

ТАСЕЕВСКАЯ СЕРИЯ ВЕНДА ЮГО-ЗАПАДНОЙ ОКРАИНЫ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ, ВОЗРАСТ И КОРРЕЛЯЦИЯ

Б.Б. Кочнев^{1,2}, А.И. Прошенкин³, Б.Г. Покровский⁴, Е.Ф. Летникова³

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

²Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия

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

⁴Геологический институт РАН, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, Россия

В горизонтах карбонатных пород чистяковской свиты тасеевской серии в типовых разрезах юга Енисейского кряжа обнаружена высокоамплитудная отрицательная аномалия $\delta^{13}\text{C}$ до -11‰ V-PDB. Значения $\delta^{18}\text{O}$ (-2.7‰ – -5.4‰ V-PDB) и литологические особенности карбонатов позволяют считать их первично-осадочными, а их изотопные характеристики — отражающими исходный изотопный состав вод палеобассейна. Негативный экскурс $\delta^{13}\text{C}$ в чистяковской свите по стратиграфическому положению и амплитуде близок к аналогичным изотопным событиям в венде юга Сибирской платформы и сопоставляется с глобальной среднеэдиакарской аномалией Шурам-Вонока. Максимальный возраст осадконакопления чистяковской свиты, исходя из данных по обломочным цирконам, составляет не более 580 млн лет, что полностью согласуется с прежними оценками возраста события Шурам-Вонока. Возраст основания тасеевской серии, по полученным данным, не древнее 600 млн лет, что позволяет существенно уточнить корреляцию вендского комплекса вдоль юго-западной окраины Сибирской платформы. Различный стратиграфический объем отложений свидетельствует, что развитый здесь краевой прогиб начал формироваться в разное время (от терминального рифея до позднего венда), что обусловило его сегментированное строение.

Венд, эдиакарий, тасеевская серия, аномалия Шурам-Вонока, C-хемостратиграфия, U–Pb датирование обломочных цирконов, Сибирская платформа

VENDIAN TASEEVA GROUP, SOUTHWESTERN MARGIN OF THE SIBERIAN PLATFORM: ISOTOPE, GEOCHEMICAL, AND GEOCHRONOLOGICAL DATA, AGE, AND CORRELATION

B.B. Kochnev, A.I. Proshenkin, B.G. Pokrovskii, and E.F. Letnikova

A high-amplitude negative $\delta^{13}\text{C}$ anomaly (-11‰ V-PDB) has been found in the carbonate horizons of the Chistyakovka Formation of the Taseeva Group in the type sections of the southern Yenisei Ridge. The $\delta^{18}\text{O}$ values (-2.7 to -5.4‰ V-PDB) and the lithologic features of carbonates indicate that these are primary sedimentary rocks and their isotope parameters reflect the primary isotope composition of the paleobasin waters. The negative $\delta^{13}\text{C}$ excursion in the Chistyakovka Formation is close in stratigraphic position and amplitude to similar isotope excursion in the Vendian strata of the southern Siberian Platform and to the global middle Ediacaran Shuram–Wonoka anomaly. According to the data on clastic zircons, the age of the Chistyakovka Formation is no older than 580 Ma, which agrees with the earlier estimated age of the Shuram–Wonoka event. As follows from the data obtained, the age of the basement of the Taseeva Group is no older than 600 Ma. This provides a more accurate correlation of the Vendian complex along the southwestern margin of the Siberian Platform. The different stratigraphic scales of the sediments indicate that the marginal trough here began to form at different times (from late Riphean to late Vendian), which explains its segmented structure.

Vendian, Ediacaran, Taseeva Group, Shuram–Wonoka anomaly, C-chemostratigraphy, U–Pb dating of detrital zircons, Siberian Platform

ВВЕДЕНИЕ

Отложения тасеевской серии, распространенные вдоль юго-западной окраины Сибирской платформы, представляют значительный интерес в связи с нефтегазоносностью позднего докембрия и кембрия этого региона [Мельников и др., 2012; Тасеевская..., 2018]. Первоначально включенные в состав

алданского яруса нижнего кембрия [Семихатов, 1962] они впоследствии были целиком либо частично отнесены к байкальскому горизонту верхней части верхнего рифея [Хоментовский и др., 1972; Решения..., 1983; Шенфиль, 1991]. Стратиграфическое положение этих толщ было уточнено после бурения глубоких скважин для разведки природных углеводородов в Нижнем Приангарье. Стало очевидно, что тасеевская серия является аналогом нижней и средней части (непский и тирский горизонты) вендского осадочного чехла внутренних районов Сибирской платформы [Мельников, 1996; Советов и др., 1996; Стратиграфия..., 2005; Кочнев и др., 2007]. Вместе с тем представлений о верхнерифейском возрасте тасеевской серии продолжает придерживаться ряд исследователей [Тасеевская..., 2018].

Отсутствие надежных палеонтологических и иных данных о возрасте этих толщ не позволяло детально коррелировать их как в пределах региона, так и сопоставлять их с подразделениями Общей стратиграфической шкалы. Недавние данные о возрасте обломочных цирконов из тасеевской серии не решили в полной мере эти задачи, хотя и подтвердили отнесение ее к венду [Антипова, Пошибаев, 2017; Priyatkina et al., 2018]. Полученные нами новые изотопно-геохимические и геохронологические данные дали возможность существенно скорректировать представления о возрасте тасеевской серии, уточнить региональную корреляцию, а также тектоническое положение этого осадочного бассейна в общей структуре юго-западной окраины Сибирского кратона.

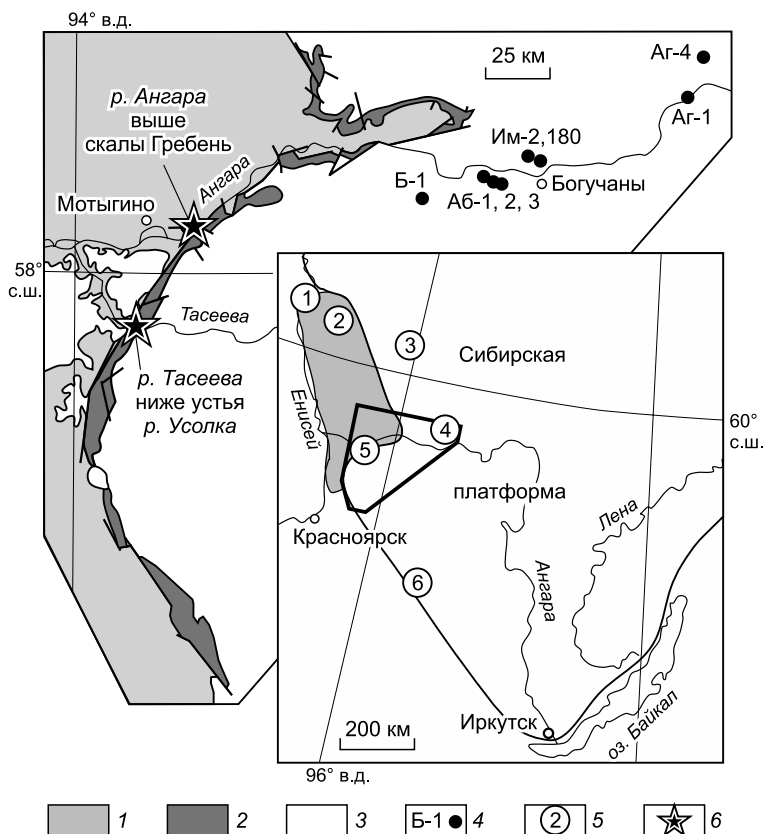
СТРАТИГРАФИЯ И ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

Тасеевская серия в составе алешинской, чистьяковской и мошакской свит выделяется в обнажениях и в колонковых скважинах вдоль восточной окраины юга Енисейского кряжа от Иркинеевского выступа на северо-востоке до окрестностей г. Канск на юге (рис. 1). В глубоких скважинах Агалеевской, Имбинской, Богучанской и других площадей аналоги тасеевской серии прослеживаются еще на 100—150 км к востоку от естественных выходов [Стратиграфия..., 2005; Тасеевская..., 2018]. Типовые разрезы серии в нижнем течении Ангары и ее притоков (реки Тасеева, Иркинеева) хорошо изучены и многократно описаны в литературе [Семихатов, 1962; Хоментовский и др., 1972; Советов, Благовидов, 2004; Стратиграфия..., 2005; Тасеевская..., 2018].

Алешинская свита с размывом и угловым несогласием залегает на различных отложениях рифея, а в наиболее южных разрезах на гранитах канского комплекса раннего протерозоя [Хоментовский и др., 1972]. Описанные Ю.К. Советовым [2015] вблизи основания серии в стратотипе по р. Тасеева диамиктиты, по нашим наблюдениям, представляют собой тектонически раздробленные пласты доломитов либо олистостромы внутри осадочной последовательности алевропесчаников шишинской толщи рифея [Государственная..., 2009]. Они не имеют отношения к тасеевской серии и не могут

Рис. 1. Распространение отложений тасеевской серии на юге Енисейского кряжа [Государственная..., 2009] и положение разрезов ключевых разрезов венда юго-западной окраины Сибирской платформы.

