системы, а транспортной системой — речная система Палеолены, частично Палеотаймыра, выносившего осадки с Уральской и Таймырской горных систем (рис. 4).

На рис. 5 по данным [Miller et al., 2013] приведено сопоставление детритовых цирконов из триасовых отложений, формирующих северное и северо-восточное обрамление Сибирской платформы в Енисей-Хатангском и Верхоянском прогибах (Палеотаймыр, Палеолена, Новосибирские острова) с Чукоткой, о. Врангеля, а также дальними районами арктического обрамления (Транславрентия и Крокерлэнд, формирующие бассейн Свердруп). На всех диаграммах (см. рис. 5) выделяются те же интервалы 400—700 и 700—1000 млн лет с многочисленными пиками внутри этих интервалов, как и на рис. 3. К ним добавляется герцинский интервал (200—400 млн лет) в гистограммах Палеотаймыра, Палеолены, Новосибирских островов, Чукотки и о. Врангеля, в котором на большинстве диаграмм выделяются максимумы 350, 300 и 250—260 млн лет. В каледонском интервале (400—700 млн лет) в большинстве диаграмм видны максимумы 410, 460—470, 500—520, 560 млн лет, слабее выражены максимумы 620 и 680 млн лет. Длительность между максимумами составляет 55—60 млн лет.

Максимумы в неопротерозе между 700—1000 млн лет плохо выражены, намечаются около 720 и 780 млн лет (Крокерлэнд, Чукотка), 870, 920, 980 млн лет. Датировки древнее 1 млрд лет в осадках Палеолены, Транславрентии и Аляска образуют три интервала 1100—1400, 1650—2100 и 2500—2700 млн лет. Достоверно архейских датировок (древнее 2600—2700 млн лет) практически нет, в отличие от диаграмм рис. 3.

Сравнение этих данных и реконструкция источников сноса Палеолены и Палеотаймыра показывают, что Палеолена характеризуется почти равным соотношением раннепалеозойских (каледонских) и позднепалеозойских—триасовых (герцинских из Верхоянья) дат и почти полным отсутствием цирконов в интервале 550—1800 млн лет. Палеотаймыр с Уральскими источниками сноса (см. рис. 4, 5) характеризуется максимальной долей герцинских дат. Транславрентия и Крокерлэнд (бассейн Свердруп) отличаются отсутствием герцинских дат, наличием значительного числа гренвилльских дат в интервале 1.1—1.5 млрд лет и преобладающим максимумом (в Крокерлэнде) 530 и 580 млн лет [Miller et al., 2013].

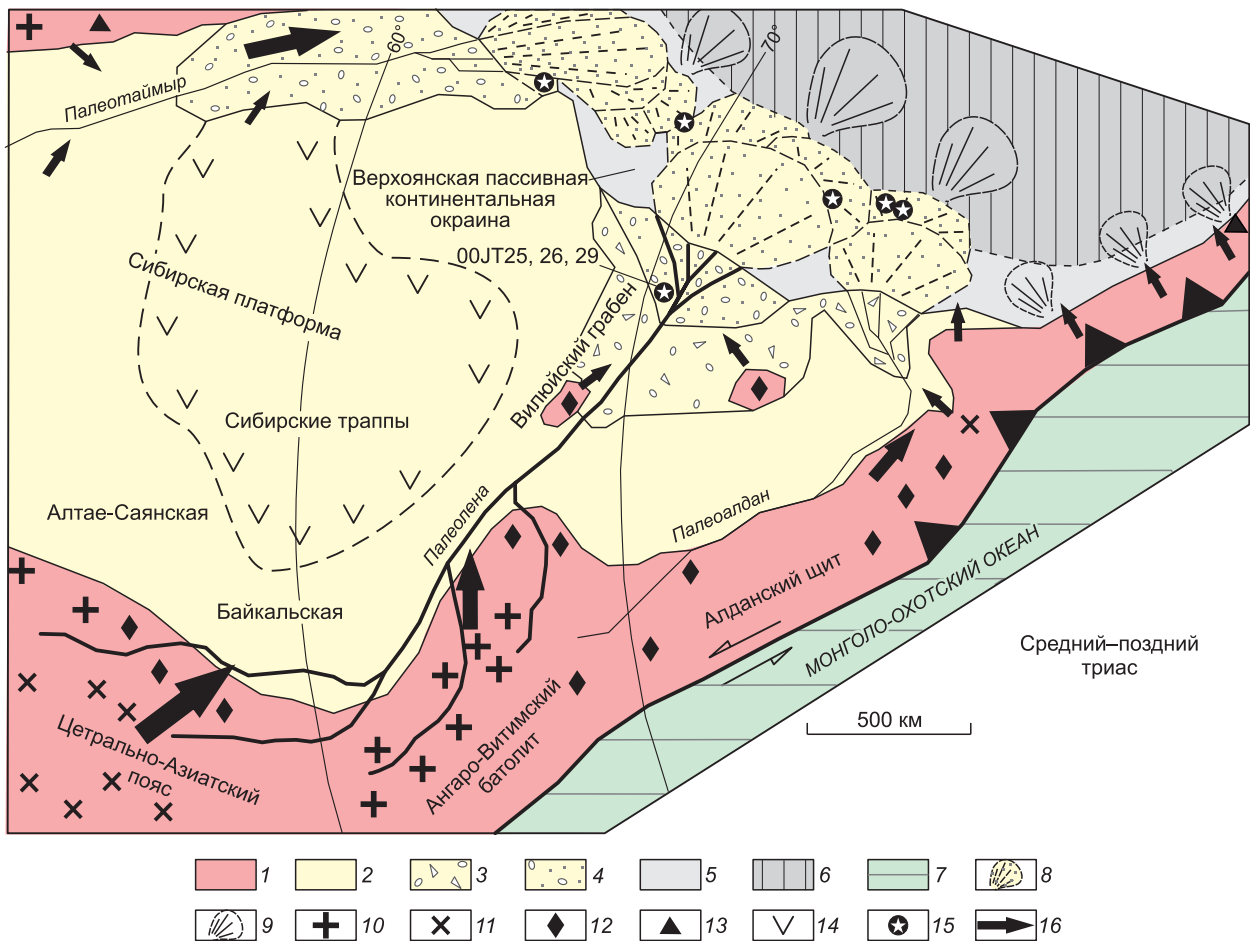


Рис. 4. Палеогеографическая схема Верхоянской окраины Сибирского континента [Miller et al., 2013].

1 — высокие горы, 2 — низкие горы, 3 — прибрежная равнина, 4 — заливы, 5 — внутренний шельф, 6 — внешний шельф, 7 — океаническая кора, 8 — дельты, 9 — подводные конуса, 10 — позднепалеозойские граниты, 11 — раннепалеозойские граниты, 12 — палеопротерозойские граниты и вулканиты, 13 — пермско-триасовые граниты и вулканиты, 14 — базальты Сибирских траппов, 15 — места отбора образцов, 16 — направления течений.

