

ТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 551.24+550.370+551.77(235.222)

СРЕДНЕПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И
СТРУКТУРА ГОРНОГО АЛТАЯ, ИХ ОТРАЖЕНИЕ В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ

Н.Л. Добрецов^{1,3}, М.М. Буслов^{2,3}, Е.С. Рубанова^{2,3}, А.Н. Василевский^{1,3},
А.В. Куликова^{2,3}, Е.А. Баталева⁴

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

²Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

³Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

⁴Научная станция РАН в г. Бишкек, 720049, Бишкек-49, Киргизия

С использованием базы гравитационных данных охарактеризованы среднепозднепалеозойские геодинамические комплексы и структура Горного Алтая. В северной и центральной частях она представлена Горно-Алтайским террейном, который выполнен различными по геодинамической природе позднедевонско-палеозойскими образованиями окраины Сибирского континента, в том числе девонскими вулканоплутоническими комплексами активной окраины. К югу и востоку Горно-Алтайский террейн через Чарышско-Теректинско-Улаганскую сутурно-сдвиговую зону граничит с Алтае-Монгольским террейном, сложенным раннепалеозойскими турбидитами составного Казахстанско-Байкальского континента. В пограничной зоне Алтае-Монгольского террейна широко представлены коллизионные среднепалеозойские гранат-кианит-андалузитовые метаморфические серии и позднепалеозойские зональные андалузит-кордиеритовые сланцы в ассоциации с гранитными массивами. Проведена аналогия их локализации с кайнозойскими вулканоплутоническими и метаморфическими куполами Камчатки и Чукотки. В гравитационном поле наиболее отчетливо выражены девонские вулканоплутонические комплексы Горно-Алтайского террейна и среднепозднепалеозойские метаморфические серии Алтае-Монгольского террейна. В целом гравитационные аномалии в Горно-Алтайском террейне имеют северо-западное простирание, тогда как в Алтае-Монгольском террейне — субширотное, что подчеркивает структурную неоднородность Горного Алтая. Приводятся новые результаты по датированию магматических детритовых цирконов из палеозойских осадочных пород Ануйско-Чуйской зоны Горно-Алтайского террейна, источником сноса которых являлись магматические породы докембрийского фундамента Сибирской платформы и венд-раннеордовикской Кузнецко-Алтайской островной дуги. Характерно отсутствие детритовых цирконов раннепротерозойского возраста (1.00—0.75 млн лет), которые широко развиты в раннепалеозойских турбидитах Алтае-Монгольского террейна. Для Горно-Алтайского террейна показана существенная смена возрастных источников детритовых цирконов начиная с позднего карбона, представленная появлением девонских и раннепротерозойских популяций. Приведенные данные подтверждают идею, что в среднем—позднем палеозое произошла амальгамация Казахстанско-Байкальского и Сибирского континентов и была создана основная структурная канва Горного Алтая, отраженная в гравитационном поле и источниках сноса детритовых цирконов.

Тектоника, геодинамика, сдвиги, детритовые цирконы, граниты, вулканоплутонические структуры, зональные метаморфические серии, гравитационные поля, Горный Алтай.

MIDDLE-LATE PALEOZOIC GEODYNAMIC COMPLEXES AND STRUCTURE
OF GORNY ALTAI AND THEIR RECORD IN GRAVITY DATA

N.L. Dobretsov, M.M. Buslov, E.S. Rubanova, A.N. Vasilevsky, A.V. Kulikova, and E.A. Bataleva

Middle-Late Paleozoic geodynamics and structure of Gorny Altai are studied with reference to gravity data. The northern and central parts of the area belong to the Gorny Altai terrane consisting of Late Precambrian-Paleozoic rocks originated in different tectonic settings on the Siberian continental margin, including Devonian active-margin volcanoplutonic complexes. In the south and east, the Gorny Altai terrane borders the

Altai–Mongolia terrane along the Charysh–Terekta–Ulagan shear zone. The Altai–Mongolia terrane is composed of Early Paleozoic turbidites of the Kazakhstan–Baikal continent, Middle Paleozoic collisional garnet–disthene–andalusite schists, and Late Paleozoic zoned andalusite–cordierite schists, with granitic plutons on their periphery. The pattern of these complexes is similar to that of Cenozoic volcanoplutonic and metamorphic domes in the Kamchatka and Chukchi Peninsulas. The Devonian volcanoplutonic complexes from the Gorny Altai terrane and the Middle–Late Paleozoic metamorphic complexes from the Altai–Mongolia terrane are well evident in the gravity field. In general, gravity anomalies in the two terranes strike in different directions: NW in the Gorny Altai terrane and W–E in the Altai–Mongolia terrane, which highlights the structural heterogeneity of the Gorny Altai region. New dates have been obtained for magmatic detrital zircons from Paleozoic sedimentary rocks of the Anui–Chuya basin in the Gorny Altai terrane. The inferred source areas of zircon hosts are igneous rocks of the Precambrian craton basement and the Vendian–Early Ordovician Kuznetsk–Altai island arc. Early Neoproterozoic (1.00–0.75 Ma) detrital zircons are abundant in the Early Paleozoic turbidites of the Altai–Mongolia terrane but are absent from samples of the Gorny Altai terrane. Populations of detrital zircons in the the Gorny Altai terrane contain Devonian and Early Neoproterozoic specimens. The reported data prove that the Kazakhstan–Baikal and Siberian continents amalgamated in the Middle–Late Paleozoic. The resulting Gorny Altai tectonic framework of that time is recorded in the gravity field and in the provenance of detrital zircons.

Tectonics, geodynamics, shear zone, detrital zircons, granites, volcanoplutonic complexes, zoned metamorphic complexes, gravity field, Gorny Altai

ВВЕДЕНИЕ

Горный Алтай является одним из ключевых объектов в решении вопросов тектоники и геодинамической эволюции Центрально-Азиатского складчатого пояса [Берзин и др., 1994; Елкин и др., 1994; Dobretsov et al., 1995, 2003; Буслов и др., 2000, 2003, 2013; Добрецов, 2003, 2011; Buslov et al., 2004; Добрецов, Буслов, 2007; Буслов, 2011; Добрецов и др., 2013; Buslov, De Grave, 2015; Cai et al., 2016]. Этому способствуют быстрое развитие и апробация на Горном Алтае таких методов геохронологического изучения, как U–Pb датирование цирконов и трековое датирование апатитов. U–Pb датирование цирконов осадочных пород позволяет определить их нижнюю возрастную границу и выявить предполагаемые источники сноса. Также результаты датирования обломочных цирконов широко используются в корреляции осадочных пород, что является важным для тектонического и геодинамического районирования [Буслов, 2011, 2014; Буслов и др., 2013; Cai et al., 2014, 2016; Chen et al., 2014 a,b, 2015 a,b, 2016 a,b]. Для Горного Алтая широко применяется трековое датирование апатита, которое позволяет выявить термально-тектоническую историю пород и эволюцию рельефа, что дает возможность построения принципиально новых геодинамических обобщений и моделей [De Grave, Van den Haute, 2002; De Grave et al., 2007 a,b,c 2008, 2009, 2011; Glorie et al., 2012; Ветров и др., 2016; Добрецов и др., 2016].

В статье впервые охарактеризованы вулканоплутонические и метаморфические комплексы, а также основные черты палеозойской структуры Горного Алтая с использованием гравитационной базы данных [Andersen et al., 2014]. Проведена аналогия их локализации с кайнозойскими вулканоплутоническими и метаморфическими куполами Камчатки и Чукотки. Также приводятся новые данные по датированию магматических детритовых цирконов из широкого спектра палеозойских осадочных пород Ануйско-Чуйской зоны Горно-Алтайского террейна.

ПАЛЕОЗОЙСКИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ГОРНОГО АЛТАЯ И НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО LA-ICP-MS ДАТИРОВАНИЮ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ

В геодинамической эволюции геологических образований Горного Алтая устанавливаются следующие этапы [Буслов, 2011, 2014; Добрецов, Буслов, 2011; Буслов и др., 2013; Buslov, De Grave, 2015; Buslov, Cai, 2017]: 1) венд-раннеордовикский (тремадокский) Кузнецко-Алтайской активной окраины Сибирского континента; 2) ордовикско-раннедевонский (прагий) пассивной окраины Сибирского континента; 3) девонский активной окраины Сибирского континента; 4) субдукционно-коллизийный (ордовик—ранний карбон), амальгамация Казахстанско-Байкальского и Сибирского континентов с образованием Чарышско-Теректинско-Улаганской сутурно-сдвиговой зоны, в пределах которой сформировался пояс голубых сланцев, проявились сдвиговые и надвиговые деформации, складчатость, коллизийный метаморфизм. В результате амальгамации был сформирован Северо-Азиатский континент; 5) коллизийный (поздний карбон—пермь), столкновение Восточно-Европейского континента с Северо-Азиатским, формирование молассы, сдвигово-надвиговых структур и сопутствующих метаморфизма и магматизма; 6) плюмовый (поздняя пермь—ранний триас). Позднепермско-раннетриасовый плюмовый этап проявился в интрузивном магматизме с формированием Белокурихинского, Айского, Атуркольского гранодиорит-гранит-лейкогранитовых массивов с возрастом 245—232 млн лет [Шокаль-