1 — протерозойские образования Енисейского кряжа; 2 — отложения тасеевской серии венда; 3 — фанерозойские отложения чехла Сибирской платформы; 4 — положение упомянутых в тексте разрезов и скважин, вскрывающих отложения тасеевской серии (площади глубокого бурения: Б — Богучанская, Аб — Абаканская, Им — Имбинская, Аг — Агалеевская); 5 — районы распространения вендских отложений, упомянутые в тексте: 1 — Вороговский прогиб, 2 — Тейско-Чапский прогиб, 3 — западный склон Байкитской антелизы (скв. Оленчиминская-152), 4 — Нижнее Приангарье (скв. Агалеевская-4), 5 — реки Ангара и Тасеева, 6 — Бирюсинское Присянье, реки Уда и Бирюса; 6 — местоположение разрезов, изображенных на рис. 3.



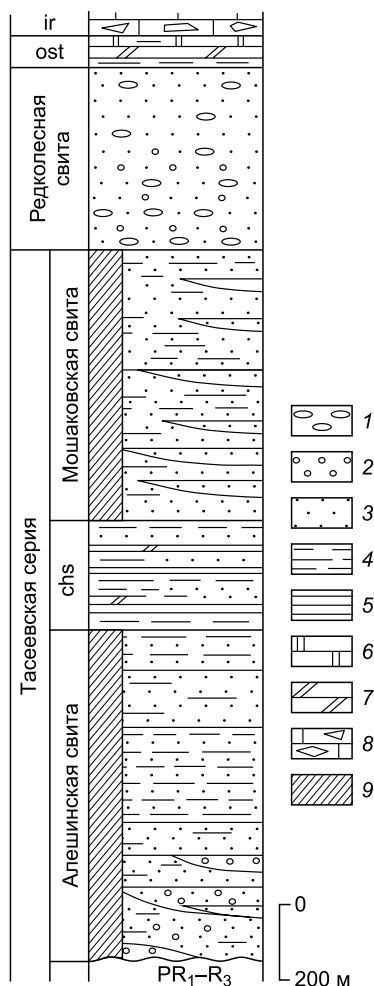


Рис. 2. Сводная литологическая колонка отложений венда в стратотипических разрезах тасеевской серии по рекам Ангара и Тасеева.

1 — конгломераты, 2 — гравелиты, 3 — песчаники, 4 — алевролиты, 5 — аргиллиты, 6 — доломиты, 7 — доломитовые мергели, 8 — брекчированные известняки, 9 — красноцветные отложения. Индексы свит: ir — иркинеевская, ost — островная, chs — чистьяковская.

рассматриваться как ледниковые отложения венда. Разрез алешинской свиты начинается с сероцветных базальных конгломератов, которые вверх по разрезу сменяются красноцветными косослоистыми песчаниками и алевролитами (рис. 2). Чистьяковская свита залегает на алешинской с постепенным переходом. Она сложена чередованием пластов серых полимиктовых и кварцевых песчаников, алевролитов и темноцветных аргиллитов мощностью от первых до десятков сантиметров, реже до первых метров. Немногочисленные (не более 10) горизонты карбонатных пород мощностью от нескольких сантиметров до 0.7—1.0 м представлены глинистыми тонкослоистыми, иногда биоламинитовыми доломитами и доломитовыми мергелями. Мошакловская свита залегает на чистьяковской согласно, но с резкой литологической границей. Как и алешинская свита, она сложена красноцветными, часто косослоистыми песчаниками и алевролитами с прослоями гравелитов. В керне глубоких скважин в отложениях мошакловской и чистьяковской свит часто встречается ангидрит в виде примеси и прослоев [Кочнев и др., 2007; Тасеевская..., 2018]. Мошакловская свита с небольшим размывом [Советов, 1977] перекрыта песчаниками и конгломератами редколесной свиты, а в скважинах она перекрывается песчаниками и глинистыми доломитами катангской свиты. Общая мощность тасеевской серии составляет около 1800 м в стратотипе по рекам Тасеева, сокращаясь до 300 м в самых восточных естественных разрезах по рекам Ангара и Иркинеева, и вновь возрастает до 500—600 м далее к востоку, где она выделяется в глубоких скважинах [Хоментовский и др., 1972; Тасеевская..., 2018].

Обстановки осадконакопления тасеевской серии в обнажениях детально реконструированы в работе Ю.К. Советова и В.В. Благовидова [2004]. Алешинская свита представляет собой циклично устроенный комплекс аллювиальных отложений с различной динамикой потока, отвечающий низкому стоянию уровня моря. Верхняя часть алешинской свиты формировалась в обстановках дельтовой равнины и маркирует начало трансгрессии. Чистьяковская свита отлагалась при высоком стоянии уровня моря, а ее отложения отвечают различным зонам шельфа, реконструированная глубина для которых уменьшается снизу вверх по разрезу. Верхняя часть чистьяковской свиты относится к регрессивному тренду, а максимум регрессии маркируется аллювиальными отложениями мошакловской свиты. Анализ направления палеотечений, изменений мощностей и трендов в осадконакоплении позволяет рассматривать отложения тасеевской серии как толщи, выполняющей обширный краевой прогиб, формировавшийся вдоль юго-западной окраины Сибирского кратона. На ранних этапах заполнения прогиба основным источником кластического материала являлись области денудации во внутренних частях кратона. Начиная с мошакловского времени источник сноса, согласно замерам палеотечений, располагался во внешних коллизионных структурах к западу и юго-западу от границы кратона в современных координатах [Советов, 1977, 2018; Верниковский и др., 2009].

Минимальный возраст тасеевской серии определяется находками в верхах перекрывающей редколесной свиты ископаемых следов *Treptichnus* и мелкокоралловых остатков в островной свите, появляющихся в конце венда (<540 млн лет назад) [Кочнев, Карлова, 2010; Советов, 2018]. Кроме находок строматолитов и микрофоссилий, представленных транзитными таксонами с широким стратиграфическим диапазоном [Хоментовский и др., 1972; Пятилетов, Карлова, 1983], в чистьяковской свите описаны остатки микробиальных колоний и сходной по происхождению проблематики [Liu et al., 2013], также не имеющие стратиграфического значения. Опубликованные определения абсолютного возраста для тасеевской серии, лежащие в интервале 617—761 млн лет [Гутина, Сидорас, 2001; Тасеевская..., 2018], были выполнены Rb-Sr методом по валовым образцам глинистых фракций, поэтому некорректно отражают возраст аутигенных минеральных фаз и не могут рассматриваться как валидные. Чуть более определено о возрасте отложений можно судить по результатам предыдущего изучения детритовых цирко-

нов. Так, для мошакской свиты в обнажениях по рекам Ангара и Тасеева усредненный возраст самого молодого кластера из трех зерен составляет 580 ± 26 млн лет, а возраст единичного циркона из алешинской свиты 609 ± 12 млн лет [Priyatkina et al., 2018]. Восточнее, в глубоких скважинах Абаканской площади, минимальный возраст циркона из алешинской и чистяковской свит составляет около 635 млн лет [Антипова, Пошибаев, 2017]. Таким образом, возраст всей тасеевской серии на основе предыдущих данных может быть оценен в достаточно широких пределах – от 610 до 540 млн лет.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Геохимические и изотопные исследования карбонатных осадочных пород проведены по 20 образцам из чистяковской свиты в двух типовых обнажениях (рис. 3, табл. 1). После распиловки из визуально наименее измененных участков образца небольшим сверлом высверливалась порция порошка для дальнейшего анализа. Изотопный состав углерода и кислорода в карбонатных породах определялся в ГИН РАН (Москва) на масс-спектрометре Thermoelectron Delta V Advantage с установкой Gas Bench II. Разложение проб и стандартов C-O-1 и NBS-19 проводилось с помощью H_3PO_4 при 50 °С. Значения $\delta^{13}C$ и $\delta^{18}O$ приводятся в промилле (‰) относительно стандарта V-PDB. Точность определения $\delta^{18}O$ и $\delta^{13}C$ составляет ± 0.2 и ± 0.1 ‰ соответственно. Содержание Ca, Mg, Fe, Mn, Rb и Sr в карбонатной фракции было изучено масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) в ИГМ СО РАН (Новосибирск) по методике, описанной в [Vishnevskaya et al., 2017]. В ходе этого анализа порошок породы (100 мг) разлагали в 1N растворе HCl в течение трех суток при комнатной температуре, после чего раствор центрифугировали для определения массы нерастворенного осадка. Разбавленные в 1000 раз растворы изучали на масс-спектрометре Element II, погрешность определения составляла менее 5 %.