Сравнение дат из Новосибирских островов с Чукоткой и о. Врангеля (см. рис. 5) показывает их большое сходство между собой и отличие от Аляски и Палеолены. В отличие от интерпретации [Miller et al., 2006, 2013], мы считаем, что Чукотка, о. Врангеля и Новосибирские острова образовывали в перми и триасе общий блок, вероятно, единый с хр. Менделеева, а не с Сибирью, в соответствии с реконструкциями в работе [Кулаков и др., 2013].

По данным U-Pb датирования обломочных цирконов из нижнекаменноугольных песчаников фронтальной части севера Верхоянского складчато-надвигового пояса, А.В. Прокопьевым и соавторами [Прокопьев и др., 2013] впервые установлено, что возрастные спектры в отложениях нижнего визе (крестяхская свита) и верхнего визе-серпуховского ярусов (тиксинская свита) резко различны. Ранневизейские песчаники содержат до 95 % обломочных цирконов докембрийского возраста, а поздневизейско-серпуховского — только 55 %. Возраст и характер распределения докембрийских цирконов близки, свидетельствуя, что при накоплении отложений поздневизейско-серпуховского времени значительный вклад вносили продукты перемива терригенных осадков крестяхской свиты или те же источники, которые доминировали в ранневизейское время: кристаллический фундамент кратона, эродированные мезо- и неопротерозойские осадочные комплексы, магматические породы Центрального Таймыра. В отложениях тиксинской свиты 45 % обломочных цирконов имеют палеозойский возраст, а 24 % — раннепалеозойский с преобладающими кембрий-ордовикскими возрастными. Потенциальными питающими провинциями, в которых широко распространены магматические породы такого возраста, могли быть складчатые пояса, протягивающиеся вдоль северной, западной или юго-западной периферии Сибирской

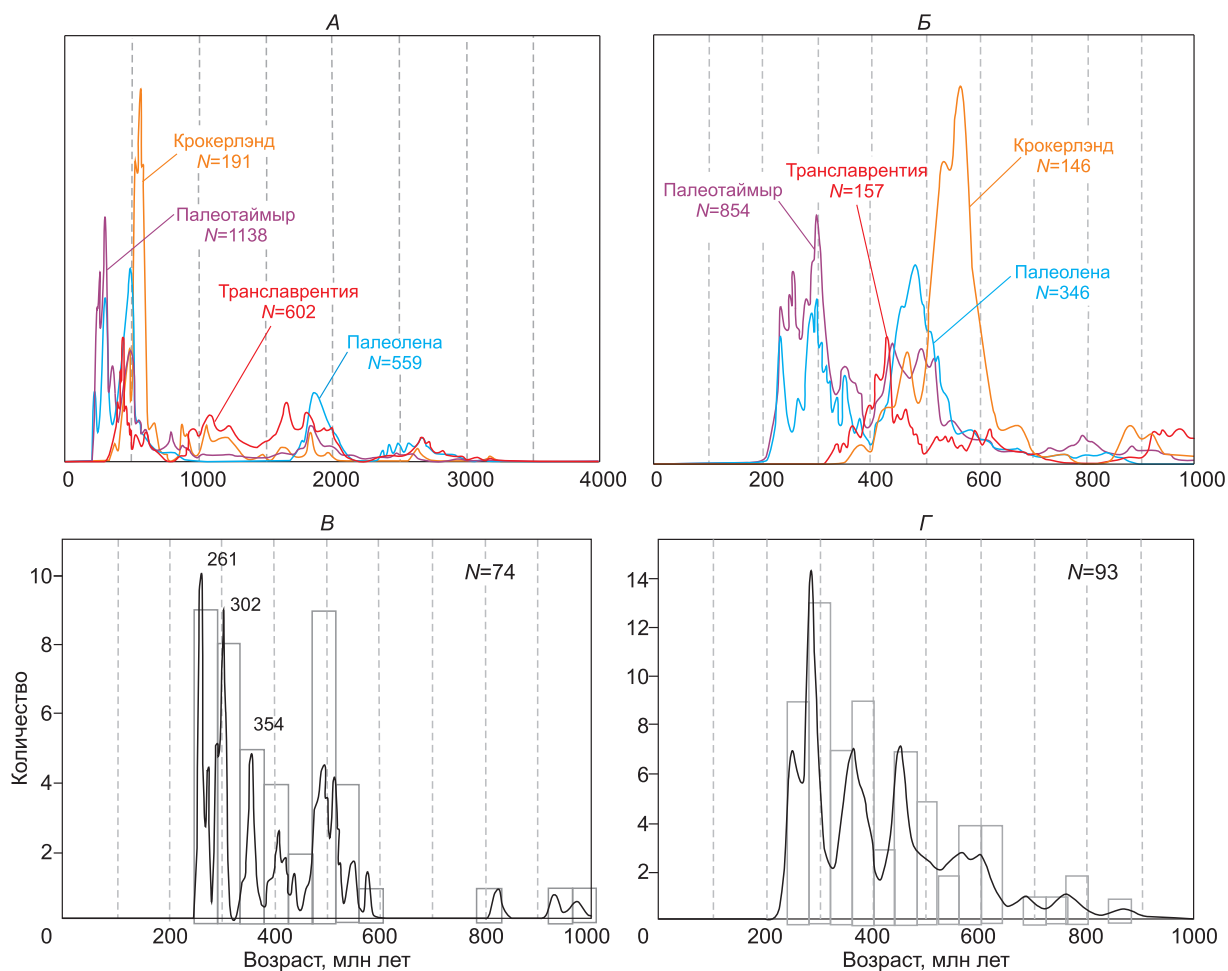


Рис. 5. Сопоставление возрастов детритовых цирконов из триасовых отложений северного и северо-восточного обрамления Сибирской платформы [Miller et al., 2013; Prokoriev et al., 2008].

А — Енисейско-Хатангский прогиб, *Б* — Верхоянский прогиб, *В* — Новосибирские острова, *Г* — Чукотка и о. Врангеля

платформы — Таймыро-Североземельский и Центрально-Азиатский. Присутствие цирконов среднепозднедевонского возраста связывается с размывом гранитоидов Енисейского кряжа и Алтае-Саянской области. Источником раннекаменноугольных детритовых цирконов могли служить магматические породы Таймыро-Североземельского складчатого пояса, подтверждая, что к этому времени произошла коллизия Карского террейна с северной окраиной Сибирского континента. В ранневизейское время осадконакопление происходило в небольших конусах выноса, возможно, у подножия крутого эскарпа, возникшего на поздней стадии среднепалеозойского рифтогенеза. Основным поставщиком кластики были небольшие речные потоки, которые размывали относительно близлежащие толщи. В поздневизейско-серпуховское время резко увеличилось количество обломочного материала и появились детритовые цирконы из новых источников сноса — складчатых поясов северной и юго-западной периферии Сибирского континента. В это время уже существовала крупная речная система, которая могла переносить обломочный материал на большое расстояние и отлагать его в подводных конусах выноса на севере Верхоянской пассивной континентальной окраины (см. рис. 4).