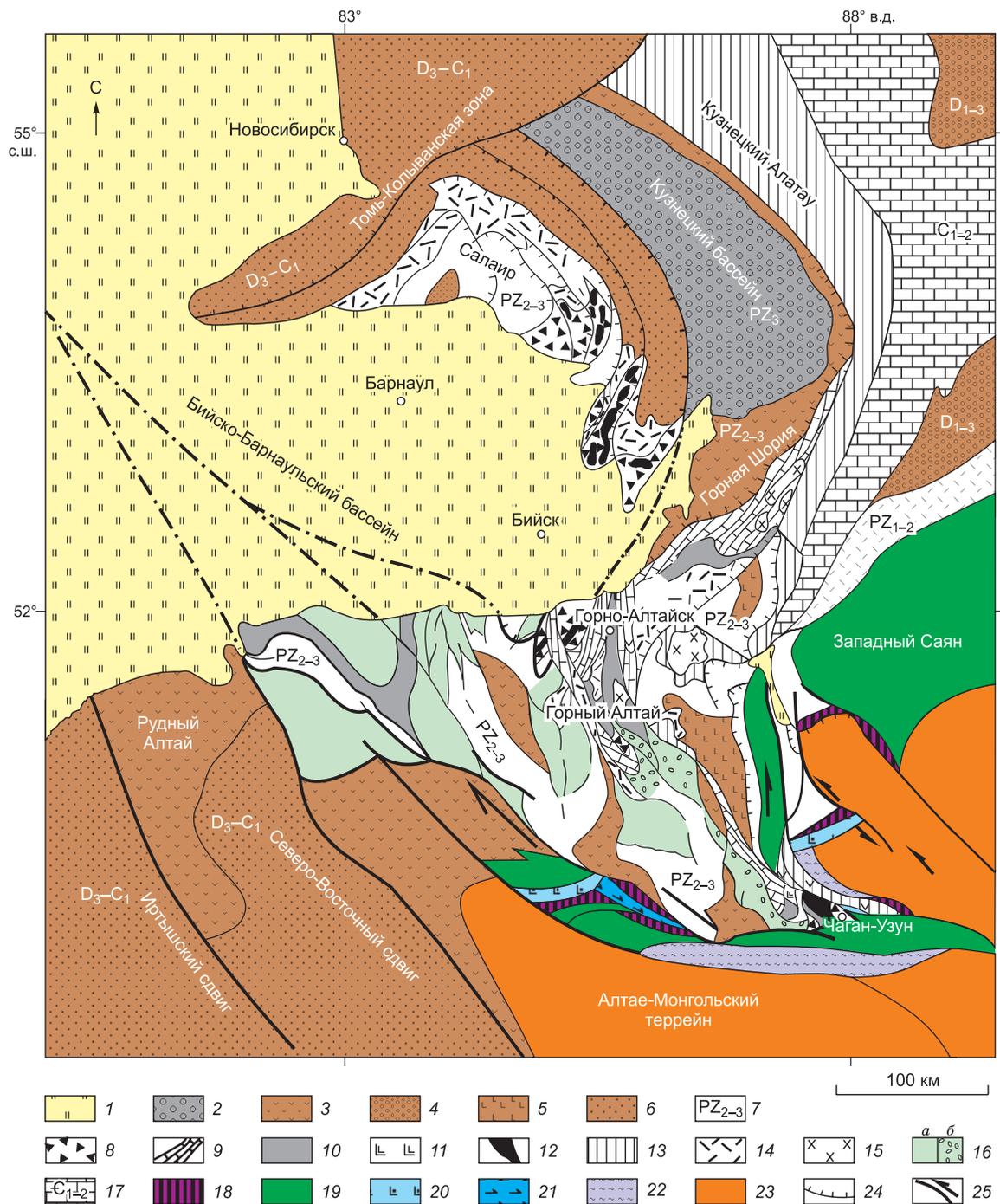


Рис. 1. Геолого-геодинамическая схема Горного Алтая и сопредельных территорий, по [Буслов и др., 2013] с изменениями.

1 — Бийско-Барнаульская кайнозойская впадина; 2 — пермско-мезозойские образования Кузнецкого бассейна; 3–16 — окраинно-континентальные комплексы Сибирского континента: 3–6 — девонско-раннекарбонной активной окраины: 3 — магматической дуги, 4 — осадочных комплексов задугового бассейна, 5 — риолит-базальтовых комплексов задугового бассейна, 6 — вулканогенно-осадочных пород задугового бассейна; 7 — ордовикско-раннедевонской пассивной окраины; 8–12 — вендско-раннеордовикской активной окраины: 8 — олистостромы, 9–12 — палеоокеаническая кора: 9 — карбонатные породы «шапки» палеоокеанического острова, 10 — вулканогенно-осадочные образования палеоокеанического острова, 11 — базальто-кремнистые породы океанического дна, 12 — офиолиты; 13–16 — венд-раннеордовикская Кузнецко-Алтайская островная дуга: 13 — толеит-бонинитовая серия пород, 14 — известково-щелочная серия пород, 15 — кембрийские габброиды, 16 — среднекембрийско-раннеордовикский Ануйско-Чуйский преддуговой прогиб: а — турбидиты, б — олистостромо-конгломератные образования прибрежной зоны; 17 — раннесреднекембрийские карбонатно-терригенные породы задугового бассейна; 18–21 — среднепозднепалеозойская Чарышко-Теректинско-Улаганская сутурно-сдвиговая зона: 18 — кембрийско-раннеордовикские офиолиты, 19 — раннепалеозойские турбидиты, 20 — кембрийско-раннеордовикские комплексы пород палеоокеанических островов, 21 — ордовикские голубые сланцы; 22–25 — комплексы пород Казахстанско-Байкальского составного континента: 22 — Южно-Чуйский и Курайский среднепозднепалеозойские метаморфические комплексы (гранитогнейсы, кристаллические сланцы гранат-кианитового типа и андалузит-кордиеритового типа); 23 — раннепалеозойские турбидиты Алтае-Монгольского террейна, 24 — среднепозднепалеозойские надвиги, 25 — позднепалеозойские сдвиги.

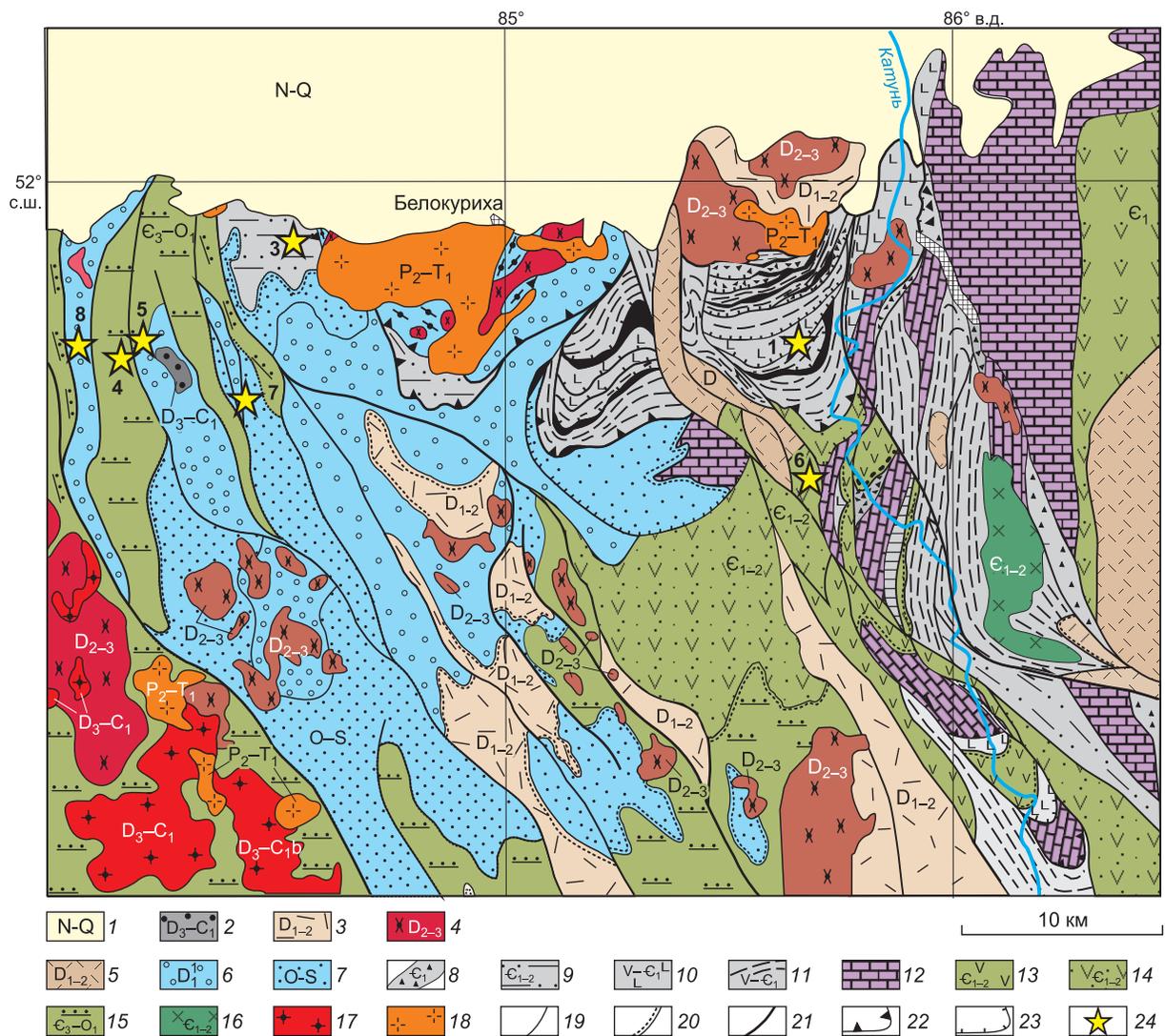


Рис. 2. Геолого-геодинамическая схема северной части Горного Алтая [Буслов и др., 2013].

1 — Бийско-Барнаульская кайнозойская впадина; 2 — позднедевонско-раннекарбоновая моласса черемшанской свиты; 3, 4 — раннесреднедевонские вулканоплутонические комплексы пород активной окраины: 3 — вулканогенно-осадочные породы, 4 — гранитоидные плутоны; 5 — раннесреднедевонские риолит-базальтовые породы Уйменско-Лебедевского задугового бассейна; 6, 7 — карбонатно-терригенные породы пассивной окраины: 6 — раннедевонские, 7 — ордовикско-силурийские; 8–12 — вендско-раннекембрийский аккреционно-коллизийный комплекс: 8 — олистостромы, 9 — турбидиты; 10–12 — палеоокеанические острова; 10 — вулканогенно-осадочные образования основного тела, 11 — вулканогенно-осадочные образования склоновых фаций, 12 — карбонатные породы «шапки»; 13–16 — венд-кембрийская Кузнецко-Алтайская островная дуга: 13 — комплексы пород палеовулканов, 14 — склоновые фации, 15 — среднепозднекембрийский Ануйско-Чуйский преддуговой прогиб, 16 — габброиды; 17 — позднедевонско-раннекарбоновые коллизийные граниты; 18 — позднепермско-раннетриасовые плюмовые граниты; 19, 20 — стратиграфические границы: 19 — согласные, 20 — несогласные; 21 — позднепалеозойские сдвиги; 22 — позднепалеозойские надвиги; 23 — поздневендско-раннекембрийские надвиги; 24 — места отбора образцов на U-Pb датирование.