Проба крупнозернистых песчаников весом около 2 кг для геохронологического изучения отобрана из верхней части в 40 м от кровли чистяковской свиты в обнажении K15-3 (правый берег р. Ангара в 3 км выше скалы Гребень; $58^{\circ}09'34.6''$ с.ш., $94^{\circ}53'52.1''$ в.д.). Извлечение обломочных цирконов из песчаников после измельчения породы проводилось с использованием тяжелых жидкостей; изготовление препаратов и катодоллюминесцентная съемка проведена по общепринятой методике в ИГМ СО РАН (Новосибирск). U-Pb изотопные исследования зерен циркона выполнены методом LA-ICP-MS в ГЕОХИ РАН (Москва). Использовался масс-спектрометр Element XR (Thermo Finnigan) с системой лазерной

Таблица 1. Геохимические и изотопные характеристики карбонатных осадочных пород чистяковской свиты

№ образца	% нераств. осадка	Ca	Mg	Mn	Fe	Sr	Rb	$\delta^{13}C$, V-PDB	$\delta^{18}O$, V-PDB
		%		мкг/г				‰	
K15-1/1	10.4	26.1	12.0	4583	15699	81	1.67	-3.6	-4.3
K15-1/2	—	—	—	—	—	—	—	-10.0	-5.0
K15-1/3	40.9	24.2	12.7	3249	18943	108	8.9	-10.1	-2.8
K15-1/4	—	—	—	—	—	—	—	-9.8	-2.7
K15-1/5	—	—	—	—	—	—	—	-11.0	-3.3
K15-1/6	—	—	—	—	—	—	—	-11.9	-3.2
K15-1/7	38.7	25.4	11.4	10593	18493	63	6.4	-4.9	-4.9
K15-1/8	—	—	—	—	—	—	—	-11.9	-5.0
K15-1/9	—	—	—	—	—	—	—	-11.7	-5.0
K15-3/1	—	—	—	—	—	—	—	-12.8	-3.5
K15-3/2	—	—	—	—	—	—	—	-13.1	-3.0
K15-3/3	4.9	26.7	12.0	5790	14538	100	0.63	-11.6	-3.7
K15-3/4	9.2	25.8	11.5	5035	15743	93	1.25	-10.6	-4.0
K15-3/5	17.7	25.7	12.2	2423	13589	69	1.72	-7.7	-4.7
K15-3/6	—	—	—	—	—	—	—	-7.2	-4.0
K15-3/7	—	—	—	—	—	—	—	-10.5	-5.4
K15-3/8	—	—	—	—	—	—	—	-12.3	-4.2
K15-3/9	—	—	—	—	—	—	—	-11.2	-3.9
K15-3/10	—	—	—	—	—	—	—	-7.0	-4.8
K15-3/11	—	—	—	—	—	—	—	-8.5	-5.4

Примечание. Прочерк — не определялось.

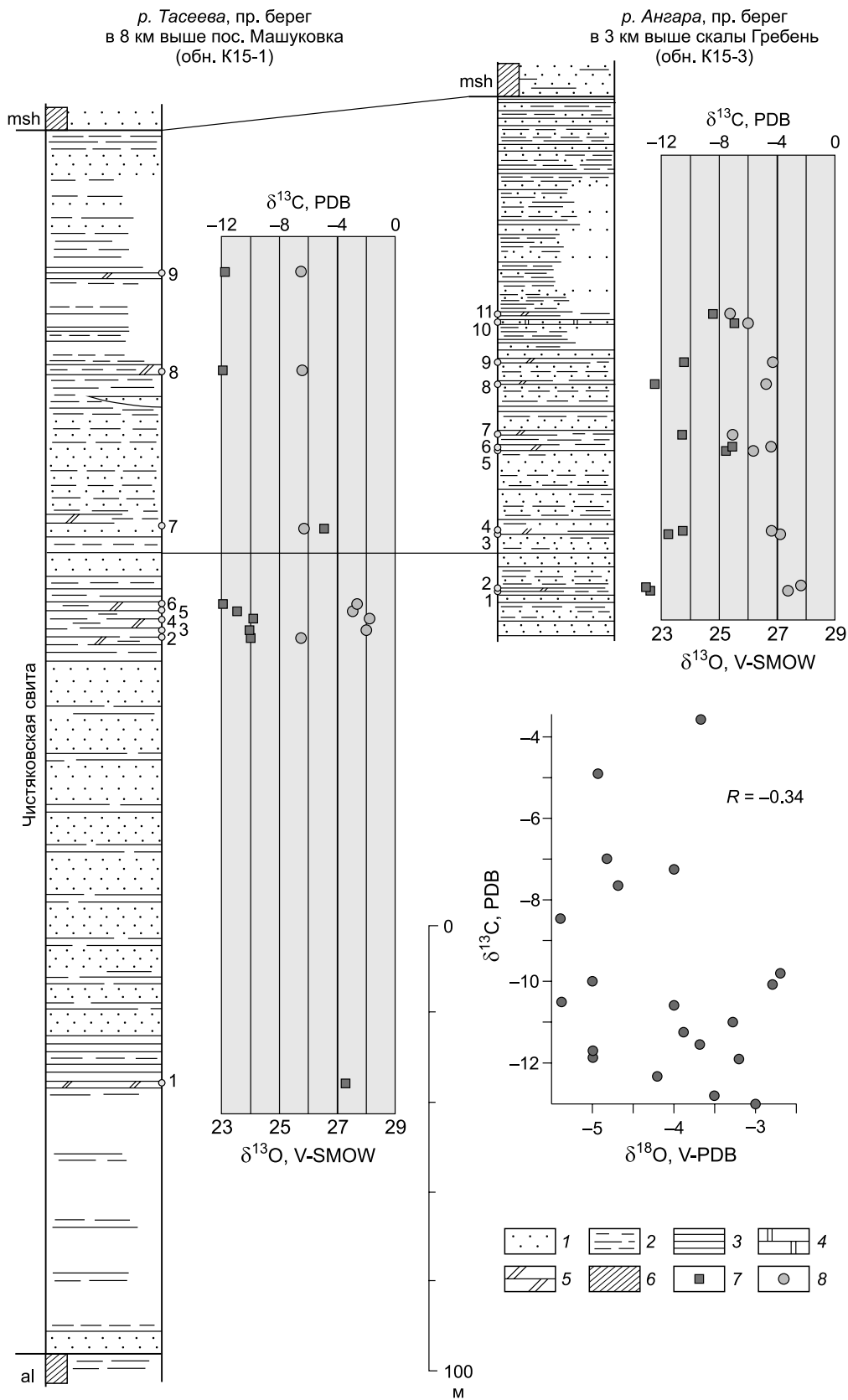


Рис. 3. Литологические колонки и изотопно-геохимические характеристики отложений чистяковской свиты в обнажениях по рекам Ангара и Тасеева (‰).

1 — песчаники, 2 — алевролиты, 3 — аргиллиты, 4 — доломиты, 5 — доломитовые мергели, 6 — красноцветные отложения, 7 — значения $\delta^{13}\text{C}$, 8 — значения $\delta^{18}\text{O}$. Индексы свит: al — алевшинская, msh — мошакская.

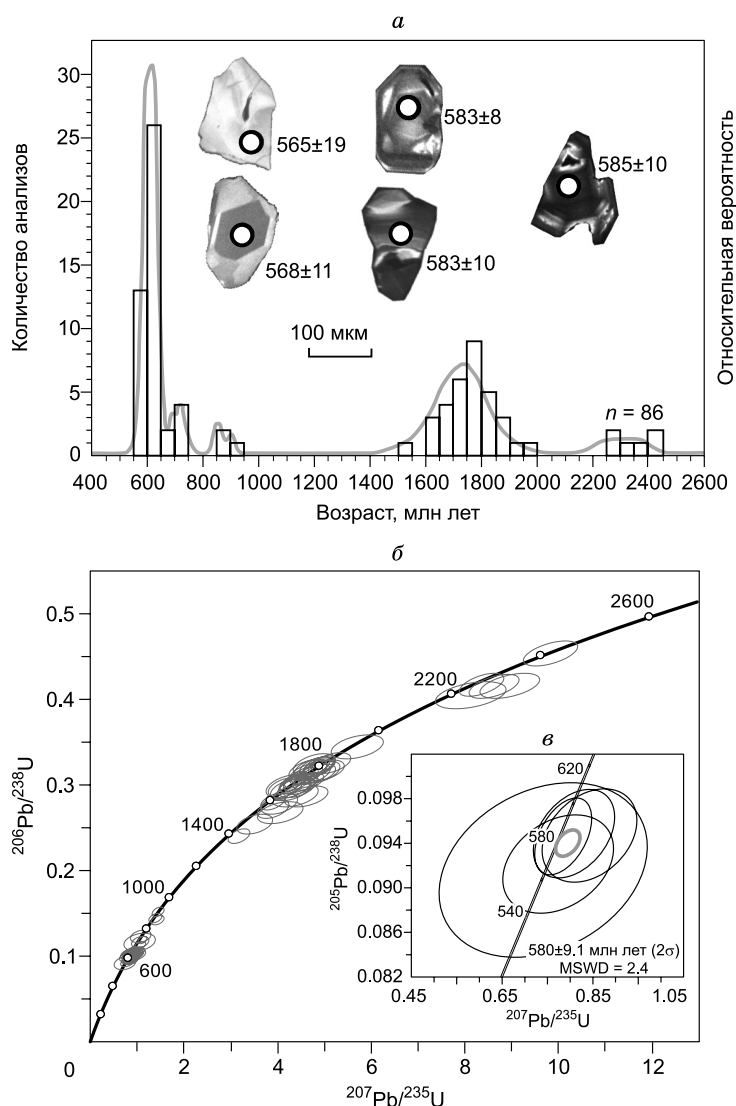
абляции UP-213 (New Wave Research) на основе ультрафиолетового Nd-YAG лазера с длиной волны 213 нм. Во время анализа камера продувалась потоком чистого гелия с интенсивностью ~0.5 л/мин. На выходе потока гелия он смешивался с чистым аргоном в соотношении 1:2. Сигналы настраивались на максимальную чувствительность Pb⁺ и U⁺ и минимум отношения UO⁺/U⁺ при сканировании стандартного циркона GJ-1. Наиболее распространенное для анализов отношение UO⁺/U⁺ составляет 0.02—0.03 %. Диаметр лазерного луча составлял 30 мкм, частота повторения импульсов 4 Гц и плотность энергии лазерного излучения 10—15 Дж/см². В качестве основного использовался стандарт GJ-1 [Jackson et al., 2004], а независимая проверка корректности измерений проводилась по стандарту 91500 [Wiedenbeck et al., 1995]. Сканирование масс-спектра осуществлялось по массам ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb, ²⁰⁸Pb, ²³²Th, ²³⁵U и ²³⁸U. Зерна цирконов анализировались сериями по 12 измерений, кроме того, анализ каждой серии чередовался с двумя за мерами каждого из стандартов. Последующая обработка результатов анализов проводилась с помощью программного пакета GLITTER [Van Achterbergh et al., 2001; Griffin et al., 2008]. Для построения U-Pb диаграмм с конкордией применялся макрос Isoplot 3.0 [Ludwig, 2003] для программы Microsoft Excel 2003. Для построения графика распределений возрастов для зерен с возрастом до 1 млрд лет, определенным по соотношению ²⁰⁶Pb/²³⁸U, использовался этот возраст; для зерен с возрастом свыше 1 млрд лет брали значение возраста, вычисленное по соотношению ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb.