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЦЕТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА (АЛТАИД) И ФОРМИРОВАНИЕ ПОЗДНЕГЕРЦИНСКИХ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ

Уралиды в Урало-Монгольском поясе отличаются по своим ранним и заключительным фазам [Пучков, 2003, 2010] и не включаются в структуру «алтаид», к которым отнесена большая часть структур, возникших на месте Палеоазиатского океана [Sengör et al., 1993]. Тиманиды как предшественники

уралиды отличаются от байкалиды в обрамлении Сибирской платформы и ближе к кадомидам Европы [Пучков, 2003]. Ордовикское открытие Палеоуральского океана нарушило первоначальные связи тиманиды как с кадомидами, так и с байкалидами. Ордовикско-девонская история Урала сходна с Южно-Тяньшаньской, Джунгаро-Зайсанской и Южно-Гобийской ветвями герцинского Палеоазиатского океана [Добрецов, 2003]. Островные дуги в уралидах появились в конце ордовика и продолжались до середины карбона, в отдельных зонах до конца перми. Сопоставление разрезов палеозоя Южного Урала, Южного Тянь-Шаня и Джунгаро-Зайсанской области свидетельствует о синхронности основных событий в девоне, крупнейших перестройках в середине карбона и продолжении магматической активности в перми—раннем триасе в регионах, пограничных с Палеотетисом (Южная Монголия и Южный Тянь-Шань) или сохранение связи с Палеотетисом (Полярный Урал).

Как отмечено выше, крупные перестройки в середине карбона прекратили существование Обь-Зайсанской ветви Палеоазиатского океана в результате столкновения Казахстанско-Байкальского составного континентального блока с Сибирским континентальным блоком, включая Сибирский кратон и окружающие его окраинно-континентальные комплексы. Сводки возрастных датировок Урало-Монгольского пояса [Добрецов, 2003; Пучков, 2010] и Алтае-Саянской области [Буслов, 2013] подтверждают их существенное отличие в отношении ранних (неопротерозойских) и поздних (герцинских) стадий.

В мезозое конвергенция между дрейфующими фрагментами Гондваны с активной границей Евразии привела к образованию крупномасштабных субдукционно-аккреционных поясов, возникших в результате киммерийской и монголо-охотской орогений, которые распространили деформацию во внутренние части Евразии за счет реактивации палеозойских структур [De Grave et al., 2007; Буслов и др., 2008; Буслов, 2012].

Актуалистическим аналогом палеозойского и мезозойского роста и деформаций литосферы Евразии за счет взаимодействия с ней микроконтинентов гондванской группы является кайнозойская конвергенция Индийского континента с Евразией. Напряжения, связанные с Индо-Евразийской коллизией, распространились на тысячи километров внутрь континента до Южной и Восточной Сибири и привели к формированию обширной горной системы [Зоненшайн и др., 1990; Добрецов и др., 1995; Dobretsov et al., 1996; De Grave et al., 2007; Буслов и др., 2008; Буслов, 2012; Glorie et al., 2012].

В статье М.М. Буслова и соавторов [Буслов и др., 2013] показано, что в Алтае-Саянской складчатой области и сопредельных территориях широко распространены позднепалеозойские тектонические покровы, которые ассоциируют с одновозрастными крупноамплитудными сдвигами. В позднепалеозойских аллохтонах и автохтоне сохранились фрагменты ранних этапов складчатости. Каледонские покровно-сдвиговые и сдвиговые структуры, сопровождающиеся формированием метаморфических комплексов и гранитов, характерны для начальной стадии коллизии Казахстанско-Байкальского и Сибирского континентов. Они проявлены в Чарышско-Теректинской зоне Горного Алтая, Куртушибинской зоне Западного Саяна, Сангилене, Восточных Саянах и Прибайкалье, где нарушены позднепалеозойскими покровно-сдвиговыми деформациями. Так, на Горном Алтае позднепалеозойские покровы оконтуривают автохтонную структуру, сложенную фрагментом венд-кембрийской Кузнецко-Алтайской островной дуги, включающей аккреционные клинья Бийско-Катунской и Курайской зон, покровно-складчатые деформации в которых проявились в позднем докембрии—раннем кембрии, т.е. соответствуют салаирской складчатости. В свою очередь, салаирская покровно-складчатая структура стратиграфически перекрыта мощным, достигающим 15 км стратифицированным комплексом пород Ануйско-Чуйской зоны, представленным среднекембрийско-раннеордовикскими образованиями преддугового прогиба, ордовикско-раннедевонскими карбонатно-терригенными толщами пассивной окраины. Они несогласно перекрываются девонским вулканогенно-осадочным комплексом активной окраины. Завершает разрез фаменско-визейская моласса, трансгрессивно перекрывающая девонские образования. Моласса и несогласие в ее основании фиксируют проявление позднепалеозойской складчатости, которая интенсивно проявлена в деформациях краевых частей Ануйско-Чуйской зоны, а также в Бийско-Катунской и Курайской зонах, вблизи ограничивающих их Каимской, Чарышско-Теректинской и Телецко-Курайской покровно-сдвиговых структур. К покровно-сдвиговым структурам приурочены тектонические пластины верхнекарбонной угленосной молассы. Возрасты магматических цирконов из различных возрастных уровней Ануйско-Чуйской зоны от позднего кембрия до карбона свидетельствуют, что основным их источником являлись позднекембрийско-раннеордовикские магматические породы Кузнецко-Алтайской островной дуги в меньшей мере среднеордовикские плюмовые магматические породы Кузнецко-Батеневского ареала (северная часть Алтае-Саянской области). Малую долю составляют палеопротерозойские цирконы, которые могли быть принесены с Сибирской платформы.

Заметно отличаются популяции цирконов из позднекарбонной молассы Юго-Восточного Алтая. В них обнаружены как цирконы, представляющие продукты разрушения среднедевонско-раннекарбонных и кембрийско-раннеордовикских магматических пород северной части Горного Алтая, так и цир-

коны, сопоставимые с возрастными магматических пород Казахстанско-Байкальского составного континента и ограничивающей его с севера каледонской сутурно-сдвиговой зоны.