ский и др., 2000; Glorie et al., 2011]. Интрузии не подвержены деформациям и прорывают позднепалеозойские сдвигово-надвиговые структуры. Их возраст ограничивает верхний предел проявления крупных позднепалеозойских коллизийных сдвигово-надвиговых событий на Горном Алтае [Буслов и др., 2013].

Структура Горного Алтая (рис. 1) представлена в северной и центральной частях позднедевонско-раннекембрийско-палеозойскими образованиями Горно-Алтайского террейна, характеризующими различные геодинамические комплексы окраины Сибирского континента. К югу Горно-Алтайский терреин через Чарышско-Теректинско-Улаганскую сутурно-сдвиговую зону граничит с Алтае-Монгольским террейном, сложенным раннепалеозойскими турбидитами составного Казахстанско-Байкальского континента.

Горно-Алтайский терреин представлен вендско-раннеордовикскими островодужными комплексами пород Кузнецко-Алтайской островной дуги, перекрытыми стратиграфически ордовикско-раннеде-

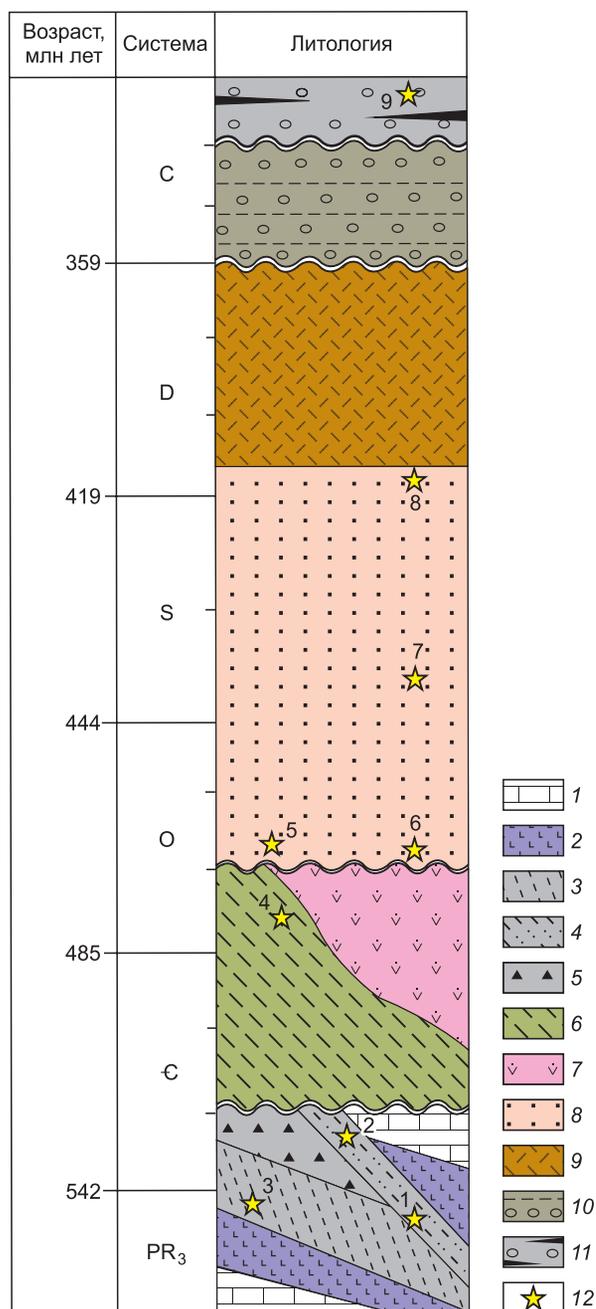
Рис. 3. Стратиграфическая схема Ануйско-Чуйской зоны Горного Алтая с положением образцов на U-Pb датирование цирконов.

1—5 — вендско-раннеордовикские аккреционно-коллизонные образования Кузнецко-Алтайской островной дуги: 1 — вендско-раннекембрийские карбонатные породы «шапки» палеоокеанических островов, 2 — вендско-раннекембрийские магматические базальтовые породы палеоокеанических островов, 3 — вендско-раннекембрийские осадочно-вулканогенные породы склоновых фаций палеоокеанических островов, 4 — позднекембрийско-раннеордовикские турбидиты палеожелоба, 5 — вендско-раннеордовикские олистостромы; 6 — среднекембрийско-раннеордовикские образования Ануйско-Чуйского преддугового прогиба; 7 — среднекембрийско-раннеордовикские островодужные вулканогенно-осадочные образования; 8 — ордовикско-раннедевонские осадочные породы пассивной окраины; 9 — девонские вулканоплутонические образования активной окраины; 10 — раннекарбоновая моласса; 11 — позднекарбоновая угленосная моласса; 12 — места и порядковые номера отбора образцов на U-Pb датирование детритовых цирконов.

вонскими осадками пассивной окраины и девонскими образованиями активной окраины, которые совместно участвуют в строении Бийско-Катунской, Курайской и Ануйско-Чуйской зон. Геодинамические комплексы перечисленных зон образуют автохтон для Алтае-Монгольского террейна. Среднепозднепалеозойские региональные покровно-сдвиговые и сдвиговые структуры (см. рис. 1) широко проявлены в пределах Чарышско-Теректинско-Улаганской сутурно-сдвиговой зоны, где выражены линейным проявлением среднепозднепалеозойских метаморфических комплексов, характеристика которых будет приведена ниже.

Развитие изотопных методов U-Pb датирования детритовых цирконов в последние годы позволило не только получить огромное количество новой информации о возрасте осадочных толщ по всему Центрально-Азиатскому региону, но, что не менее важно, определить их источник сноса, произвести качественные тектонические и геодинамические реконструкции. Ниже представлены результаты U-Pb датирования детритовых цирконов из палеозойских осадочных толщ Ануйско-Чуйской зоны Горно-Алтайского террейна (рис. 2—4). Данная зона является уникальным объектом, в котором запечатлена почти непрерывная геологическая история длительностью около 200 млн лет (кембрий—карбон), характеризующая эволюцию окраинно-континентальных геодинамических комплексов Сибирского континента [Буслов и др., 2013].

Ануйско-Чуйская зона представляет собой крупнейшую в пределах Горного Алтая структуру, ограниченную региональными позднепалеозойскими сдвигами и сдвигонадвигами протяженностью более 500 км и шириной до 200 км. В состав Ануйско-Чуйской зоны входят (возрасты даны с учетом новых данных по U-Pb датированию детритовых цирконов): 1) позднекембрийско-раннеордовикские турбидиты преддугового прогиба (мощностью до 2—3 км) Кузнецко-Алтайской островной дуги; 2) несогласно (структурно и стратиграфически) через базальные конгломераты залегающие на них среднеордовикско-раннедевонские отложения пассивной окраины (мощностью до 6—8 км); 3) раннесреднедевонские вулканогенно-осадочные образования (мощностью до 3 км), сформированные в обстановке активной окраины, несогласно (структурно и стратиграфически) перекрывающие деформированные породы пассивной окраины. Выше, с базальными конгломератами в основании, залегают верхнеживетско-франские молассоидные осадочные породы мощностью более 2 км. Завершает разрез фаменско-визейская моласса мощностью около 750 м, трансгрессивно перекрывающая ранне- и среднедевонские образования.



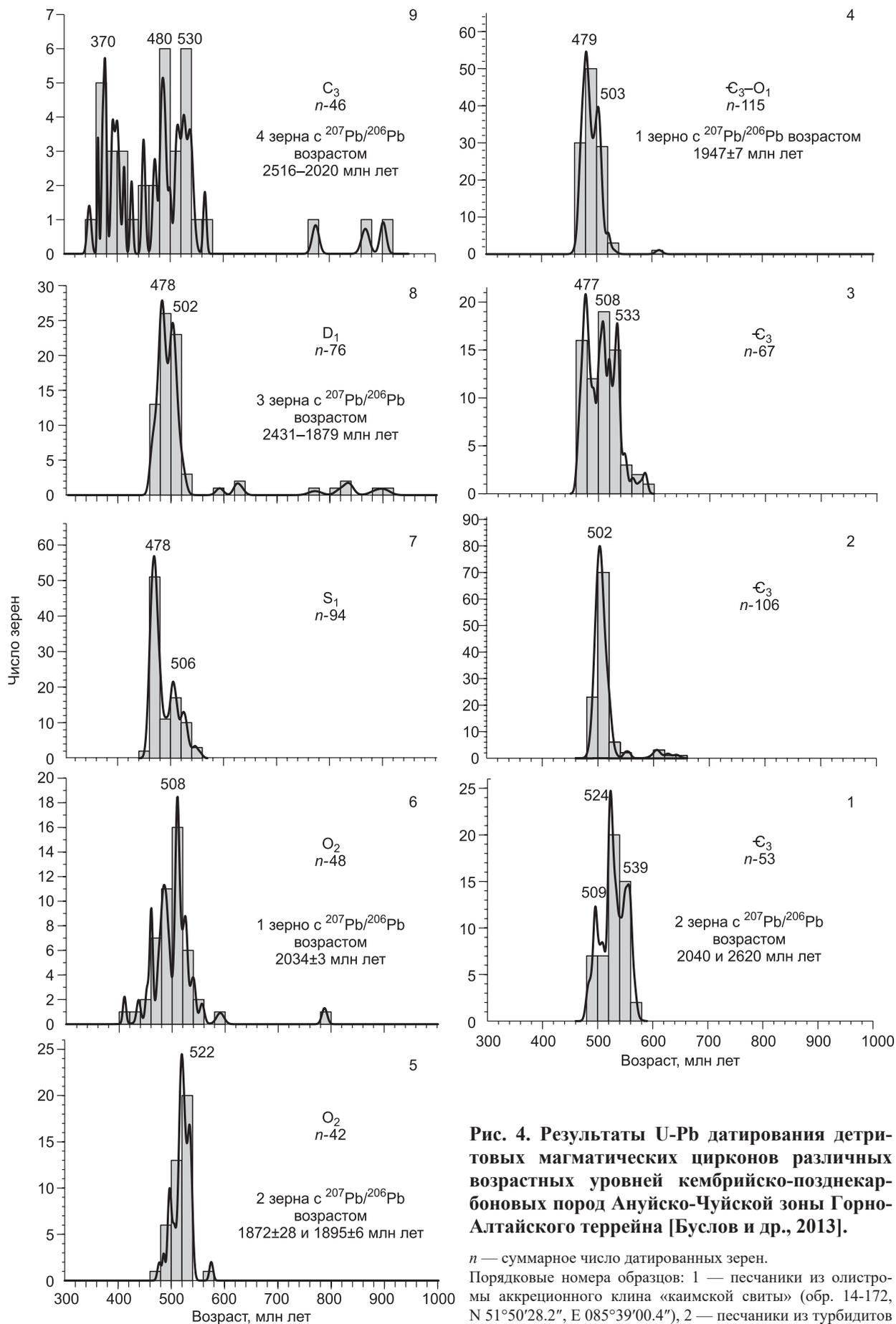


Рис. 4. Результаты U-Pb датирования детритовых магматических цирконов различных возрастных уровней кембрийско-позднекарбониферных пород Ануйско-Чуйской зоны Горно-Алтайского террейна [Буслов и др., 2013].

n — суммарное число датированных зерен.
 Порядковые номера образцов: 1 — песчаники из олистромы аккреционного клина «каймской свиты» (обр. 14-172, N 51°50'28.2", E 085°39'00.4"), 2 — песчаники из турбидитов

В основании позднекембрийско-карбонных образований Ануйско-Чуйской зоны находится аккреционно-коллизийный комплекс пород (курайский в южной части, катунский в восточной и каимский в северной) Кузнецко-Алтайской островной дуги, в состав которого входят тектонические пластины вулканогенно-осадочных пород океанических островов, офиолитов, осадков палеожелоба (олистостром и турбидитов) [Буслов, Ватанабе, 1996; Buslov et al., 2002; Добрецов и др., 2004; Буслов и др., 2013].