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ И ИЗОТОПНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Химический состав карбонатных пород из чистяковской свиты изучен по шести макроскопически наименее глинистым образцам (см. табл. 1). Все они представлены глинистыми доломитами (Mg/Ca = 0.44—0.53), содержащими от 5 до 40 % нерастворимой примеси. Характерны высокие концентрации Fe (13589—18943 мкг/г) и Mn (2423—10593 мкг/г), изменения которых не коррелируют с содержанием карбоната. Содержания Rb, варьирующие от 0.63 до 8.9 мкг/г, возрастают с увеличением доли нерастворимого остатка и глинистых минералов. Содержания Sr составляют от 63 до 108 мкг/г. Отношения Mn/Sr > 30 и Fe/Sr > 150 многократно превышают пороговые значения, используемые для оценки сохранности изотопных систем [Кузнецов и др., 2014] и свидетельствуют о несоответствии изотопных соотношений стронция в породе существовавшим в воде палеобассейна. Это подтверждают полученные ранее по трем наименее глинистым образцам из чистяковской свиты значения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr в интервале 0.7099... 0.7126 [Кочнев и др., 2016], что существенно выше известных для неизмененных осадочных карбонатных пород эдиакария и венда [Кузнецов и др., 2014].

Изотопный состав углерода и кислорода изучен в 20 образцах, охватываю-

Рис. 4. График распределения ²⁰⁶Pb/²³⁸U возрастов, катодолуминесцентные изображения наиболее молодых зерен (а), диаграмма с конкордией (б) и средневзвешенный возраст наиболее молодого кластера из пяти измерений (в) для обломочных цирконов обр. К-361-15 из верхней части чистяковской свиты в разрезе К15-03 по р. Ангара выше скалы Гребень.



ших главным образом верхнюю половину (около 120 м, см. рис. 3) чистяковской свиты. Для большинства образцов значение $\delta^{13}\text{C}$ весьма низкое и составляет от -7 до -13 ‰ V-PDB и лишь в двух образцах, один из которых отобран в 60 м от основания свиты, оно поднимается до -3.6 и -4.9 ‰ (см. рис. 3). Значения $\delta^{18}\text{O}$ составляют $25.3\dots 28.1$ ‰ V-SMOW ($-2.7\dots -5.4$ ‰ V-PDB). Сколь угодно заметной корреляции между значениями $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ не выявлено ($R = -0.34$).

Изучено 110 зерен обломочных цирконов, из которых для дальнейших геохронологических построений использовано 86 зерен, имеющих дискордантность < 10 % (табл. 2). Раннепротерозойская (2290—2425 млн лет, 5 зерен) и раннепозднепротерозойская (1545—1950 млн лет, 23 зерна) (рис. 4) популяции в значительной степени сходны с изученными ранее пробами из позднедокембрийских отложений юго-запада Сибирской платформы [Гладкочуб и др., 2013; Priyatkina et al., 2018]. Наиболее важна для оценки возраста чистяковской свиты доминирующая в образце неопротерозойская популяция цирконов (565—910 млн лет, 48 зерен). До возрастной отметки в 650 млн лет, распределение возрастов носит единичный характер без образования выраженных кластеров. Начиная с зерна с измеренным возрастом в 645 ± 13 млн лет, следует практически непрерывный ряд уменьшающихся значений, часто перекрывающийся в пределах ошибки и по сути образующий единую популяцию со средним возрастом около 610 млн лет (см. табл. 2, рис. 4). Два самых молодых измерения дают значения 565 ± 19 и 568 ± 11 млн лет (1σ).

Для оценки минимального возраста осадочных толщ по возрастам обломочных цирконов могут использоваться различные подходы: средний возраст кластера из двух и более зерен, возраст которых перекрывается в пределах ошибки 1σ ; средний возраст кластера из трех и более зерен, возраст которых перекрывается в пределах ошибки 2σ ; средний возраст всего непрерывного молодого кластера и т.д. [Dickinson, Gehrels, 2009]. В нашем случае наиболее корректной и не вызывающей сомнений является оценка возраста по кластеру из пяти наиболее молодых измерений, дающая среднее значение 580.0 ± 9.1 млн лет (2σ , MSWD = 2.4) (см. рис. 4, в). Эти зерна, согласно CL-изображениям (см. рис. 4, а), имеют типичную для магматических цирконов осцилляторную зональность. Таким образом, максимальный возраст осадконакопления верхней части чистяковской свиты определяется значением около 580 млн лет.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Происхождение негативной С-изотопной аномалии в чистяковской свите и возраст тасеевской серии. Высокие содержания нерастворимой примеси, включая соединения Fe и Mn в образцах доломитов и мергелей чистяковской свиты, не позволяют применить геохимические характеристики пород для оценки сохранности изотопных систем. Однако для оценки первичности карбонатной фазы и изотопных характеристик углерода можно использовать другие критерии. В частности, все изученные образцы представлены глинистыми микритовыми карбонатами, часто с тонкой биоламинитовой слоистостью, которые слабо или почти не подвержены вторичной перекристаллизации [Подковыров и др., 1998; Хабаров, Пономарчук, 2005]. Среди вмещающих пород для слоев карбонатов преобладают слабопроницаемые алевролиты и аргиллиты, препятствующие переносу растворенного карбоната поровыми растворами. Для всех без исключения изученных образцов значения $\delta^{18}\text{O}$ превышают -6 ‰ V-PDB или 25 ‰ V-SMOW (см. табл. 1), что характерно для неизмененных осадочных карбонатных пород венда Сибирской платформы [Покровский и др., 2006, 2012; Кочнев и др., 2018; и др.]. Кроме того, значения $\delta^{18}\text{O}$ практически не коррелируют со значениями $\delta^{13}\text{C}$ (см. рис. 3), что можно было бы ожидать при образовании этих прослоев на стадии диагенеза или за счет осаждения карбоната из окисленного органического вещества.

На Сибирской платформе карбонатные осадочные породы с ультранизкими (ниже $-8\dots -10$ ‰) значениями $\delta^{13}\text{C}$ известны лишь в вендских отложениях ее южной части (рис. 5). Это жуинская серия Патомского прогиба [Покровский и др., 2006], верхняя часть непского горизонта центральных районов платформы [Кочнев и др., 2018] и верхняя часть юкандинской свиты юдомской серии востока Юдомо-Майского прогиба [Семихатов и др., 2004]. Этот негативный экскурс сопоставляется с глобальным С-изотопным событием Шурам-Вонока, которое выделяется во многих вендских (эдиакарских) осадочных бассейнах мира. Несмотря на то, что точный возраст и генезис этой аномалии дискуссионны, она активно применяется при глобальной корреляции отложений венда и эдиакария. Верхний возрастной предел события Шурам-Вонока оценивается в 551 млн лет, а нижний от 580 до 560 млн лет [Grotzinger et al., 2011; Xiao et al., 2016]. Предполагается, что в разрезе венда юга Енисейского кряжа это событие наблюдается в верхней части чистяковской свиты, что полностью согласуется с данными по минимальным возрастам обломочных цирконов (см. рис. 5). Отсюда можно сделать вывод, что чистяковская свита относится к нижней части верхнего венда (535—580 млн лет) в широком понимании [Семихатов и др., 2015]. Учитывая, что алешинская и чистяковская свиты связаны постепенным переходом, а алешин-

Таблица 2. Результаты U-Pb LA-ICP-MS датирования обломочных цирконов из песчаников чистяковской свиты тасеевской серии из обн. K15-03, обр. K-361-15