Полученные данные подтверждают выводы в работах [Добрецов, Буслов, 2007, 2011; Буслов, 2011], что в южном складчатом обрамлении Сибирского кратона выделяются структуры салаирской аккреционно-коллизийной стадии, характеризующие эволюцию Кузнецко-Алтайской и Тувинской островных дуг, каледонской аккреционно-коллизийной стадии, связанной с аккрецией Казахстанско-Байкальского составного континента, включающего Тувино-Монгольский микроконтинент и ряд других террейнов, к окраине Сибирского континента. На древние структуры наложены позднедевонско-раннекарбоновые и позднекарбоново-пермские деформации, соответствующие по возрасту раннегерцинской и позднегерцинской складчатостям, формирующим внутриконтинентальные орогены, образованные многостадийной коллизией Восточно-Европейского, Сибирского и Казахстанско-Байкальского континентов.

В статье С.Н. Руднева и соавторов [Руднев и др., 2013а] обобщены результаты геологических, геохронологических, геохимических и изотопно-геохимических исследований венд-раннекембрийского островодужного плагиигранитоидного магматизма Алтае-Саянской складчатой области и Озерной зоны Западной Монголии. Установлено, что его формирование происходило в диапазоне от 563 ± 2 до 514 ± 8 млн лет. Максимум проявления плагиигранитоидного магматизма приходится на рубеж 535 ± 6 — 518 ± 2 млн лет, когда происходило становление крупных плагиигранитоидных плутонов.

По химическому составу плагиигранитоиды относятся к породам толеитовой и известково-щелочной серий. По содержанию Al_2O_3 , редких и редкоземельных элементов плагиигранитоиды этих серий разделяются на низко- и высокоглиноземистые типы, присутствие которых отражает не только различия по глубине формирования исходных расплавов (3—8 кбар и ≥ 15 кбар), но и их источники.

Высокоглиноземистые ассоциации имеют ограниченное развитие и проявлены в составе небольших массивов, реже крупных плутонов. Для них характерны низкие содержания РЗЭ (главным образом за счет тяжелых РЗЭ), высокие отношения La_N/Yb_N (преимущественно 9—35, в редких случаях 4—8) и Sr/Y (60—287), а также отчетливые максимумы по Sr, что свойственно для высокоглиноземистых TTG комплексов. Предполагается, что формирование исходных для них магм связано с частичным плавлением метабазитов, близких по составу к базальтам N-MORB-типа, при $P \geq 15$ кбар в равновесии с гранат-содержащим реститом при погружении в зону субдукции океанической плиты. В пользу такого механизма свидетельствуют сходство высокоглиноземистых плагиигранитоидов с высококремнистыми адакитами различных регионов мира и высокие положительные величины $\epsilon_{Nd}(T)$, близкие к деплетированной мантии.

Низкоглиноземистые плагиигранитоидные ассоциации толеитовой и известково-щелочной серий, в отличие от высокоглиноземистых, характеризуются более высокими содержаниями РЗЭ, но пониженными отношениями La_N/Yb_N (0.4—9), Sr/Y (3—47) и отсутствием максимума по Sr. Их формирование, вероятнее всего, было связано с плавлением метабазитов, расположенных в низах или основании островодужных систем при давлениях от 3 до 8 кбар в равновесии с плагииоклаз- и амфиболсодержащими реститами, что указывает на менее глубинные условия формирования исходных для них расплавов.

Sr-Nd изотопные исследования венд-раннекембрийских плагиигранитоидных ассоциаций островодужного этапа развития АССО и Озерной зоны показали, что они характеризуются высокими положительными величинами $\epsilon_{Nd}(T)$ от +9.0 до +4.7, вариациями Nd-модельных возрастов $T_{Nd}(DM)$ в интервале 0.50—0.85 млрд лет и низкими первичными отношениями изотопов стронция $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i = 0.7034$ — 0.7053 . При этом высокоглиноземистые плагиигранитоиды имеют наиболее высокие величины $\epsilon_{Nd}(T) = +9.0 \dots +7.4$, свидетельствующие о базитовом (N-MORB-типа) источнике. Низкоглиноземистые плагиигранитоиды, образующиеся за счет плавления метабазитов, расположенных в низах или основании островодужных систем, характеризуются пониженными значениями $\epsilon_{Nd}(T)$ (+7.6...+4.7), что указывает на присутствие коровой компоненты в исходных расплавах.

В статье М.Л. Куйбида и соавторов [Куйбида и др., 2013] приводятся данные по геологической позиции, возрасту, вещественному составу и петрогенезису мезоабиссальных плагиигранитов Рудного Алтая, возраст которых ранее считался раннесреднедевонским. Комплексом изотопно-геохимических данных (U-Pb по циркону, Ar-Ar по амфиболу и биотиту) обоснован среднекаменноугольный (322—318 млн лет) возраст гранитоидов. В результате геолого-структурных исследований установлено, что внедрение гранитоидов соответствовало моменту смены тектонических напряжений от «фронтального» сжатия к левому сдвигу. На этом основании подтвержден вывод о формировании гранитоидов на «пике» коллизийных событий, сопровождавших взаимодействие Сибирского и Казахстанско-Байкальского континентов [Добрецов, Буслов, 2007, 2011; Буслов, 2011]. Геохимические и изотопные исследования показали, что большинство изученных плагиигранитов относятся к высокоглиноземистому типу и сформированы при «глубинном» плавлении ($P \sim 15$ кбар) метабазитовых субстратов, состав которых, судя по результатам геохимического моделирования и изучения изотопного состава Nd, приближается к N-MORB. В то же время в составе постгранитной дайковой серии присутствуют плагииграниты низ-

коглиноземистого типа, что свидетельствует о плавлении гетерогенной коры Рудного Алтая на разных уровнях глубинности в условиях ее коллизионного утолщения.

В фамене—раннем карбоне [Коробкин, Буслов, 2011] на всех окраинах казахстанской части составного континента происходила субдукция океанической коры, с которой связано возникновение Валериановской островной дуги и Прибалхашско-Илийского вулканоплутонического пояса. В Джунгаро-Балхашском океане возникла Богдошаньская вулканическая дуга. В Тяньшаньско-Памирском секторе возникли новые вулканические дуги (Северо-Памирская и др.) и окраинные бассейны (Южно-Гиссарский). На большей части континента в фамене—раннем карбоне существовал единый шельфовый морской бассейн с терригенно-карбонатным осадконакоплением. Во второй половине раннего карбона на его месте обособливаются три основных бассейна осадконакопления — Тенизский, Джекказганский, Карагандинский. В первых двух бассейнах формируются меденосные и соленосные комплексы, на востоке — мощные угленосные толщи Карагандинского, Экибастузского и других угольных месторождений. В этих бассейнах наряду с зелено- и сероцветными породами, в той или иной степени присутствуют красноцветные отложения.