Для выявления источников обломочного материала отложений Ануйско-Чуйской зоны и палеожелоба Кузнецко-Алтайской островной дуги, уточнения их возрастных границ были проанализированы детритовые магматические цирконы из девяти образцов песчаников различных возрастных уровней (от позднего кембрия до позднего карбона). U-Pb датирование цирконов выполнено методом лазерной абляции на масс-спектрометре высокого разрешения с ионизацией в индуктивно связанной плазме Nu Instruments ICP-MS, соединенном с системой Resonetics Resolution M-50-HR Eximer Laser Ablation System в Отделе наук о Земле Гонконгского университета, методика исследований подробно описана в [Xia et al., 2011].

Цирконы, выделенные из песчаников каимской и курайской свит, входящих соответственно в состав образований палеожелоба Каимского и Курайского аккреционных клиньев, демонстрируют практически идентичную возрастную популяцию с основными пиками в 509, 524 и 539 млн лет для каимской свиты (по 53 конкордантным зернам) и 502 млн лет для курайской (по 106 конкордантным зернам). Нижний возрастной предел накопления отложений каимской свиты, оцененный по самому молодому пику на графике плотности вероятности, ограничен отметкой ~509 и ~502 млн лет для курайской свиты.

Образования позднекембрийско-раннеордовикского преддугового прогиба на территории Горного Алтая можно охарактеризовать по детритовым цирконам, выделенным из песчаников песчаной толщи (северо-западная часть Горного Алтая) и горно-алтайской серии. 67 конкордантных значений возраста цирконов из отложений песчаной толщи образуют три практически равнозначных пика: 477, 508 и 533 млн лет. 115 конкордантных значений возраста цирконов горно-алтайской серии дают достаточно узкий возрастной интервал (481—477 млн лет) с основным пиком 479 млн лет и подчиненным пиком 503 млн лет (инт. 512—495 млн лет). Нижний возрастной предел накопления толщ по самому молодому пику соответствует раннему ордовику. Здесь повторяется пик в 503 млн лет (инт. 512—495 млн лет), выявленный в предыдущих двух пробах, и хорошо выражен максимум в 479 млн лет.

Отложения пассивной окраины охарактеризованы по детритовым цирконам из песчаников различного возраста: 1) средневерхнеордовикской ануйской серии, несогласно залегающей на флишоидах горно-алтайской серии, и из базальных конгломератов среднеордовикской ханхаринской свиты, перекрывающих с несогласием песчаную толщу; 2) силурийской чесноковской свиты; 3) раннедевонской камышенской свиты. Образцы характеризуются схожим распределением возрастов цирконов, отвечающих диапазону 470—530 млн лет. На раннедевонском уровне появляется достаточно многочисленная популяция раннесреднепротерозойских (904—772 млн лет) и палеопротерозойских (2431—1879 млн лет) цирконов и впервые появляются цирконы девонского возраста (410—390 млн лет).

Датировки обломочных цирконов из внутриформационных песчаников позднекарбонной угленосной молассы кызылташской свиты, расположенной в юго-восточной части Горного Алтая, составляют наиболее широкий спектр возрастных групп: среднедевонско-раннекарбонная (401—347 млн лет, семь зерен), позднеордовикско-раннесилурийская (469—429 млн лет, семь зерен), кембрийско-раннеордовикская (541—482 млн лет, более 25 зерен), раннесреднепротерозойская (901—774 млн лет, три зерна), раннепалеопротерозойская (2516—2020 млн лет, четыре зерна).

Для сравнения приведем данные по U-Pb возрастам детритовых магматических цирконов из раннепалеозойских турбидитов Алтае-Монгольского террейна [Cai et al., 2014, 2016; Chen et al., 2014 a,b, 2015b, 2016a]. По всем анализам отмечено, что большое количество возрастов концентрируются в интервалах 550—480 и 1000—750 млн лет. Из этого следует, что раннепалеозойские породы Тувино-Монгольской островной дуги [Руднев, 2013; Руднев и др., 2015] и неопротерозойские магматические породы Тувино-Монгольского микроконтинента [Rojas-Agramonte et al., 2011], входящие в состав Казахстанско-Байкальского континента [Буслов, 2011], являлись, вероятно, преобладающим источником осадочного материала для раннепалеозойских турбидитов Алтае-Монгольского террейна.

аккреционного клина «курайской свиты» (обр. G-1, юго-восточная часть Горного Алтая, N 50°08'14.6", E 88°20'11.4"), 3 — песчаник из турбидитов аккреционного клина «песчаной свиты» (G-2, N 51°59'18.5", E 84°33'52.4"), 4 — песчаники из турбидитов преддугового прогиба «горно-алтайской серии» (обр. G-3, N 51°48'38.5", E 84°08'30.8"), 5 — песчаники из базальных конгломератов комплекса пород пассивной окраины «ханхаринской свиты» (обр. 11-147, N 51°53'42", E 84°25'19.8"), 6 — песчаники из среднеордовикских отложений пассивной окраины (обр. 10-09, N 50°19'51.9", E 87°12'23.78"), 7 — песчаник из силурийских отложений пассивной окраины (обр. G-4, N 51°42'32.8", E 84°25'27.8"), 8 — песчаник из раннедевонских отложений пассивной окраины (обр. G-5, N 51°50'32.3", E 84°02'13.9"), 9 — песчаник из верхнекарбонной угленосной молассы кызылташской свиты юго-восточной части Горного Алтая (обр. 10-14, N 50°14'39.1", E 88°01'12").

СРЕДНЕПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКИЕ СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ГОРНОГО АЛТАЯ И ИХ ОТРАЖЕНИЕ НА ГРАВИТАЦИОННЫХ АНОМАЛИЯХ

В Алтае-Саянской складчатой области и сопредельных территориях широко распространены среднепозднепалеозойские тектонические покровы, которые часто ассоциируют с одновозрастными крупноамплитудными сдвигами [Буслов, 2011; Буслов и др., 2013]. В позднепалеозойских аллохтонах и автохтонах сохранились фрагменты ранних этапов складчатости. Среднепалеозойские покровно-сдвиговые и сдвиговые структуры, сопровождающиеся формированием метаморфических комплексов, характерны для начальной стадии коллизии Казахстанского и Сибирского континентов. Они проявлены в Чарышско-Теректинско-Улаганской сутурно-сдвиговой зоне, где нарушены позднепалеозойскими покровно-сдвиговыми деформациями. Среднепозднепалеозойские надвиги и сдвиги окружают автохтонную структуру Горно-Алтайского террейна, аллохтоном для которого является Алтае-Монгольский террейн.

Для характеристики палеозойских структурно-вещественных комплексов Горного Алтая использован фрагмент карты гравитационных аномалий Фая (52—48° с.ш. и 85—90° в.д.), взятой из гравиметрической модели DTU 13 [Andersen et al., 2014] (рис. 5). В целом большинство аномалий Горно-Алтайского террейна (центральная и северо-западная части карты) вытянуты в северо-западном направлении, так же как и региональные позднепалеозойские сдвиги. Они отчетливо отображают локализацию девонских вулканоплутонических структур (рис. 6). Для Алтае-Монгольского террейна (южная и восточная