Номер измерения	Изотопные отношения							Конкордантность, %	Изотопный возраст					
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ	Rho	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PRB72	0.740	0.094	0.0916	0.0032	0.2732	0.0586	0.0077	99	562	55	565	19	553	262
PRB01	0.774	0.049	0.0921	0.0018	0.3155	0.0610	0.0039	98	582	28	568	11	641	133
PRB07	0.784	0.026	0.0946	0.0014	0.4223	0.0602	0.0021	99	588	15	583	8	610	73
PRB83	0.842	0.043	0.0947	0.0017	0.3580	0.0645	0.0033	94	620	24	583	10	758	105
PRB98	0.810	0.037	0.0949	0.0016	0.3770	0.0619	0.0029	97	603	21	585	10	671	95
PRB47	0.785	0.027	0.0952	0.0014	0.4241	0.0599	0.0021	99	588	15	586	8	599	74
PRB62	0.838	0.044	0.0952	0.0017	0.3492	0.0639	0.0034	95	618	24	586	10	737	109
PRB93	0.844	0.071	0.0955	0.0024	0.3032	0.0641	0.0055	94	621	39	588	14	745	171
PRB15	0.812	0.036	0.0960	0.0016	0.3659	0.0614	0.0028	98	604	20	591	9	655	94
PRB29	0.830	0.043	0.0966	0.0017	0.3447	0.0624	0.0033	97	614	24	595	10	687	109
PRB37	0.897	0.047	0.0967	0.0018	0.3479	0.0674	0.0036	91	650	25	595	10	849	108
PRB31	0.809	0.036	0.0968	0.0016	0.3654	0.0607	0.0028	99	602	20	595	9	628	95
PRB64	0.831	0.047	0.0974	0.0019	0.3349	0.0619	0.0036	97	614	26	599	11	672	119
PRB46	0.908	0.054	0.0977	0.0020	0.3339	0.0675	0.0041	91	656	29	601	11	853	122
PRB28	0.810	0.051	0.0977	0.0019	0.3164	0.0602	0.0039	99	603	29	601	11	611	133
PRB97	0.842	0.052	0.0980	0.0020	0.3306	0.0623	0.0039	97	620	29	603	12	684	130
PRB16	0.801	0.072	0.0982	0.0025	0.2894	0.0593	0.0054	99	598	40	604	15	577	188
PRB25	0.872	0.071	0.0985	0.0024	0.3010	0.0643	0.0054	95	636	39	605	14	750	168
PRB55	0.859	0.038	0.0985	0.0016	0.3769	0.0633	0.0028	96	630	21	606	10	719	92
PRB81	0.815	0.035	0.0996	0.0017	0.3830	0.0594	0.0026	99	605	20	612	10	581	92
PRB17	0.834	0.044	0.0998	0.0018	0.3378	0.0607	0.0033	99	616	24	613	10	628	112
PRB09	0.930	0.042	0.1000	0.0017	0.3690	0.0675	0.0031	91	667	22	614	10	854	93
PRB49	0.887	0.071	0.1000	0.0024	0.3055	0.0644	0.0053	95	645	38	615	14	753	164
PRB14	0.891	0.070	0.1007	0.0024	0.3039	0.0643	0.0052	95	647	38	618	14	750	162
PRB54	0.921	0.066	0.1011	0.0023	0.3165	0.0661	0.0048	93	663	35	621	13	810	146
PRB110	0.849	0.082	0.1013	0.0028	0.2903	0.0607	0.0060	99	624	45	622	17	629	199
PRB33	0.873	0.033	0.1013	0.0015	0.3996	0.0626	0.0024	98	637	18	622	9	693	80
PRB94	0.891	0.045	0.1017	0.0019	0.3611	0.0635	0.0033	96	647	24	624	11	726	105
PRB86	0.945	0.073	0.1018	0.0025	0.3145	0.0673	0.0053	92	676	38	625	14	847	155
PRB52	0.842	0.060	0.1020	0.0022	0.3082	0.0599	0.0044	99	620	33	626	13	600	150
PRB53	0.898	0.089	0.1020	0.0030	0.2941	0.0639	0.0065	96	651	47	626	17	738	201
PRB51	0.844	0.067	0.1022	0.0024	0.2974	0.0599	0.0049	99	622	37	628	14	601	166
PRB89	0.948	0.090	0.1025	0.0029	0.3006	0.0671	0.0065	92	677	47	629	17	841	191
PRB102	0.949	0.061	0.1026	0.0022	0.3333	0.0671	0.0044	92	677	32	629	13	840	130
PRB36	0.892	0.049	0.1027	0.0019	0.3380	0.0630	0.0035	97	647	26	631	11	709	115
PRB06	0.891	0.035	0.1028	0.0016	0.3941	0.0630	0.0025	97	647	19	631	9	706	82
PRB80	0.926	0.055	0.1034	0.0021	0.3361	0.0650	0.0039	95	665	29	634	12	773	123
PRB67	0.915	0.060	0.1038	0.0022	0.3228	0.0640	0.0043	96	660	32	637	13	741	137
PRB26	0.989	0.067	0.1052	0.0023	0.3227	0.0683	0.0048	92	698	34	645	13	878	138
PRB23	0.905	0.050	0.1064	0.0020	0.3343	0.0618	0.0035	99	655	27	652	11	667	117
PRB42	1.053	0.046	0.1124	0.0019	0.3787	0.0681	0.0031	94	731	23	686	11	870	90
PRB56	1.052	0.076	0.1159	0.0027	0.3175	0.0658	0.0049	97	730	37	707	15	801	147
PRB19	1.047	0.137	0.1164	0.0043	0.2833	0.0654	0.0088	97	728	68	710	25	786	260
PRB44	1.105	0.040	0.1189	0.0018	0.4177	0.0675	0.0025	96	756	19	724	10	853	75
PRB04	1.079	0.089	0.1226	0.0031	0.3015	0.0639	0.0054	99	743	43	746	17	739	170
PRB30	1.427	0.056	0.1414	0.0023	0.4041	0.0733	0.0029	94	901	24	853	13	1022	79

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PRB70	1.385	0.058	0.1445	0.0024	0.3956	0.0695	0.0029	99	883	25	870	13	915	84
PRB84	1.448	0.054	0.1518	0.0024	0.4239	0.0692	0.0026	99	909	22	911	13	905	74
PRB32	3.172	0.093	0.2403	0.0034	0.4858	0.0958	0.0029	95	1450	23	1388	18	1545	55
PRB75	3.515	0.158	0.2538	0.0047	0.4127	0.1005	0.0046	95	1531	35	1458	24	1633	82
PRB12	3.897	0.108	0.2804	0.0039	0.5062	0.1009	0.0028	99	1613	22	1593	20	1641	51
PRB77	4.155	0.147	0.2974	0.0047	0.4418	0.1014	0.0036	99	1665	29	1678	23	1650	64
PRB109	4.224	0.197	0.2982	0.0056	0.3997	0.1027	0.0048	99	1679	38	1682	28	1674	84
PRB05	4.269	0.100	0.3010	0.0039	0.5544	0.1030	0.0024	99	1687	19	1696	19	1679	43
PRB11	4.391	0.103	0.3067	0.0040	0.5543	0.1040	0.0024	99	1711	19	1724	20	1696	43
PRB20	3.898	0.136	0.2721	0.0044	0.4601	0.1040	0.0037	96	1613	28	1551	22	1697	64
PRB74	4.276	0.179	0.2947	0.0052	0.4251	0.1052	0.0045	99	1689	34	1665	26	1719	76
PRB39	4.034	0.163	0.2778	0.0049	0.4386	0.1054	0.0044	96	1641	33	1581	25	1721	74
PRB24	4.412	0.119	0.3039	0.0042	0.5136	0.1054	0.0029	99	1715	22	1711	21	1721	49
PRB87	4.645	0.166	0.3174	0.0050	0.4368	0.1061	0.0038	99	1757	30	1777	24	1734	64
PRB45	4.557	0.125	0.3108	0.0043	0.5053	0.1064	0.0029	99	1742	23	1744	21	1739	49
PRB61	4.698	0.144	0.3193	0.0046	0.4749	0.1068	0.0033	99	1767	26	1786	23	1745	55
PRB60	4.784	0.183	0.3237	0.0055	0.4413	0.1072	0.0042	99	1782	32	1808	27	1753	69
PRB66	4.477	0.146	0.3024	0.0046	0.4613	0.1074	0.0035	99	1727	27	1703	23	1756	59
PRB85	4.460	0.162	0.3008	0.0048	0.4355	0.1075	0.0039	98	1724	30	1695	24	1758	65
PRB82	4.402	0.161	0.2969	0.0047	0.4366	0.1076	0.0039	98	1713	30	1676	24	1758	65
PRB92	4.692	0.177	0.3138	0.0051	0.4273	0.1084	0.0041	99	1766	32	1759	25	1773	67
PRB03	4.693	0.111	0.3127	0.0041	0.5506	0.1090	0.0026	99	1766	20	1754	20	1783	43
PRB10	4.846	0.115	0.3224	0.0042	0.5524	0.1092	0.0026	99	1793	20	1802	21	1785	43
PRB57	4.840	0.155	0.3215	0.0048	0.4695	0.1093	0.0035	99	1792	27	1797	24	1787	58
PRB105	4.049	0.200	0.2681	0.0053	0.4004	0.1095	0.0055	93	1644	40	1531	27	1791	88
PRB35	4.862	0.128	0.3204	0.0044	0.5195	0.1102	0.0029	99	1796	22	1792	21	1802	47
PRB88	4.372	0.202	0.2876	0.0055	0.4130	0.1103	0.0052	95	1707	38	1630	27	1804	83
PRB02	4.926	0.114	0.3235	0.0042	0.5589	0.1106	0.0026	99	1807	20	1807	20	1809	42
PRB41	4.663	0.132	0.3044	0.0043	0.5000	0.1112	0.0032	97	1761	24	1713	21	1819	51
PRB43	4.879	0.145	0.3134	0.0046	0.4897	0.1130	0.0034	98	1799	25	1757	22	1848	53
PRB18	4.917	0.172	0.3156	0.0052	0.4705	0.1132	0.0041	98	1805	30	1768	25	1851	63
PRB90	4.962	0.185	0.3174	0.0051	0.4314	0.1134	0.0042	98	1813	31	1777	25	1854	66
PRB65	5.144	0.166	0.3262	0.0049	0.4655	0.1144	0.0037	99	1843	27	1820	24	1871	57
PRB78	4.605	0.190	0.2865	0.0051	0.4309	0.1166	0.0049	92	1750	34	1624	26	1905	73
PRB101	5.697	0.224	0.3450	0.0057	0.4180	0.1198	0.0047	99	1931	34	1911	27	1953	68
PRB95	8.120	0.308	0.4053	0.0066	0.4296	0.1453	0.0055	98	2245	34	2193	30	2291	64
PRB08	8.356	0.194	0.4176	0.0055	0.5620	0.1453	0.0034	99	2270	21	2250	25	2292	40
PRB13	8.620	0.217	0.4153	0.0057	0.5465	0.1507	0.0038	97	2299	23	2239	26	2354	43
PRB58	8.969	0.261	0.4162	0.0059	0.4905	0.1564	0.0046	96	2335	27	2243	27	2417	49
PRB21	9.834	0.239	0.4541	0.0061	0.5495	0.1572	0.0038	99	2419	22	2414	27	2426	41