В среднем—позднем карбоне активно развивались все окраинно-континентальные активные пояса Казахстанско-Байкальского континента. Обрамляющие его океанические бассейны закрывались, сближались Восточно-Европейский и Сибирский континенты [Буслов, 2011].

В пределах Тарима и Джунгаро-Балхашской области активно проявился плюмовый магматизм Таримской крупной изверженной провинции (295—270 млн лет) [Добрецов и др., 2010], который сопровождался проявлением бимодальной, щелочно-базитовой и толеитовой серий пород. Смещение Восточно-Европейского континента к северу в перми связано с формированием активных движений по Челябинскому, Главному Каратаускому, Джалаир-Найманскому и др. правосторонним сдвигам. Наряду с поднятием горных хребтов, в ранней перми образовались остаточные полузамкнутые глубоководные бассейны. Примером служит Джунгарский бассейн, в котором накапливался мощный флиш с битуминозными сланцами. В большинстве районов осадконакопление развивалось в условиях межгорных и предгорных впадин с накоплением красноцветных моласс, местами с вулканитами.

С.В. Хромых и соавторы [Хромых и др., 2013] представили результаты петрологических, изотопно-геохимических и геохронологических исследований габбро-пикритоидных массивов Алтайской коллизионной системы герцинид (Восточный Казахстан). Анализ геологических, геохимических и геохронологических данных позволяет считать их индикаторами активности Таримского плюма. Установлено, что формирование габброидов и пикритоидов происходило после коллизии в два этапа (~ 293 и 280 млн лет) в антидромной последовательности, которая может быть объяснена моделью взаимодействия термохимических плюмов с литосферой. Ранняя стадия магматической активности, на которой были сформированы массивы субщелочных габброидов, отражает первое взаимодействие поднимающегося плюма с литосферой, со сравнительно невысокими степенями плавления подлитосферных субстратов. Дальнейшее развитие этого взаимодействия характеризовалось растеканием головной части плюма под литосферой, значительным прогревом ее основания, сопровождавшимся, вероятно, внедрением глубинных расплавов, что привело к формированию Cu-Ni-ЭПГ-рудноносных габбро-пикритоидных интрузивов на территории Алтайской коллизионной системы и Северо-Западного Китая.

В перми—триасе завершилось формирование коллажа сдвиговых структур Центрально-Азиатского орогенического пояса. Евразийский континент имел активную окраину с океаном Палеотетис и продолжил движение на север [Buslov et al., 2004]. Это обусловило развитие сдвигов и формирование рифтов и грабенов на Тариме, Устюрте, Мангышлаке, Тянь-Шане. Отмечается надвигание кряжа Карпинского и Уральского складчатого пояса на Прикаспийскую впадину и Устюрт, где накапливались мощные терригенные и соленосные внутриконтинентальные толщи. Красноцветные терригенные отложения формировались также в ряде впадин Казахстана и Китая — Чу-Сарысуйской, Тенизской, Джунгарской, Таримской.

ВЫВОДЫ

В последние десятилетия складчатые сооружения Центральной Азии, расположенные между Восточно-Европейским, Сибирским, Таримским и Северо-Китайским кратами, охарактеризованы как аккреционно-коллизионные, сформированные из фрагментов коры Палеоазиатского океана, островных дуг и микроконтинентов. Исходя из аналогии строения современных конвергентных границ океанических и континентальных плит и линейных складчатых областей, протягивающихся на многие тысячи километров, проводились попытки выделения маркирующих структурных единиц (фронтальных частей островных дуг, офиолитовых сутур, высокобарических метаморфических поясов), которые позволили бы в мозаике блоков Центральной Азии оконтурить палеотектонические зоны и выявить геодинамику и этапы формирования складчатых сооружений региона относительно окружающих кратов. В связи с

этим, складчатые зоны, окружающие кратоны, рассмотрены как их окраинно-континентальные геодинамические комплексы. Так, в работах [Зоненшайн и др., 1990; Berzin, Dobretsov, 1993; Берзин и др., 1994; Диденко и др., 1994; Yakobchuk, 2004; Windley et al., 2007; Xiao et al., 2009] выделяют несколько разновозрастных аккреционно-коллизийных зон, образованных в течение венда—раннего карбона последовательным присоединением к Сибирскому континенту островных дуг, микроконтинентов и океанических поднятий. Согласно модели [Sengör et al., 1993], в истории Палеоазиатского океана существовала единая венд-палеозойская субдукционная зона, над которой по обрамлению Восточно-Европейского и Сибирского кратонов сформировались дуги соответственно Кипчак и Тувино-Монгольская. В течение палеозоя в результате дрейфа и вращения Сибирского и Восточно-Европейского континентов произошли деформации дуги, выраженные в формировании изгибов и крупноамплитудных сдвигов.

В статьях этого специального выпуска журнала в рамках взаимосвязи геодинамических процессов в Центрально-Азиатском складчатом поясе и на Сибирской платформе проведено первое обобщение в изучении геохимических и изотопно-геохимических характеристик неопротерозой-палеозойских осадочных серий с целью синхронизации осадконакопления в бассейнах различного типа как в пределах платформы, так и складчатого пояса. Это позволило более корректно на основе реконструкций геодинамических обстановок седиментогенеза отдельных осадочных бассейнов проследить развитие орогенных структур, окружающих Сибирский континент. По мнению авторов статьи, в решении вопросов тектонического районирования наиболее конструктивной (работоспособной) является схема, приведенная в работах [Добрецов, Буслов, 2007, 2011; Буслов, 2011]. Она включает в себя перечисленные выше достижения в тектоническом районировании Центрально-Азиатского складчатого пояса и фокусируется на выделении каледонской Чарышско-Теректинско-Улаганско-Саянско-Ольхонской сутурно-сдвиговой зоны, разделяющей окраинно-континентальные комплексы пород Сибирского и Казахстанско-Байкальского континентов соответственно с ювенильным и смешанным типами коры. Позднепалеозойские крупноамплитудные сдвиги во многом нарушили первичные соотношения, в связи с чем древние структуры различных окраин тектонически перемешаны друг с другом, что создало трудности в интерпретации палеогеографической, палеотектонической и палеогеодинамической зональностей Центрально-Азиатского складчатого пояса.

Многие вопросы корреляции осадочных серий с аккреционно-коллизийными процессами, в том числе с широким использованием возраста детритовых цирконов, находятся только на начальной стадии исследования. Не хватает систематического изучения осадочных серий, синхронных со стадиями аккреционно-коллизийных процессов, особенно для интервала кембрий—девон, и на Сибирской платформе, и в ее складчатом обрамлении, и на территории Казахстана и Тянь-Шаня. Недостаточна также комплексность изучения осадочных серий, включая Hf-датировки цирконов, Sr и Sm-Nd изотопную систематику. Большие перспективы имеет комплексный анализ спутниковых баз данных, подобный приведенному на рис. 2.