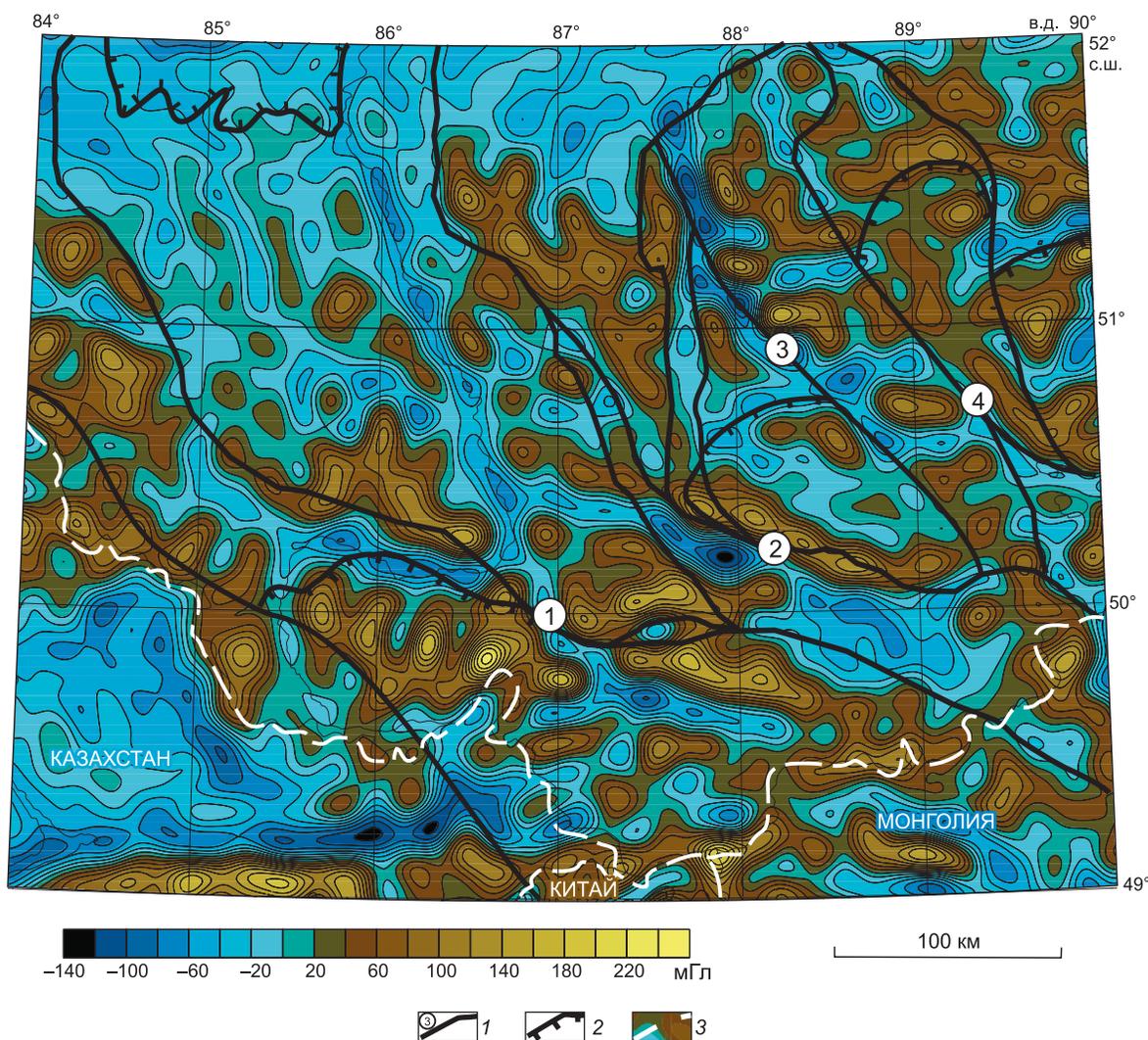


Рис. 5. Фрагмент карты гравитационных аномалий Горного Алтая по данным модели DTU 13 [Andersen et al., 2014].

1 — региональные позднепалеозойские сдвиги: 1 — Чарышско-Теректинский, 2 — Курайский, 3 — Телецко-Башкауский, 4 — Шапшальский; 2 — раннепозднепалеозойские надвиги; 3 — государственные границы.

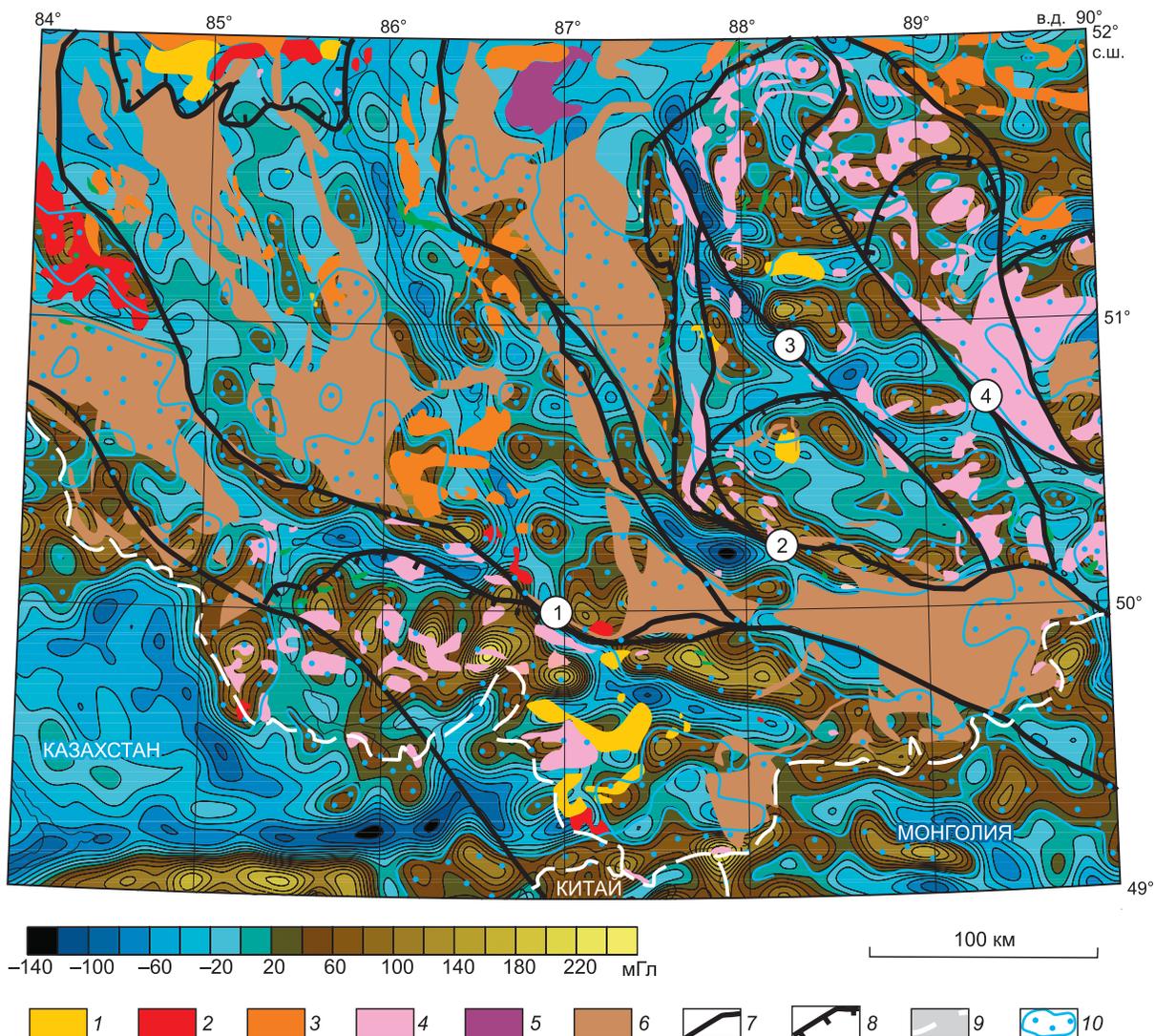


Рис. 6. Размещение магматических и девонских вулканогенно-осадочных пород на карте гравитационных аномалий Горного Алтая по данным модели DTU 13 [Andersen et al., 2014].

Использованы материалы [Федак и др., 2011; Glorie et al., 2011; Kruk et al., 2011; Буслов и др., 2013; Крук и др., 2013; Крупчатников и др., 2015; Крук, 2015].

1 — позднепермско-раннетриасовые граниты; 2 — позднедевонские граниты; 3 — раннесреднедевонские гранитоиды; 4 — среднепалеозойские гранитоиды; 5 — раннепалеозойские гранитоиды; 6 — девонские вулканогенно-осадочные породы; 7 — региональные позднепалеозойские сдвиги: 1 — Чарышско-Теректинский, 2 — Курайский, 3 — Телецко-Башкаусский, 4 — Шапшальский; 8 — позднепалеозойские надвиги; 9 — государственные границы; 10 — гравитационные аномалии в поле магматических и вулканогенно-осадочных пород.

части карты) характерно субширотное простираание аномалий, которое нарушается северо-западным простираанием аномалий вблизи региональных позднепалеозойских сдвигов (Курайского, Телецкого, Шапшальского) (см. рис. 6). Положительные аномалии (до 240 мгГл) кольцевого и овального характера совпадают с полями развития позднепалеозойских плутонических комплексов и среднепозднепалеозойских метаморфических комплексов, локализующихся в пограничной зоне Алтае-Монгольского террейна вблизи Чарышско-Теректинско-Улаганской сутурно-сдвиговой зоны. Среднепалеозойские курайский и южно-чуйский метаморфические комплексы гранат-кианитового типа (гранитогнейсы и кристаллические сланцы) (рис. 7) выражены в линейных положительных аномалиях, тогда как позднедевонские метаморфические комплексы андалузит-кордиеритового типа (башкаусский, чулышманский, верхнебашкаусский, телецко-абаканский, шапшальский), генетически сопряженные с плутоническими структурами, формируют серию кольцевых и полукольцевых структур, вытянутых в цепочки. В свою очередь, породы глаукофан-зеленосланцевой и зеленосланцевой фаций метаморфизма (Уймонская, Те-