Примечание. Приведены измерения с конкордантностью свыше 90 %. Rho — коэффициент корреляции эллипса ошибок.

ская свита сложена относительно быстро накапливавшимися аллювиальными отложениями, можно предполагать, что возраст основания тасеевской серии не превышает 600 млн лет. Таким образом, возраст основания тасеевской серии близок к нижней границе венда (600 млн лет) в действующей редакции Стратиграфического кодекса России [2019], и, скорее всего, существенно моложе основания эдиакария (635 млн лет) Международной хроностратиграфической шкалы [International..., 2018].

Региональная корреляция. Обнаружение крупной отрицательной аномалии $\delta^{13}\text{C}$ в верхней части чистяковской свиты позволяет серьезно уточнить принятую корреляцию местных стратиграфиче-

ских подразделений. Прежде всего, это касается сопоставления разреза венда юга Енисейского кряжа с прилегающими частями внутренних районов Сибирской платформы. В стратиграфической схеме этого региона, предлагаемой в качестве официальной [Мельников, 2009; Тасеевская..., 2018], чистяковская свита на основании сходства литологического состава сопоставляется с оскобинской свитой тирского регионального горизонта, а алешинская — с ванаварской свитой непского горизонта внутренних райо-

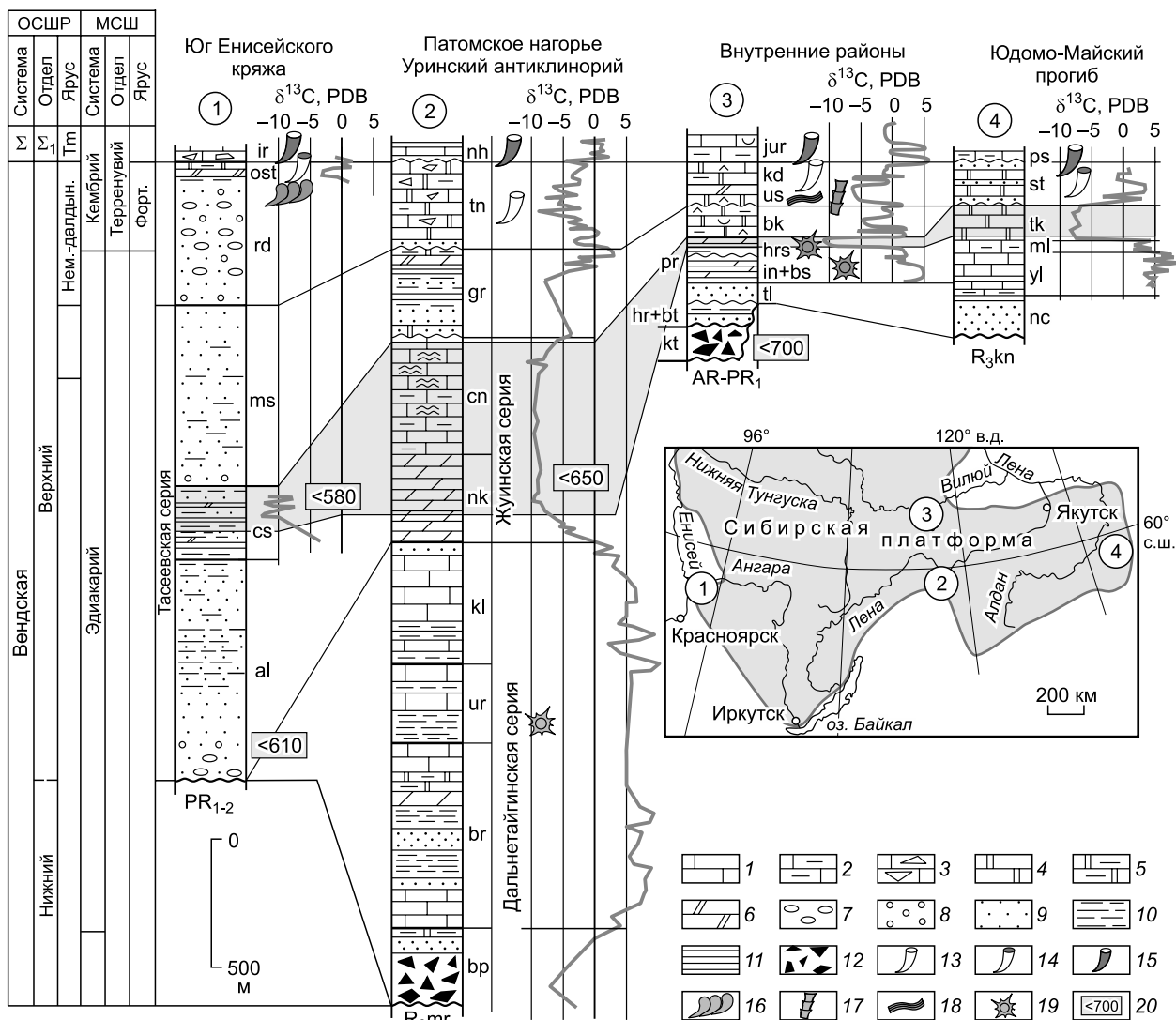


Рис. 5. Аналоги эдиакарской С-изотопной аномалии (‰) Шурам-Вонока в разрезах венда юга Сибирской платформы.

Использованные хемотратиграфические данные: юг Енисейского кряжа — данная работа и [Хоментовский и др., 1998]; Патомское нагорье — [Pelechaty, 1998; Покровский и др., 2006; Рудько и др., 2017]; внутренние районы — [Кочнев и др., 2018]; Юдомо-Майский прогиб — [Семихатов и др., 2004]. 1 — известняки; 2 — глинистые известняки; 3 — брекчированные известняки; 4 — доломиты; 5 — глинистые доломиты; 6 — доломитовые мергели; 7 — конгломераты; 8 — гравелиты; 9 — песчаники; 10 — алевролиты; 11 — аргиллиты; 12 — диамиктиты; 13–15 — мелкоравнинные остатки [Хоментовский, Карлова, 2002; Кочнев, Карлова, 2010; Кочнев и др., 2018]: 13 — зоны *N. sunnaginicus* томмотского яруса, 14 — зоны *P. antiqua* немакит-далдынского регионаруса, 15 — зоны *A. trisulcatus* немакит-далдынского регионаруса; 16 — ихнофоссилии *Treptichnus pedum* [Кочнев, Карлова, 2010; Советов, 2018]; 17 — скелетные остатки *Namacalathus* sp. [Шемин и др., 2011]; 18 — макроскопические водоросли *Vendotaenia* [Кочнев, Карлова, 2010]; 19 — эдиакарские акантоморфные микрофоссилии [Голубкова и др., 2010 и ссылки в работе]; 20 — минимальные возрасты (млн лет) по обломочным цирконам: данная работа и [Чумаков и др., 2011; Кочнев и др., 2015; Priyatkina et al., 2018]. Индексы свит: ir — иркинеевская, ost — островная, rd — редколесная, ms — мошаконская, cs — чистяковская, al — алешинская, nh — нохтуйская, tn — тинновская, gr — жербинская, cn — ченчинская, nk — николевская, kl — каланчевская, ur — уринская, br — баракунская, bp — большепатомская, mg — маринская, jur — юрская, kd — кудулахская, us — успунская, bk — бюкская, hrs — харыстанская, pr — паршинская, in — ынахская, bs — бесюрская, tl — талаская, hr — хоронохская, bt — бетинчинская, kt — конгломератовая толща, ps — пестроцветная, st — сытыгинская, tk — токурская, ml — малская, yl — яланская, nc — начарская, kn — кандыкская.