В то же время приведенные в статьях новые геохронологические определения и изотопно-геохимические анализы осадочных и магматических серий представляют несомненный шаг вперед и позволяют лучше понять задачи будущих исследований.

Работа выполнена в рамках базовых проектов ИГМ СО РАН и ИЗК СО РАН, проектов 10.2 ОН РАН, 13-05-12056 офи_м, проекта Гентского Университета (01 SB 1309).

ЛИТЕРАТУРА

Берзин Н.А., Колман Р.Г., Добрецов Н.Л., Зоненшайн Л.П., Сяо Сючань, Чанг Э.З. Геодинамическая карта западной части Палеоазиатского океана // Геология и геофизика, 1994, т. 35 (7—8), с. 8—28.

Буслов М.М. Тектоника и геодинамика Центрально-Азиатского складчатого пояса: роль позднепалеозойских крупноамплитудных сдвигов // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (1), с. 66—90.

Буслов М.М. Геодинамическая природа Байкальской рифтовой зоны и ее осадочного выполнения в мел-кайнозойское время: эффект дальнего воздействия Монголо-Охотской и Индо-Евразийской коллизий // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (9), с. 1245—1255.

Буслов М.М., Кох Д.А., де Граве И. Мезозойско-кайнозойская тектоника и геодинамика Алтая, Тянь-Шаня и Северного Казахстана по результатам трекового датирования апатитов // Геология и геофизика, 2008, т. 49 (9), с. 862—870.

Буслов М.М., Джен Х., Травин А.В., Отгонбаатар Д., Куликова А.В., Чен Минг, Глори С., Семаков Н.Н., Рубанова Е.С., Абилдаева М.А., Войтишек Е.Э., Трофимова Д.А. Тектоника и геодинамика Горного Алтая и сопредельных структур Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (10), с. 1600—1627.

Верниковский В.А., Верниковская А.Е., Полянский О.П., Лаевский Ю.М., Матушкин Н.Ю., Воронин К.В. Тектонотермальная модель формирования орогена на постколлизивной стадии (на примере Енисейского кряжа, Восточная Сибирь) // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (1), с. 32—50.

Верниковский В.А., Добрецов Н.Л., Метелкин Д.В., Матушкин Н.Ю., Кулаков И.Ю. Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (8), с. 1083—1108.

Волкова Н.И., Владимиров А.Г., Травин А.В., Мехоношин А.С., Хромых С.В., Юдин Д.С., Руднев С.Н. U-Pb-изотопное датирование цирконов (SHRIMP-II) гранулитов Ольхонского региона Западного Прибайкалья // Докл. РАН, 2010, т. 432 (6), с. 797—800.

Гладкочуб Д.П., Станевич А.М., Мазукабзов А.М., Донская Т.В., Писаревский С.А., Николь Г., Мотова З.Л., Корнилова Т.А. Ранние этапы развития Палеоазиатского океана: данные по LA-ICP-MS датированию детритовых цирконов из позднедокембрийских толщ южного фланга Сибирского кратона // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (10), с. 1472—1490.

Диденко А.Н., Моссаковский А.А., Печерский Д.М., Руженцев С.В., Самыгин С.Г., Хераскова Т.Н. Геодинамика палеозойских океанов Центральной Азии // Геология и геофизика, 1994, т. 35 (7—8), с. 59—75.

Диденко А.Н., Каплун И.Б., Малышев Ю.Ф., Шевченко Б.Ф. Структура литосферы и мезозойская геодинамика востока Центрально-Азиатского складчатого пояса // Геология и геофизика, 2010, т. 51 (5), с. 629—647.

Диденко А.Н., Ефимов А.С., Нелюбов П.А., Сальников А.С., Старосельцев В.С., Шевченко Б.Ф., Горошко М.В., Гурьянов В.А., Заможняя Н.Г. Структура и эволюция земной коры области сочленения Центрально-Азиатского пояса и Сибирской платформы: профиль Сковородино—Томмот // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (10), с. 1583—1599.

Дмитриева Н.В., Летникова Е.Ф., Буслов М.М., Прошенкин А.И., Джен Х. Позднедокембрийские терригенные породы Анамакит-Муйской зоны Байкало-Муйского пояса: геохимия и данные по LA-ICP-MS датированию детритовых цирконов // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (10), с. 1491—1506.

Добрецов Н.Л. Эволюция структур Урала, Казахстана, Тянь-Шаня и Алтае-Саянской области в Урало-Монгольском складчатом поясе (Палеозойском океане) // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (1—2), с. 5—27.

Добрецов Н.Л. Глобальная геодинамическая эволюция Земли и глобальные геодинамические модели // Геология и геофизика, 2010, т. 51 (6), с. 761—784.

Добрецов Н.Л. Раннепалеозойская тектоника и геодинамика Центральной Азии: роль раннепалеозойских мантийных плюмов // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (12), с. 1957—1973.

Добрецов Н.Л., Буслов М.М. Позднекембрийская-ордовикская тектоника и геодинамика Центральной Азии // Геология и геофизика, 2007, т. 48 (1), с. 71—82.

Добрецов Н.Л., Буслов М.М. О проблемах геодинамики, тектоники и металлогении складчатых поясов // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (12), с. 1911—1926.

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.

Добрецов Н.Л., Полянский О.П., Ревердатто В.В., Бабичев А.В. Динамика нефтегазоносных бассейнов в Арктике и сопредельных территориях как отражение мантийных плюмов и рифтогенеза // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (8), с. 1145—1161.

Донская Т.В., Склярёв Е.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Сальникова Е.Б., Ковач В.П., Яковлева С.З., Бережная Н.Г. Прибайкальский коллизивный метаморфический пояс // ДАН, 2000, т. 374, № 7, с. 1075—1079.

Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Федоровский В.С., Мазукабзов А.М., Чо М., Чонг В., Ким Дж. Синметаморфические гранитоиды (~ 490 млн лет) — индикаторы аккреционной стадии в эволюции Ольхонского террейна (Западное Прибайкалье) // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (10), с. 1543—1561.

Жмодик С.М., Постников А.А., Буслов М.М., Миронов А.Г. Геодинамика Саяно-Байкало-Муйского аккреционно-коллизивного пояса в неопротерозое—раннем палеозое, закономерности формирования и локализации благороднометалльного оруденения // Геология и геофизика, 2006, т. 47 (1), с. 183—197.

Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. М., Недра, 1990, т. 2, 334 с.

Коваленко В.И., Ярмлюк В.В., Ковач В.П., Котов А.Б., Козаков И.К., Сальникова Е.Б. Источники фанерозойских гранитоидов Центральной Азии: Sm-Nd-изотопные данные // Геохимия, 1996, № 8, с. 699—712.

Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Ковач В.П., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. Магматизм и геодинамика раннекаледонских структур Центрально-Азиатского складчатого пояса (изотопные и геологические данные) // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (12), с. 1280—1293.

Коробкин В.В., Буслов М.М. Тектоника и геодинамика западной части Центрально-Азиатского складчатого пояса (палеозойды Казахстана) // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (12), с. 2032—2055.

Куйбида М.Л., Крук Н.Н., Мурзин О.В., Шокальский С.П., Гусев Н.И., Киринова Т.И., Травин А.В. Геологическая позиция, возраст и петрогенезис плагиогранитов северной части Рудного Алтая // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (10), с.

Кузьмичев А.Б., Ларионов А.Н. Сархойская серия Восточного Саяна: неопротерозойский (~ 770—800 млн лет) вулканический пояс андийского типа // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (7), с. 875—895.

Кузьмичев А.Б., Ларионов А.Н. Неопротерозойские островные дуги Восточного Саяна: длительность магматической активности по результатам датирования вулканокластиков по цирконам // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (1), с. 45—57.

Кулаков И.Ю., Гайна К., Добрецов Н.Л., Василевский А.Н., Бушенкова Н.А. Реконструкции перемещений плит в Арктическом регионе на основе комплексного анализа гравитационных, магнитных и сейсмических аномалий // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (8), с. 1108—1125.

Летникова Е.Ф., Кузнецов А.Б., Вишневская И.А., Вещева С.В., Прошенкин А.И., Джен Х. Вендская пассивная континентальная окраина юга Сибирской платформы: геохимические, изотопные (Sr, Sm-Nd) свидетельства, данные U-Pb датирования LA-ICP-MS детритовых цирконов // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (10), с. 1507—1529.

Лиханов И.И., Ревердатто В.В., Козлов П.С., Попов Н.В. Кианит-силлиманитовый метаморфизм докембрийских комплексов Заангарья Енисейского кряжа // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (12), с. 1335—1356.

Мехоношин А.С., Владимиров А.Г., Владимиров В.Г., Волкова Н.И., Колотилина Т.Б., Михеев Е.И., Травин А.В., Юдин Д.С., Хлестов В.В., Хромых С.В. Реститовые гипербазиты в коллизионной системе ранних каледонид Западного Прибайкалья // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (10), с. 1562—1582.

Моссаковский А.А., Руженцев С.В., Самыгин С.Г., Хераскова Т.Н. Центрально-Азиатский складчатый пояс: геодинамическая эволюция и история формирования // Геотектоника, 1993, № 6, с. 3—33.

Новиков И.С. Реконструкция этапов горообразования обрамления Джунгарской впадины по литостратиграфии позднепалеозойских, мезозойских и кайнозойских отложений // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (2), с. 184—203.

Ножкин А.Д., Борисенко А.С., Неволько П.Н. Этапы позднепротерозойского магматизма и возрастные рубежи золотого оруденения Енисейского кряжа // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (1), с. 158—181.

Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртогоо О., Янь Х. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология, 2003, № 6, с. 7—42.

Прокопьев А.В., Ершова В.Б., Миллер Э.Л., Худoley А.К. Раннекаменноугольная палеогеография северной части Верхоянской пассивной окраины по данным U-Pb датирования обломочных цирконов: роль продуктов размыва Центрально-Азиатского и Таймыро-Североземельского складчатых поясов // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (10), с. 1530—1542.

Попов Н.В., Лиханов И.И., Ножкин А.Д. Мезопротерозойский гранитоидный магматизм в заангарской части Енисейского кряжа: результаты U-Pb-исследований // ДАН, 2010, т. 431 (4), с. 509—515.

Пучков В.Н. Уралиды и тиманиды, их структурные связи и место в геологической истории Урало-Монгольского складчатого пояса // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (1—2) с. 28—39.

Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа, ДизайнПолиграфСервис, 2010, 280 с.

Розен О.М., Манаков А.В., Зинчук Н.Н. Сибирский кратон: формирование, алмазоносность. М., Научный мир, 2006, 210 с.

Романова И.В., Верниковская А.Е., Верниковский В.А., Матушкин Н.Ю., Ларионов А.Н. Неопротерозойский щелочной и ассоциирующий с ним магматизм в западном обрамлении Сибирского кратона: петрография, геохимия и геохронология // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (11), с. 1530—1555.

Руднев С.Н. Раннепалеозойский гранитоидный магматизм Алтае-Саянской складчатой зоны и Озерной зоны Западной Монголии. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2013, 300 с.

Руднев С.Н., Бабич Г.А., Ковач В.П., Киселева В.Ю., Серов П.А. Ранние этапы островодужного плагиигранитоидного магматизма Горной Шории и Западного Саяна // Геология и геофизика, 2013а, т. 54 (1), с. 27—44.

Руднев С.Н., Ковач В.П., Пономарчук В.А. Венд-раннекембрийский островодужный плагиигранитоидный магматизм Алтае-Саянской складчатой области и Озерной зоны Западной Монголии (геохронологические, геохимические и изотопные данные) // Геология и геофизика, 2013б, т. 54 (10), с. 1628—1647.

Туркина О.М., Урманцева Л.Н., Бережная Н.Г., Скублов С.Г. Формирование и мезоархейский метаморфизм гиперстеновых гнейсов в Иркутском гранулитогнейсовом блоке (Шарыжалгайский выступ Сибирского кратона) // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (1), с. 122—137.

Туркина О.М., Капитонов И.Н., Сергеев С.А. Изотопный состав Hf в цирконе из палеоархейских плагиигранитов и плагиигранитоидов Шарыжалгайского выступа (юг Сибирского кратона) и его значение для оценки роста континентальной коры // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (3), с. 357—370.

Хромых С.В., Владимиров А.Г., Изох А.Э., Травин А.В., Прокопьев И.Р., Азимбаев Е., Лобанов С.С. Петрология и геохимия габброидов и пикритоидов Алтайской коллизионной системы герциниды: свидетельства активности Таримского плюма // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (10), с. 1648—1667.

Andersen O.B., Knudsen P., Berry P. The DNSC08GRA global marine gravity field from double tracked satellite altimetry // *J. Geodesy*, 2010, v. 84, № 3. DOI: 10. 1007/s00190-009-0355-9.

Berzin N.A., Dobretsov N.L. Geodynamic evolution of Southern Siberia in Late Precambrian-Early Paleozoic time // *Reconstruction of the Paleoasian Ocean*. VSP Intern. Sci. Publishers, the Netherlands, 1993, p. 45—62.

Buslov M.M., Watanabe T., Fujiwara Y., Iwata K., Smirnova L.V., Saphonova I.Yu., Semakov N.N., Kiryanova A.P. Late Paleozoic faults of the Altai region, Central Asia: tectonic pattern and model of formation // *J. Asian Earth Sci.*, 2004, v. 23, p. 655—671.