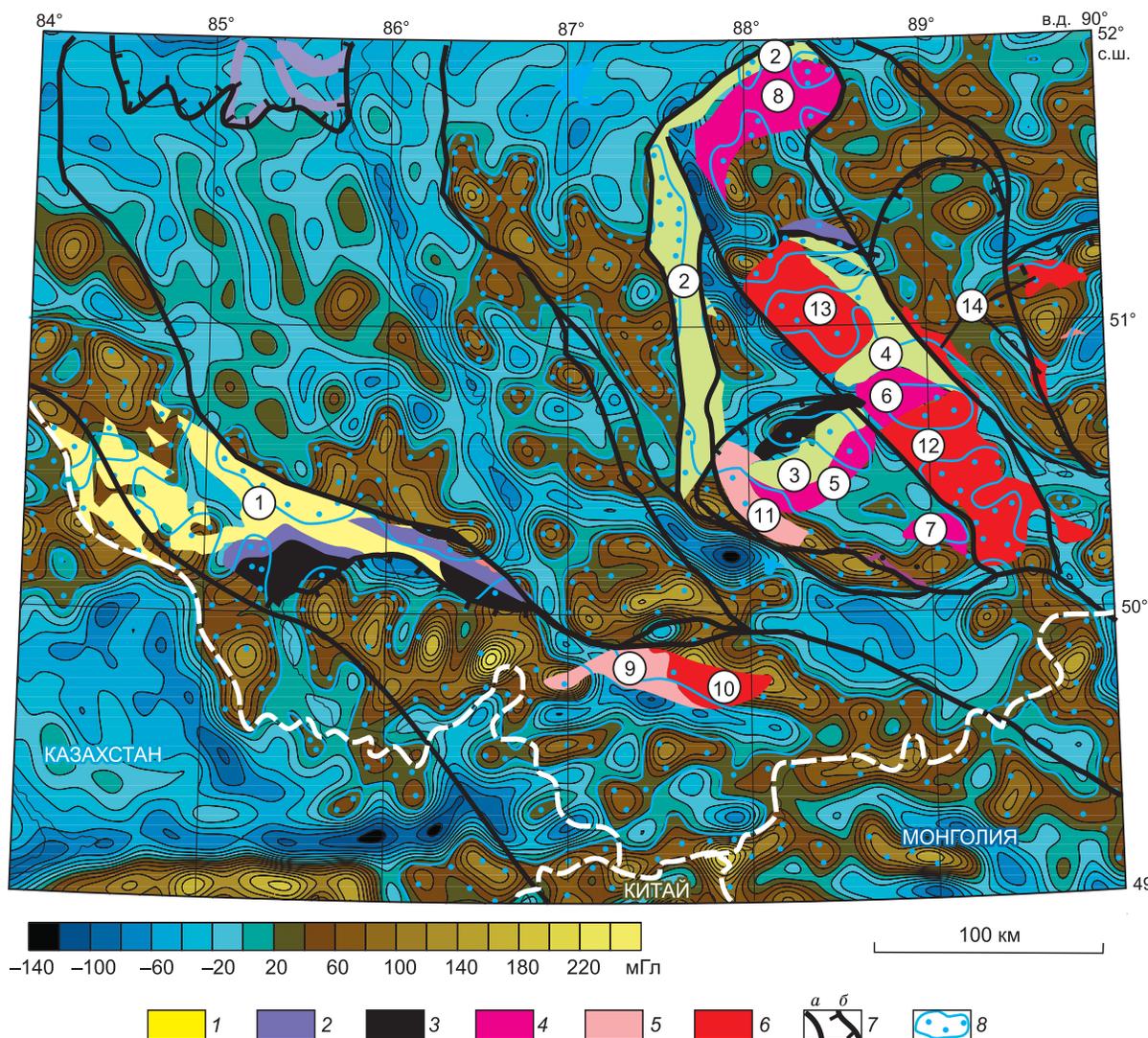


Рис. 7. Размещение среднепозднепалеозойских метаморфических комплексов на карте гравитационных аномалий Горного Алтая по данным модели DTU 13 [Andersen et al., 2014].

Использованы материалы [Федак и др., 2011; Крук и др., 2013; Буслов и др., 2013].

1–3 — образования среднепалеозойской Чарышско-Теректинско-Улаганской сутурно-сдвиговой зоны: 1 — нерасчлененные зеленосланцевые комплексы (метатурбидиты и метабазалты): 1 — Уймонский, 2 — Телецкий (Каратошский), 3 — Улаганский, 4 — Чулышманский; 2 — раннеордовикские глаукофан-зеленосланцевые метабазалты; 3 — позднедокембриско (?)—раннепалеозойская океаническая кора; 4 — позднепалеозойские постколлизийные зональные метаморфические комплексы (андалузит-кордиерит-биотитовые сланцы): 5 — Башкауский, 6 — Чулышманский, 7 — Верхнебашкауский, 8 — Телецко-Абаканский; 5, 6 — раннесреднепалеозойские коллизийные комплексы: 5 — раннесреднеордовикские гранитоиды и гранат-кианитовые породы (9 — Южно-Чуйский, 11 — Курайский.), 6 — силурийско-раннедевонские андалузит-кордиерит-биотитовые сланцы (10 — Южно-Чуйский, 12 — Моген-Буреинский, 13 — Чульчинский, 14 — Шапшальский); 7 — региональные позднепалеозойские разломы: сдвиги (а), надвиги (б); 8 — гравитационные аномалии в поле метаморфических пород.

лецкая и Башкауская зоны), трассирующие Чарышско-Теректинско-Улаганскую сутурно-сдвиговую зону (см. рис. 7), выражены в слабых отрицательных аномалиях (до 60 мГл) гравитационного поля.

В положительных аномалиях отчетливо проявлены среднепалеозойские гранитоиды, которые локализируются в краевой части Алтае-Монгольского террейна (см. рис. 5). Геодинамическая природа данных гранитоидов требует дополнительного изучения. Вероятно, что совместно с раннепалеозойскими вулканоплутоническими образованиями Сугашского террейна (см. рис. 1) они трассируют магматический пояс активной окраины Казахстанско-Байкальского континента, аккреционно-коллизийные комплексы которой представлены в Чарышско-Теректинско-Улаганской сутурно-сдвиговой зоне [Буслов, 2011; Добрецов, Буслов, 2011; Буслов и др., 2013].

ДИСКУССИЯ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, приведенные в статье данные позволяют утверждать, что на Горном Алтае позднепалеозойские андалузит-кордиеритовые метаморфические серии формируют купола (Башкаусский, Чулышманский, Верхнебашкаусский, Телецко-Абаканский, Шапшальский) и концентрируются к югу и юго-востоку от Чарышско-Теректинско-Улаганской сутурно-сдвиговой зоны (см. рис. 7). К ней примыкают Южно-Чуйский и Курайский пояса со среднепалеозойским гранат-кианитовым и позднепалеозойским андалузит-кордиеритовым типами [Крук, 2015]. Андалузит-кордиеритовые метаморфические комплексы ассоциируют с позднедевонскими гранитоидами (см. рис. 6), к которым примыкают поля девонских вулкаников и вулканогенно-осадочных пород. Такая возрастная последовательность (от синколлизийного метаморфизма сжатия к позднеколлизийному росту декомпрессионных куполов) и пространственная зональность (купола в центре, гранитоиды и вулканики по периферии) весьма сходны с аналогичными кайнозойскими структурами Камчатки и Чукотки.

Кольцевые структуры вулкана Хангар в Срединном хребте Камчатки сопряжены с гнейсово-купольными структурами колпаковской метаморфической серии ($K_2?$) и гнейсовидными гранитами крутогоровского комплекса ($P_{1-2}?$), образующими совместно кольцевидную форму. В кольцевых структурах вокруг вулканического аппарата Хангар участвуют дацитовые туфы и кислые пемзы (N_2-Q), габбро, диориты и монцититы лавкинского комплекса (P_3-N_1), адриановского комплекса пестрого состава (филлиты, метатуберекции, метабазиты (поздний мел) [Hourigan et al., 2009; Тарарин и др., 2015], что однозначно свидетельствует о многоэтапном формировании купольно-вулканического комплекса в течение всей истории Камчатской островной дуги (от 45—52 млн лет до четвертичного периода).

В ядерной части Кольского купола и одновременного интрузива на Камчатке присутствуют мигматиты и мигматизированные гнейсы колпаковской серии (как и в Хангарской структуре), а в синформе гнейсовидных гранитов — полукольцевое тело хозгонских филлитов и метапесчаников с силлами метапикробазальтов. Они слагают северное крыло Хангарской структуры [Тарарин и др., 2015].

В мигматитах и мигматизированных плагиогнейсах колпаковского комплекса отчетливо проявлено замещение исходного гранат-биотитового (\pm кианит и ставролит) парагенезиса более поздней биотит-кордиеритовой (\pm силлиманит, калишпат) ассоциацией. Аналогичная реакция наблюдается в контактовом ореоле лавкинского интрузивного комплекса. Самые поздние синметаморфические гранитоидные жилы содержат только андалузит в ассоциации с кордиеритом [Тарарин и др., 2015]. Эта последовательность отражает переход от стадии синколлизийного метаморфизма кианитовой серии к позднеколлизийной адиабатической декомпрессии, росту куполов, внедрению базитов, повышающих температуру в термических куполах.

В трех куполах Чукотки — северо-западном Нешкенском, восточном Кооленском и южном Сеньявинском в ядре устанавливаются породы амфиболитовой (иногда до гранулитовой) фации, на крыльях — породы эпидот-амфиболитовой до зеленосланцевой, во внешней кайме — плутоны ассоциирующих гранитоидов коллизийной и субдукционной природы [Наталин, 1999; Natal'in et al., 1999; Akinin, Calvert, 2002; Аникин, Миллер, 2011]. Устанавливается, как и на Камчатке, многостадийная история формирования. Ранняя стадия (132—115 или 121—108 млн лет) происходит в коллизийной обстановке (кианитовая серия) при давлении 6—8 кбар и $T = 500—700$ °С. Вторая стадия (108—100 млн лет) — рост куполов с адиабатической декомпрессией и образованием андалузит-силлиманитовых и кордиеритовых ассоциаций, мигматизацией и внедрением синметаморфических гранитоидов, третья стадия — конечная эксгумация с кольцевыми разломами (88—75 млн лет). Последовательность стадий отражает эволюцию аккреционно-субдукционной системы Чукотки длительностью около 50 млн лет. Сходные купольные структуры на месте коллизийного пояса возникли в течение мела в хр. Брукса на Аляске [Toro et al., 2002; Хаин и др., 2009].

Аналогичные закономерности установлены в метаморфических комплексах южной и восточной частях Горного Алтая (см. рис. 7). В южно-чуйском и курайском метаморфических комплексах выделяются [Kruk et al., 2011; Крук, 2015] ранняя коллизийная стадия метаморфизма гранат-кианитового типа (ордовик) и поздняя коллизийная стадия андалузит-кордиеритового типа (поздний силур—девон, длительность около 60 млн лет). В башкаусском, чулышманском, верхнебашкаусском, телецко-абаканском, шапшальском метаморфических комплексах выделяется преимущественно андалузит-кордиеритовая позднеколлизийная стадия, и здесь более отчетливо проявлена пространственная связь с позднедевонскими гранитоидами, которые нередко окаймляют термальные метаморфические купола. Местами в них сохранились реликты гранат-кианитовых пород. По-видимому, на Горном Алтае, как и на Камчатке и Чукотке, в ряде случаев можно выделить три стадии эволюции метаморфизма, причем поздняя стадия (с окончательным оформлением куполов и кольцевых разломов) наиболее тесно связана с гранитами [Хаин и др., 2009]. Такое сходство не может быть случайным и, вероятно, отражает и генетическое родство среднепозднепалеозойских метаморфических, и вулкано-плутонических куполов Горного Алтая с кайнозойскими Камчатки и Чукотки.

Отчетливо проявлены структурно-вещественные различия между северной (Горно-Алтайский террейн) и южной (Алтае-Монгольский террейн) частями Горного Алтая, разделенными Чарышско-Теректинско-Улаганской сутурно-сдвиговой зоной. Следует отметить заметное преобладание среди гранитоидов на Горном Алтае именно девонских гранитоидов. Они расположены исключительно в Горно-Алтайском террейне, где находятся в ассоциации с вулканогенно-осадочными породами, без участия зональных метаморфических серий, характерных для Алтае-Монгольского террейна. Эти факты подтверждают идею, что в Горно-Алтайском террейне запечатлены фрагменты активной окраины Сибирского континента [Буслов, 2011; Буслов и др., 2013], тогда как в Алтае-Монгольском террейне девонские магматические образования имеют, вероятно, иную геодинамическую природу.