нов. При этом предполагается, что мошакская свита либо полностью выклинивается за счет перерыва в подошве вышележащих отложений катангской свиты, либо замещается маломощной глинистой пачкой.

Против такой корреляции свидетельствуют изотопно-геохимические данные (рис. 6). Для отложений оскобинской и бюкской свит тирского горизонта характерны умеренно-отрицательные и слабоположительные значения $\delta^{13}\text{C}$ ($-4...+2\text{‰}$), а также весьма высокие ($29...32\text{‰}$ V-SMOW или $-2...+1\text{‰}$ V-PDB) значения $\delta^{18}\text{O}$, которые на 5—6‰ превышают аналогичные показатели для чистяковской свиты [Виноградов и др., 1994; Кочнев и др., 2018]. Мы считаем, что чистяковская свита вместе с подстилающей аleshинской, образующие выраженный трансгрессивный цикл, должна сопоставляться с непским горизонтом, а мошакская свита, формировавшаяся при последующем низком стоянии уровня моря, — с тирским горизонтом. Такая корреляция согласуется с седиментационными трендами, рекон-

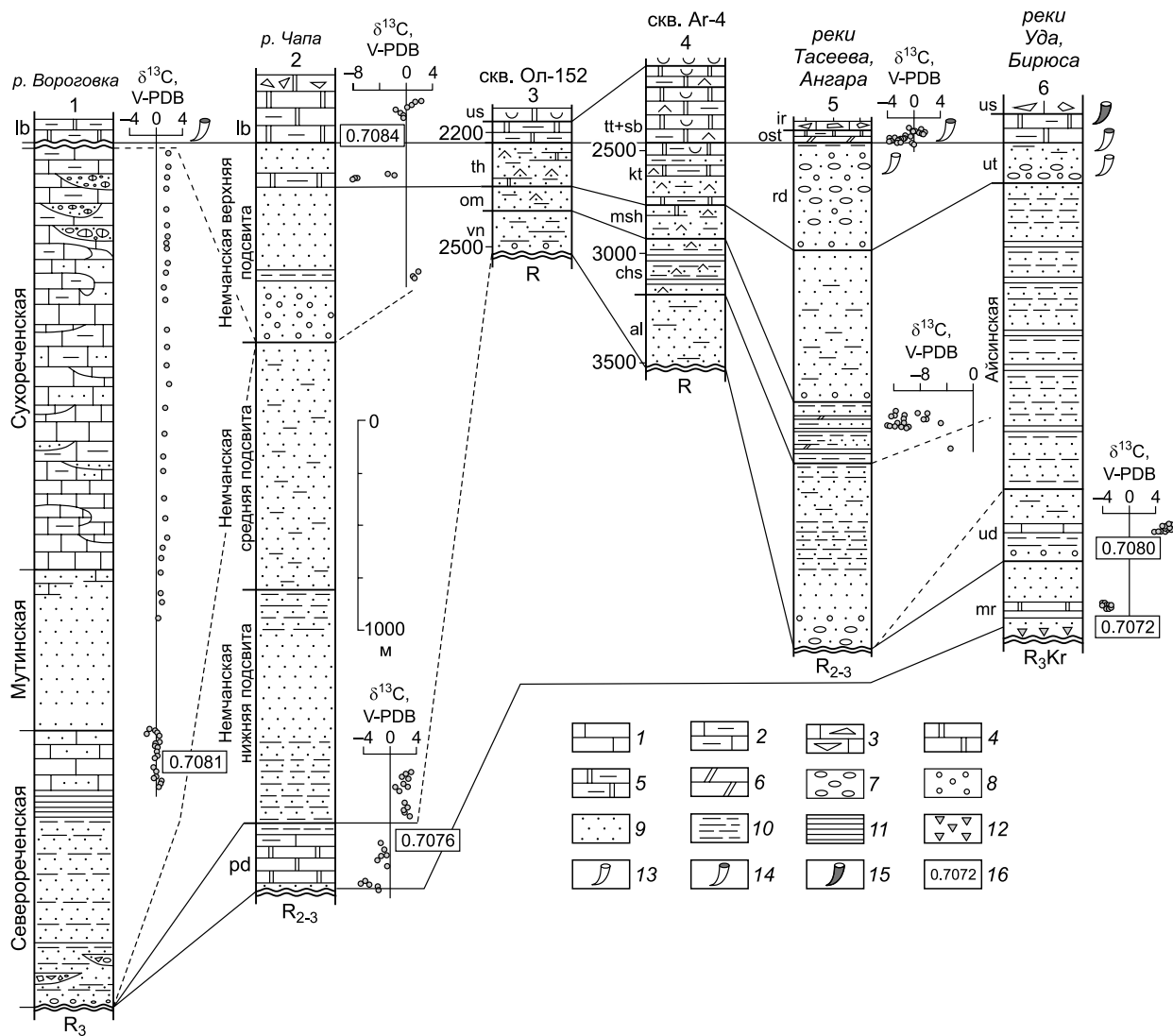


Рис. 6. Корреляция вендских отложений юго-западной части Сибирской платформы с учетом изотопно-геохимических данных (‰).

Местоположение разрезов см. на рис. 1. Изотопно-геохимические данные: Вороговский прогиб — [Вишневская и др., 2017; Кочнев и др., 2019]; Тейско-Чапский прогиб — [Покровский и др., 2012]; юг Енисейского кряжа — [Хоментовский и др., 1998] и данные в этой работе; Присаянье — [Kaufman et al., 2011]. 1 — известняки; 2 — глинистые известняки; 3 — известняковые брекчин; 4 — доломиты; 5 — глинистые доломиты; 6 — доломитовые мергели; 7 — конгломераты; 8 — гравелиты; 9 — песчаники; 10 — алевролиты; 11 — аргиллиты; 12 — диамиктиты; 13—15 — органические остатки [Кочнев, Карлова, 2010]: 13 — томмотского яруса, 14 — зоны *Purella antiqua* верхней части немакит-далдынского яруса, 15 — нижней части немакит-далдынского яруса; 16 — минимальные значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в карбонатных осадочных породах. Индексы свит: lb — лебяжинская, pd — подъемская, us — усольская, tt — тэтэрская, sb — собинская, th — тохомская, om — оморинская, vn — ванаварская, kt — катангская, msh — мошакская, chs — чистяковская, al — аleshинская, ir — иркинеевская, ost — островная, rd — редколесная, ut — устьтагульская, ud — удинская, mr — марнинская. Кг — карагасская серия.

МСШ		ОСШ		Вороговский прогиб	Тейско-Чапский прогиб	Нижнеангарский прогиб	Внутренние районы	Присяянский прогиб	
Кембрий	Терренувий	Форт.	Ярус 2	Лебяжинская			Иркинеевская	Усольская	
				Эдиакарий	Венд	верхний	Нем.-далд.	Томм.	530
541	Редколесная	Катангская/Оморинская							
550			Мошакловская						Оскобинская/Тохомская
560	Чистяковская	Ванаварская							
580			Алешинская						Оселковская серия
600	Подъемская	Удинская							
635			Марнинская	Оселковская серия					
640									
Криогений	Верхний рифей			R ₃	R ₂₋₃	PR ₁ – R ₂₋₃	R ₃ Kr		

Рис. 7. Стратиграфическая схема вендских отложений краевых прогибов юго-западной части Сибирской платформы.

МСШ — Международная стратиграфическая шкала, ОСШ — Общая стратиграфическая шкала, Форт. — фортуновский ярус, Нем.-далд. — немакит-далдынский региоярус, Томм. — томмотский ярус, ворог. с. — вороговская серия, Кг — карагасская серия.

струированными для ванаварской свиты непского горизонта прилегающих районов: в ней, как и в алешинско-чистяковском сиквенсе, выделяются тракт низкого стояния в нижней части, трансгрессивный тракт в средней и тракт высокого стояния моря в верхней части разреза [Кочнев, 2008]. При этой корреляции, на первый взгляд, вызывает сомнение сопоставление аллювиальных отложений мошакловской свиты с терригенно-карбонатно-эвапоритовыми осадками оскобинской свиты тирского горизонта. Однако именно такая смена фаций по латерали, от аллювиальных через дельтовые к мелководной себхе, прослежена при корреляции одновозрастных отложений от севера Енисейского кряжа к западному склону Байкитской антеклизы. В этом пересечении верхняя часть немчанской свиты, выделяемой в обнажениях, сопоставляется с оморинской и тохомской свитами и далее к востоку с оскобинской и катангской свитами в глубоких скважинах [Стратиграфия..., 2005; Мельников, 2009]. В Нижнем Приангарье в скв. Агалеевская-4 и в других в мошакловской свите, как и в оскобинской свите тирского горизонта, ангидрит и примесь доломита в цементе встречаются в большом количестве [Кочнев и др., 2007; Тасеевская..., 2018].