Buslov M.M., De Grave J., Bataleva E.A., Batalev V.Yu. Cenozoic tectonic and geodynamics in the Tian Shan: synthesis of geology and geophysical data // *J. Asian Earth Sci.*, 2007, v. 29, p. 205—214.

Condie K.C., Belousova E., Griztin W.L., Circombe K.N. Granitoid events in space and time: constraints from igneous and detrital zircon age spectra // *Gondwana Res.*, 2009, v. 15, p. 228—242.

De Grave J., Buslov M.M., Van den Haute P. Intercontinental deformation in Central Asia: distant effects of India—Eurasia convergence revealed by apatite fission-track thermochronology // *Himalayan J. Sci.*, 2004, v. 21, № 41, p. 121—122.

De Grave J., Buslov M., Van Den Haute P., Metcalf J., Batalev V. From Palaeozoic Eurasian assembly to ongoing Indian indentation: multi-chronometry of the northern Kyrgyz Tien Shan batholith // *J. Asian Earth Sci.*, 2006, v. 26 (2), p. 133.

De Grave J., Buslov M.M., Van Den Haute P. Distant effects of India—Eurasia convergence and Mesozoic intracontinental deformation in Central Asia: constraints from apatite fission-track thermochronology // *J. Asian Earth Sci.*, 2007, v. 29, p. 188—204.

Dobretsov N.L., Buslov M.M., Delvaux D., Berzin N.A., Ermikov V.D. Meso- and Cenozoic tectonics of the Central Asian mountain belt: effects of lithospheric plate interaction and mantle plume // *Inter. Geol. Rev.*, 1996, v. 38, p. 430—466.

Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Wingate M.T.D., Poller U., Kröner A., Fedorovsky V.S., Mazukabzov A.M., Todt W., Pisarevsky S.A. Petrology, geochronology, and tectonic implications of c. 500 Ma metamorphic and igneous rocks along the northern margin of the Central-Asian Orogen (Olkhon terrane, Lake Baikal, Siberia) // *J. Geol. Soc., London*, 2008, v. 165, p. 235—246.

Glorie S., De Grave J., Buslov M.M., Zhimulev F.I., Elburg M.A., Van Den Haute. Structural control on Meso-Cenozoic tectonic reactivation and denudation in the Siberian Altai: insights from multi-method thermochronometry // *Tectonophysics*, 2012, v. 544—545, p. 75—92.

Jahn B.M., Wu F., Chen B. Granitoids of the Central Asian Orogenic Belt and continental growth in the Phanerozoic // *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 2000, v. 91, p. 181—193.

Khain E.V., Bibikova E.V., Kroner A., Zhuravlev D.Z., Sklyarov E.V., Fedotova A.A., Kravchenko-Berezhnoy I.R. The most ancient ophiolite of the Central Asian fold belt: U-Pb and Pb-Pb zircon ages for the Dunzhugur Complex, Eastern Sayan, Siberia, and geodynamic implications // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2002, v. 199, № 3—4, p. 311—325.

Kovach V., Salnikova E., Wang K.-L., Jahn B.-M., Chiu H.-Y., Reznitskiy L., Kotov A., Iizuka Y., Chung S.-L. Zircon ages and Hf isotopic constraints on sources of clastic metasediments of the Slyudyanskiy high-grade complex, southeastern Siberia: implication for continental crustal growth and evolution of the Central Asian Orogenic Belt // *J. Asian Earth Sci.*, 2013, v. 62, p. 18—36.

Kovalenko V.I., Yarmolyuk V.V., Kovach V.P., Kotov A.B., Kozakov I. K., Salnikova E.B., Larin A.M. Isotope provinces, mechanism of generation and sources of the continental crust in the Central Asia mobile belt // *J. Asia Earth Sci.*, 2004, v. 23, p. 605—627.

Kröner A., Windley B.F., Badarch G., Tomutogoo O., Henger E., Jahn B.M., Gruschka S., Khain E.V., Demoux A., Wingate M.T.D. Accretionary growth and crust-formation in the Central Asian Orogenic Belt and comparison with the Arabian-Nubian Shield. 4-D framework of continental crust. Boulder // *Geol. Soc. Amer. Memoir.*, 2007, v. 200, p. 181—209. doi: 10.1130/2007.1200(11).

Kröner A., Demoux A., Zack T., Rojas-Agramonte Y., Jian P., Tomurhuu D., Barth M. Zircon ages for a felsic volcanic rock and arc-related early Palaeozoic sediments on the margin of the Baydrag microcontinent, central Asian orogenic belt, Mongolia // *Asian Earth Sci.*, 2011, v. 42, № 5, p. 1008—1017.

Prokopiev A.V., Toro J., Miller E.L., Gehrels G.E. The Paleo-Lena River — 200 m.y. of transcontinental zircon transport in Siberia // *Geology*, 2008, v. 36, № 9, p. 699—702.

Rojas-Agramonte Y., Kröner A., Demoux A., Xia X., Wang W., Donskaya T., Liu D., Sun M. Detrital and xenocrystic zircon ages from Neoproterozoic to Palaeozoic arc terranes of Mongolia: significance for the origin of crustal fragments in the Central Asian Orogenic Belt // *Gond. Res.*, 2011, v. 19, № 3, p. 751—763.

Miller E.L., Toro J., Gehrels G., Amato J.M., Prokopiev A., Tuchkova V.I., Akinin V.V., Dumitru T.A., Moore T.M., Cecile M.P. New insights into Arctic paleogeography and tectonics from U-Pb detrital zircon geochronology // *Tectonics*, 2006, v. 25, p. 3013—3032.

Miller E.L., Soloviev A.V., Prokopiev A.V., Toro J., Harris D., Kuzmichev A.B., Gehrels G.E. Triassic river systems and paleo Pacific margin of northwestern Pangea // *Gond. Res.*, 2013, v. 23, p. 1631—1645.

Sengör A.M.C., Natalin B.A., Burman V.S. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia // *Nature*, 1993, v. 364, p. 299—307.

Windley B.F., Alexeiev D., Xiao W.J., Kroner A., Badarch G. Tectonic models for accretion of the Central Asian orogenic belt // *J. Geol. Soc., London*, 2007, v. 164, p. 31—47.

Xiao W.J., Windley B.F., Huang B.C., Han C.M., Yuan C., Chen H.L., Sun M., Sun S., Li L. End-Permian to mid-Triassic termination of the accretionary processes of the southern Altaids: implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia // *Int. J. Earth Sci.*, 2009, v. 98, p. 1189—1217.

Yakubchuk A. Architecture and mineral deposit settings of the Altaid orogenic collage: a revised model // *J. Asian Earth Sci.*, 2004, v. 23, p. 761—779.

*Поступила в редакцию
24 июня 2013 г.*