Проведенное датирование обломочных цирконов показало, что источником преобладающей кембрийско-раннеордовикской группы и позднепротерозойской могли быть магматические породы Кузнецко-Алтайской островной дуги, а ордовикской группы, вероятно, плюмовые магматические породы, широко развитые в Кузнецко-Батеневском секторе [Перфилова и др., 2004; Руднев, 2013]. Существенный привнос более древнего материала отмечается лишь начиная с нижнедевонского этапа, что свидетельствует о появлении новых источников сноса, вероятно, связанных с магматическими породами фундамента Сибирской платформы [Добрецов и др., 2013; Ножкин и др., 2015; Лиханов и др., 2015]. Наиболее разнообразные источники сноса отмечаются для песчаников позднекарбоновой кызылташской свиты. Обнаруженные в них среднедевонско-раннекарбонные и кембрийско-раннеордовикские цирконы могут быть продуктом разрушения магматических пород соответственно девонско-раннекарбонной и вендско-раннеордовикской активных окраин, широко представленных в Горно-Алтайском террейне. Позднеордовикско-раннесилурийские цирконы развиты в магматических и метаморфических породах Алтае-Монгольского террейна [Буслов, 2011; Буслов и др., 2013]. Все остальные возрастные группы, вероятно, представляют продукты разрушения пород других частей составного Казахстанско-Байкальского континента (например, Тувино-Монгольского микроконтинента), частично ограниченного с севера Чарышско-Теректинско-Улаганской сутурно-сдвиговой зоной [Буслов, 2011; Добрецов, Буслов, 2011]. Для составного континента характерны проявления магматических и метаморфических пород раннесреднепротерозойского и раннепалеопротерозойского возрастов, что показано для территории Монголии [Rojas-Agramonte et al., 2011].

Таким образом, на основе использования базы гравитационных данных впервые охарактеризованы среднепозднепалеозойские геодинамические комплексы и структура Горного Алтая, в пределах которой выделяются Горно-Алтайский и Алтае-Монгольский террейны, разделенные Чарышско-Теректинско-Улаганской сутурно-сдвиговой зоной. Среднепозднепалеозойские надвиги и сдвиги сутурно-сдвиговой зоны окружают автохтонную структуру Горно-Алтайского террейна, аллохтоном для которого является Алтае-Монгольский террейн. Горно-Алтайским террейн выполнен различными по геодинамической природе позднекембрийско-палеозойскими образованиями окраины Сибирского континента, в том числе девонскими вулканоплутоническими комплексами активной окраины. Алтае-Монгольский террейн сложен раннепалеозойскими турбидитами составного Казахстанско-Байкальского континента. В пограничной зоне Алтае-Монгольского террейна широко представлены раннеколлизионные среднепалеозойские гранат-кианитовые метаморфические породы и позднеколлизионные позднепалеозойские зональные андалузит-кордиеритовые породы в ассоциации с гранитными массивами. В гравитационном поле наиболее отчетливо выражены девонские вулканоплутонические комплексы Горно-Алтайского террейна и среднепозднепалеозойские метаморфические серии Алтае-Монгольского террейна. В целом гравитационные аномалии в Горно-Алтайском террейне имеют северо-западное простирание, тогда как в Алтае-Монгольском террейне — субширотное, что подчеркивает структурную неоднородность Горного Алтая. Новые результаты по датированию магматических детритовых цирконов из палеозойских осадочных пород Ануйско-Чуйской зоны Горно-Алтайского террейна указывают, что источником сноса для них являлись породы докембрийского фундамента Сибирской платформы и венд-раннеордовикской Кузнецко-Алтайской островной дуги. Характерно отсутствие детритовых цирконов раннепротерозойского возраста (1.00—0.75 млн лет), которые широко развиты в раннепалеозойских турбидитах Алтае-Монгольского террейна. Для Горно-Алтайского террейна показана существенная смена возрастных источников детритовых цирконов начиная с позднего карбона, характеризующаяся появлением девонских и раннепротерозойских популяций. Приведенные данные подтверждают идею, что в среднем—позднем палеозое произошла амальгамация Казахстанско-Байкальского и Сибирского континентов и была создана основная структурная канва Горного Алтая, отражаемая в гравитационном поле и источниках сноса детритовых цирконов.

Исследования выполнены в рамках государственных заданий ИНГГ СО РАН (IX.128.2.1) и ИГМ СО РАН (0330-2016-0014), проектов РФФИ мол_а 16-35-00108 и мол_а 16-35-00109.

ЛИТЕРАТУРА

- Аникин В.В., Миллер Э.Л.** Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулкано-генного пояса // Петрология, 2011, т. 19 (3), с. 24—290.
- Берзин Н.А., Колман Р.Г., Добрецов Н.Л., Зоненшайн Л.П., Сючань С., 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.** Террейновая тектоника Центрально-Азиатского складчатого пояса // Геодинамика и тектонофизика, 2014, т. 55 (3), с. 641—665.
- Буслов М.М., Ватанабе Т.** Внутрисубдукционная коллизия и ее роль в эволюции аккреционного клина (на примере Курайской зоны Горного Алтая, Центральная Азия) // Геология и геофизика, 1996, т. 37 (1), с. 82—93.
- Буслов М.М., Фудживара И., Сафонова И.Ю., Окада Ш., Семаков Н.Н.** Строение и эволюция зоны сочленения террейнов Рудного и Горного Алтая // Геология и геофизика, 2000, т. 41(3), с. 383—398.
- Буслов М.М., Ватанабе Т., Смирнова Л.В., Фудживара И., Ивата К., де Граве И., Семаков Н.Н., Травин А.В., Кирьянова А.П., Кох Д.А.** Роль сдвигов в позднепалеозойско-раннемезозойской тектонике и геодинамике Алтае-Саянской и Восточно-Казахстанской складчатых областей // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (1—2), с. 49—75.
- 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—1628.
- Ветров Е.В., Буслов М.М., де Гравэ И.** Эволюция тектонических событий и рельефа юго-восточной части Горного Алтая в позднем мезозое—кайнозое по данным трековой термохронологии апатита // Геология и геофизика, 2016, т. 57 (1), с. 125—142.
- 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.** 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.** Позднекембрийско-ордовикская тектоника и геодинамика Центральной Азии // Геология и геофизика, 2007, т. 48 (1), с. 93—108.
- 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., Буслов М.М., Сафонова И.Ю., Кох Д.А.** Фрагменты океанических островов в структуре Курайского и Катунского аккреционных клиньев Горного Алтая // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (12), с. 1381—1403.
- Добрецов Н.Л., Буслов М.М., де Граве И., Скляр Е.В.** Взаимосвязи магматических, осадочных и аккреционно-коллизийных процессов на Сибирской платформе и ее складчатом обрамлении // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (10), с. 1451—1471.
- Добрецов Н.Л., Буслов М.М., Василевский А.Н., Ветров Е.В., Неведрова Н.Н.** Эволюция кайнозойского рельефа юго-восточной части Горного Алтая и его отображение в структурах геоэлектрического и гравитационного полей // Геология и геофизика, 2016, т. 57 (11), с. 1937—1948.
- Ёлкин Е.А., Сенников Н.В., Буслов М.М., Язиков А.Ю., Грацианова Р.Т., Бахарев Н.К.** Палеогеографические реконструкции западной части Алтае-Саянской области в ордовике, силуре и девоне и их геодинамическая интерпретация // Геология и геофизика, 1994, т. 35 (7—8), с. 118—145.
- Крупчатников В.И., Врублевский В.В., Крук Н.Н.** Раннемезозойские лампроиты и монцонитоиды юго-востока Горного Алтая: геохимия, Sr-Nd изотопный состав, источники расплавов // Геология и геофизика, 2015, т. 56 (6), с. 1057—1079.
- Крук Н.Н.** Континентальная кора Горного Алтая: этапы формирования и эволюции, индикаторная роль гранитоидов // Геология и геофизика, 2015, т. 56 (8), с. 1403—1423.
- Крук Н.Н., Волкова Н.И., Куйбида Я.В., Гусев Н.И., Демонтерова Е.И.** Природа метаморфических комплексов Горного Алтая // Литосфера, 2013, № 2, с. 20—44.
- Лиханов И.И., Ревердатто В.В., Козлов П.С., Зиновьев С.В., Хиллер В.В.** *P-T-t* реконструкции метаморфической истории южной части Енисейского кряжа (Сибирский кратон): петрологические следствия и связь с суперконтинентальными циклами // Геология и геофизика, 2015, т. 56 (6), с. 1031—1056.

- Натальин Б.А.** Позднемеловые-третичные формации Чукотского полуострова и происхождение бассейна Хауп и надвигового пояса Геральда (Чукотское море) // Геотектоника, 1999, № 6, с. 76—93.
- Ножкин А.Д., Попов Н.В., Дмитриева Н.В., Стороженко А.А., Васильев Н.Ф.** Неопротерозойские коллизионные S-гранитоиды Енисейского кряжа: петрогеохимические особенности, U-Pb, Ar-Ar и Sm-Nd изотопные данные // Геология и геофизика, 2015, т. 56 (5), с. 881—889.
- Перфилова О.Ю., Махлаев М.Л., Сидорас С.Д.** Ордовикская вулканоплутоническая ассоциация в структурах горного обрамления Минусинских впадин // Литосфера, 2004, № 3, с. 137—152.
- Руднев С.Н.** Раннепалеозойский гранитоидный магматизм Алтае-Саянской складчатой области и Озерной зоны Западной Монголии. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2013, 300 с.
- Руднев С.Н., Серов П.А., Киселева В.Ю.** Венд-раннепалеозойский гранитоидный магматизм Восточной Тувы // Геология и геофизика, 2015, т. 56 (9), с. 1572—1600.
- Тарарин И.А., Бадрединов З.Г., Чубаров В.И.** Петрология и рудоносность метаморфических и магматических комплексов Центральной и Восточной Камчатки. Владивосток, Дальнаука, 2015, 302 с.
- Федак С.И., Туркин Ю.А., Гусев А.И., Шокальский С.П., Русанов Г.Г., Борисов С.М., Беляев Г.М., Леонтьев Е.М.** Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1: 100 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская, лист М-45-Горно-Алтайск. Объяснительная записка СПб., ВСЕГЕИ, 2011, с. 567.
- Хаин В.Е., Филатова Н.И., Поляков И.Д.** Тектоника, геодинамика и перспективы нефтегазоносности Восточно-Арктических морей и их континентального обрамления. М., Наука, 2009, 227с.
- Шокальский С.П., Бабин Г.А., Владимиров А.Г., Борисов С.М., Гусев Н.И., Токарев В.Н., Зыбин В.А., Дубский В.С., Мурзин О.М., Кривчиков В.А., Крук Н.Н., Руднев С.Н., Федосеев Г.С., Титов А.В., Сергеев В.П., Лихачев Н.Н., Мамлин А.Н., Котельников Е.И., Кузнецов С.А., Зейферт Л.Л., Яшин В.Д., Носков Ю.С., Уваров А.Н., Федак С.И., Гусев А.И., Выставной С.А.** Корреляция магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000, 188 с.
- Akinin V.V., Calvert A.T.** Cretaceous mid-crustal metamorphism and exhumation of the Koolen gneiss dome, Chukotka Peninsula, northeastern Russia // Tectonic evolution of the Bering Shelf-Chukchi Sea-Arctic Margin and adjacent landmasses / Eds. E.L. Miller, A. Grantz, S.L. Klemperer. Boulder, USA, Geol. Soc. Amer., 2002, p. 147—165.
- Andersen O.B., Knudsen P., Kenyon S., Holmes S.** Global and arctic marine gravity field from recent satellite altimetry (DTU13), 76th European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition 2014: Experience the Energy - Incorporating SPE EUROPEC, 2014, p. 3049—3053.
- Buslov M.M., De Grave J.** Tectonics and geodynamics of the Altai-Sayan Foldbelt (southern Siberia) / Ed. A. Kroner. The Central Asian Orogenic Belt (Beitr. regionalen Geologie der Erde // Contributions to the Regional Geology of the Earth, 2015, v. 32, p. 93—53.
- Buslov M.M., Cai K.** Tectonics and geodynamics of the Altai-Junggar orogen in the Vendian-Paleozoic: Implications for the continental evolution and growth of the Central Asian fold belt // Geodyn. Tecton., 2017, v. 8, № 3, p. 421—427.
- Buslov M.M., Watanabe T., Saphonova I.Yu., Iwata K., Travin A., Akiyama M.A.** Vendian-Cambrian island arc system of the Siberian continent in Gorny Altai (Russia, Central Asia) // Gondwana Res., 2002, v. 5, p. 781—800.
- 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.
- Cai K., Sun M., Xiao W., Buslov M.M., Yuan C., Zhao G., Long X.** Zircon U-Pb geochronology and hf isotopic composition of granitoids in Russian Altai Mountain, central Asian orogenic belt // Amer. J. Sci., 2014, v. 314, № 2, p. 580—612.
- Cai Keda, Min Sun, Buslov M.M., Bor-ming Jahn, Wenjiao Xiao, Xiaoping Long, Huayong Chen, BoWan, Ming Chen, Rubanova E.S., Kulikova A.V., Voytishchek E.E.** Crustal nature and origin of the Russian Altai: Implications for the continental evolution and growth of the Central Asian Orogenic Belt (CAOB) // Tectonophysics, 2016, v. 674, p. 182—194.
- Chen M., Sun M., Cai K., Buslov M.M., Zhao G., Rubanova E.S.** Geochemical study of the Cambrian-Ordovician meta-sedimentary rocks from the northern Altai-Mongolian terrane, northwestern Central Asian Orogenic Belt: Implications on the provenance and tectonic setting // J. Asian Earth Sci., 2014a, v. 96, p. 69—83.
- Chen M., Sun M., Cai K., Buslov M.M., Zhao G., Rubanova E.S., Voytishchek E.E.** Detrital zircon record of the early Paleozoic meta-sedimentary rocks in Russian Altai: Implications on their provenance and the tectonic nature of the Altai-Mongolian terrane // Lithos, 2014b, v. 233, p. 209—222.

Chen Ming, Sun Min, Buslov M.M., Cai Keda, Zhao Guochun, Zheng Jianping, Rubanova E.S., Voytishchik E.E. Neoproterozoic–middle Paleozoic tectono-magmatic evolution of the Gorny Altai terrane, northwest of the Central Asian Orogenic Belt: Constraints from detrital zircon U–Pb and Hf-isotope studies // *Lithos*, 2015a, v. 233, p. 223–236.

Chen Ming, Sun Min, Cai Keda, Buslov M.M., Zhao Guochun, Rubanova E.S., Voytishchik E.E. Detrital zircon record of the early Paleozoic meta-sedimentary rocks in Russian Altai: Implications on their provenance and the tectonic nature of the Altai–Mongolian terrane // *Lithos*, 2015b, v. 233, p. 209–222.

Chen Ming, Sun Min, Cai Keda, Buslov M.M., Zhao Guochun, Yingde Jiang, Rubanova E.S., Kulikova A.V., Voytishchik E.E. The early Paleozoic tectonic evolution of the Russian Altai: Implications from geochemical and detrital zircon U–Pb and Hf isotopic studies of meta-sedimentary complexes in the Charysh–Terekta–Ulagan–Sayan suture zone // *Gondwana Res.*, 2016a, v. 34, p. 1–15.

Chen Ming, Sun Min, Buslov M.M., Cai Keda, Hao Guochun, Kulikova A.V., Rubanova E.S. Crustal melting and magma mixing in a continental arc setting: Evidence from the Yaloman intrusive complex in the Gorny Altai terrane, Central Asian Orogenic Belt // *Lithos*, 2016b, p. 252–253.

De Grave J., Van den Haute P. Denudation and cooling of the Lake Teletskoye Region in the Altai Mountains (South Siberia) as revealed by apatite fission-track thermochronology // *Tectonophysics*, 2002, v. 349, p. 145–159.

De Grave J., Buslov M.M., Van den Haute P., Dehandschutter B. Meso-Cenozoic evolution of mountain range — intramontane basin systems in the southern Siberian Altai Mountains by apatite fission track thermochronology // *J. Asian Earth Sci.*, 2007a, v. 29, p. 2–9.

De Grave J., Buslov M.M., Van den Haute P., Dehandschutter B. Meso-Cenozoic evolution of mountain range—intramontane basin systems in the southern Siberian Altai Mountains by apatite fission track thermochronology // *J. Asian Earth Sci.*, 2007b, v. 29, p. 2–9.

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.*, 2007c, v. 29, p. 188–204.

De Grave J., Van den Haute P., Buslov M.M., Dehandschutter B., Glorie S. Apatite fission-track thermo-chronology applied to the Chulyshman Plateau, Siberian Altai Region // *Radiat. Meas.*, 2008, v. 43, p. 38–42.

De Grave J., Buslov M.M., Van den Haute P., Metcalf J., Dehandschutter B., McWilliams M.O. Multi-method chronometry of the Teletskoye graben and its basement, Siberian Altai Mountains: new insights on its thermo-tectonic evolution / Eds. F. Lisker, B. Ventura, U.A. Glasmacher // *Thermochronological methods: From paleotemperature constraints to landscape evolution models*. Geol. Soc. London, Spec. Publ., 2009, v. 324, p. 237–259.

De Grave J., Glorie S., Zhimulev F.I., Buslov M.M., Elburg M., Vanhaecke F., Van den Haute P. Emplacement and exhumation of the Kuznetsk-Alatau basement (Siberia): implications for the tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt and sediment supply to the Kuznetsk, Minusa and West Siberian Basins // *Terra Nova*, 2011, v. 23, p. 248–256.

Dobretsov N.L., Berzin N.A., Buslov M.M. Opening and tectonic evolution of the Paleo-Asian Ocean // *Int. Geol. Rev.*, 1995, v. 35, p. 335–360.

Dobretsov N.L., Buslov M.M., Vernikovskiy V.A. Neoproterozoic to Early Ordovician evolution of the Paleo-Asian Ocean: implications to the break-up of Rodinia // *Gondwana Res.*, 2003, v. 6, № 2, p. 143–159.

Glorie S., De Grave J., Buslov M.M., Zhimulev F.I., Izmer A., Elburg M.A., Ryabinin A.B., Vandoorne W., Vanhaecke F., Van den Haute P. Formation and Palaeozoic evolution of the Gorny-Altai–Altai–Mongolia suture zone (Siberia): zircon U/Pb constraints on its igneous record // *Gondwana Res.*, 2011, v. 20, p. 465–484.

Glorie S., De Grave J., Buslov M.M., Zhimulev F.I., Elburg M.A., Van den Haute P. 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.

Hourigan J., Brandon M.T., Soloviev A.V., Kirmasov A.B., Garver J.I., Stevenson J., Reiners P.W. Eocene arc-continent collision and crustal consolidation in Kamchatka, Russian Far East // *Amer. J. Sci.*, 2009, v. 309, p. 333–396.

Kruk N.N., Rudnev S.N., Vladimirov A.G., Shokalsky S.P., Kovach V.P., Serov P.A., Volkova N.I. Early-Middle Paleozoic granitoids in Gorny Altai, Russia: Implications for continental crust history and magma sources // *J. Asian Earth Sci.*, 2011, v. 42, № 5, p. 928–948.

Natal'in B.A., Amato J. M., Toro J. Paleozoic rocks of the Chegitun River valley, northern Chukotka Peninsula: Insights into the tectonic evolution of the eastern Arctic // *Tectonics*, 1999, v. 18, p. 977–1003.

Xia X., Sun M., Geng H., Sun Y., Wang Y., Zhao G. Quasi-simultaneous determination of U–Pb and Hf isotope compositions of zircon by excimer laser-ablation multiple-collector ICPMS // *J. Anal. Atom. Spectr.*, 2011, v. 26, p. 1868—1871.

Rojas-Agramonte Y., Kröner A., Demoux A., Xia 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 // *Gondwana Res.*, 2011, v. 19, № 3, p. 751—763.

Toro J., Cans P.B., McClelland W.C., Dumitru T.A. Deformation and exhumation of the Mount Igikpak region, central Brooks Range, Alaska / Eds. E.L. Miller, A. Grantz, S.L. Klemperer // *Tectonic evolution of the Bering Shelf-Chukchi Sea-Arctic Margin and adjacent landmasses. Geol. Soc. Amer., Spec. Pap. 360*, Boulder, USA, 2002, p. 111—132.

*Рекомендована к печати 6 декабря 2016 г.
И.С. Новиковым*

*Поступила в редакцию
6 июня 2016 г.*