Полученные С-изотопные данные для чистяковской свиты позволяют пересмотреть корреляцию вендских отложений вдоль обнаженной юго-западной окраины Сибирского кратона (рис. 7). Ранее предполагалось, что этот уровень, маркирующий выраженную трансгрессию, одновозрастен нижней части оселковской серии Присяянья (марнинская и удинская свиты) и нижней части чапской серии севера Енисейского кряжа (подъемская свита) [Верниковский и др., 2009; Советов, 2018]. Однако С-изотопные характеристики этих отложений коренным образом отличаются: для подъемской свиты, как и для марнинской свиты, значения $\delta^{13}\text{C}$ лежат в интервале $-4...0\text{‰}$, тогда как для пачки известняков в верхней части удинской свиты значения $\delta^{13}\text{C}$ составляют $+5...+7\text{‰}$ [Kaufman et al., 2011; Покровский и др., 2012]. Наиболее логичным объяснением этого является более древний в сравнении с тасеевской серией возраст подъемской и удинской свит. Трансгрессивно залегающие карбонатные осадочные толщи низов оселковской и чапской серий, скорее всего, имеют раннеэдиакарский (древнее 580 млн лет) возраст и соответствуют менее амплитудному в сравнении с событием Шурам-Вонока негативному экскурсу EN1 или EN2 и разделяющему их крупному интервалу с положительными значениями $\delta^{13}\text{C}$ (см. рис. 6). Тасеевская серия может быть сопоставлена лишь с верхней частью оселковской серии в объеме айсинской свиты и с верхней частью чапской серии в объеме немчанской свиты (см. рис. 6, 7). Вероятным аналогом всей или только верхней части тасеевской серии может быть также вороговская серия, развитая в одноименном прогибе на северо-западе Енисейского кряжа. Она характеризуется в своей верхней и нижней части значениями $\delta^{13}\text{C} = -1...+2\text{‰}$ и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7081-0.7082$, характерными для позднего венда [Вишневецкая и др., 2017; Кочнев и др., 2019].

Палеотектонические следствия. Уточненная корреляция вендских отложений вдоль юго-западной окраины Сибирской платформы (см. рис. 7) показывает, что после длительного предвендского перерыва, во время которого происходило формирование неопротерозойской складчато-покровной струк-

туры Енисейского кряжа [Верниковский и др., 2009], осадконакопление в разных частях палеобассейна началось в различное время. Раньше всего начал формироваться Тейско-Чапский прогиб на современном севере Енисейского кряжа. Здесь осадочные и вулканогенно-осадочные толщи чингасанской серии и ее аналогов с максимальным возрастом около 750—700 млн лет [Ножкин и др., 2007; Покровский и др., 2012] залегают с угловым несогласием на отложениях среднего рифея либо на гранитах среднего неопротерозоя. Свидетельства более раннего рифтогенеза и формирования вулканогенно-осадочных толщ с возрастом около 780 млн лет отмечаются и на юге Енисейского кряжа [Ножкин и др., 2011].

В Бирюсинском Присяянье крупный перерыв отмечается в подошве марнинской свиты оселковой серии, осадочная последовательность которой начинается с ледниковых отложений, сопоставляемых с глобальным оледенением Марино (650—635 млн лет) [Советов, Комлев, 2005]. Это оледенение не фиксируется в более западных разрезах платформы, но прослеживается восточнее – в Прибайкалье, на Патомском нагорье и в центральных ее районах [Советов, Комлев, 2005; Чумаков и др., 2013; Кочнев и др., 2015]. На юге Енисейского кряжа и в прилегающих частях внутренних районов вендское осадконакопление началось не ранее 580—600 млн лет назад, хотя не исключено присутствие более древних толщ в погребенных частях прогибов [Кочнев и др., 2007; Ножкин и др., 2011]. И наконец, в Вороговском прогибе на северо-западе Енисейского кряжа осадконакопление после перерыва началось лишь в середине позднего венда [Вишневская и др., 2017; Кочнев и др., 2019].

Таким образом, позднерифейско-вендский (криогений-эдиакарский) краевой прогиб вдоль юго-западной окраины Сибирской платформы на протяжении большей части своего существования, а именно до второй половины позднего венда (~550—540 млн лет), не развивался как единая структура, а имел сегментированное строение с резко различающимся стратиграфическим объемом осадочного чехла. Более выраженное влияние локальных тектонических условий на осадконакопление в каждом сегменте на фоне имевших место эвстатических колебаний уровня моря, скорее всего, имеет внешнее по отношению к Сибирской платформе происхождение. Одной из возможных причин, например, могут являться синседиментационные сдвиговые смещения вдоль юго-западного фланга Сибирского кратона, обусловившие тектонический режим, характерный для бассейнов пулл-апарт на ранних стадиях развития.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы могут быть сведены к следующему:

1. Получена С- и О-изотопная характеристика для карбонатных пород верхней половины чистяковской свиты тасеевской серии венда юга Енисейского кряжа. Они характеризуются преобладанием весьма низких значений $\delta^{13}\text{C}$ от -7 до -13 ‰ V-PDB на фоне нормальных для докембрийских осадочных пород значений $\delta^{18}\text{O}$ от -5.4 до -2.7 ‰ V-PDB (25.3...28.1 ‰ V-SMOW). Из-за высокого содержания некарбонатного материала геохимические критерии сохранности изотопных систем не дают возможности оценить степень постседиментационных изменений, однако ряд литологических признаков указывают на первично-осадочное происхождение карбонатных пород и на пригодность полученных значений для дальнейших хемотратиграфических построений.

2. Аномально низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ в доломитах чистяковской свиты позволяют сопоставлять их с уровнем глобальной позднеэдиакарской С-изотопной аномалии Шурам-Вонока, имеющей возраст 551—580 млн лет. Этот вывод подтверждается минимальными возрастными обломочными цирконами из чистяковской свиты, составляющими 580 млн лет. Данная негативная аномалия занимает близкое стратиграфическое положение в сравнении с аналогичными негативными С-изотопными событиями юга Сибирской платформы. При этом стратиграфический объем венда на юге Енисейского кряжа, вероятно, существенно меньше, чем в разрезе Патомского нагорья, Присяянья и в некоторых других регионах.

3. Изотопные характеристики и новые данные о возрасте тасеевской серии позволяют уточнить ее корреляцию с другими стратиграфическими подразделениями венда юго-запада Сибирской платформы. В частности, алешинская и чистяковская свиты соответствуют непскому, а мошакская — тирскому горизонту внутренних районов. Кроме того, тасеевская серия соответствует лишь верхней части чапской серии севера Енисейского кряжа и оселковой серии Присяянья, а не является их полным аналогом, как считалось ранее.

4. Различное время заложения неопротерозойского краевого прогиба на юго-западе Сибирского кратона, вероятно, определяется различным тектоническим режимом в разных его участках. Более сложное, чем предполагалось ранее, строение вендских осадочных систем в этой части платформы приводит к существенным уточнениям региональных и местных стратиграфических схем, актуальных для поиска и прогнозирования источников углеводородного сырья.

Авторы благодарны Д.Б. Кочневу за помощь при проведении полевых работ, а также рецензентам А.Б. Кузьмичеву и Е.М. Хабарову за ряд замечаний и предложений, которые способствовали улучшению первоначального варианта рукописи.

Тематика исследований скоординирована с планами НИР ИГМ СО РАН, ИНГГ СО РАН и ГИН РАН. Геохимические и изотопные исследования карбонатных осадочных пород проведены при поддержке грантов РФФИ № 19-05-00427 и 17-05-00418, а также РФФИ № 17-17-01241. Геохронологическое изучение обломочных цирконов осуществлялось при поддержке грантов РФФИ № 18-05-00234 и 18-35-20025.

ЛИТЕРАТУРА

Антипова О.А., Пошибаев В.В. Абсолютный возраст отложений тасеевской серии в зоне Ангарских складок // Новые технологии в газовой промышленности (газ, нефть, энергетика). Тезисы докладов XII Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов. М., РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2017, с. 4.

Верниковский В.А., Казанский А.Ю., Матушкин Н.Ю., Метелкин Д.В., Советов Ю.К. Геодинамическая эволюция складчатого обрамления и западная граница Сибирского кратона в неопротерозое: геолого-структурные, седиментологические, геохронологические и палеомагнитные данные // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (4), с. 502—519.

Вишневская И.А., Летникова Е.Ф., Прошенкин А.И., Маслов А.В., Благовидов В.В., Метелкин Д.В., Прияткина Н.С. Вороговская серия венда Енисейского кряжа: хемотратиграфия и данные U-Pb датирования обломочных цирконов // ДАН, 2017, т. 476, № 3, с. 311—315.

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.

Голубкова Е.Ю., Раевская Е.Г., Кузнецов А.Б. Нижневендские комплексы микрофоссилий Восточной Сибири в решении стратиграфических проблем региона // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2010, т. 18, № 4, с. 3—27.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист О-46 – Красноярск. Объяснительная записка. СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 2009, 500 с.

Гутина О.В., Сидорас С.Д. Результаты геохронологических исследований отложений венда и протерозоя юго-западной части Сибирской платформы // Стратиграфия и нефтегазоносность венда—верхнего рифея юго-западной части Сибирской платформы. Красноярск, КНИИГиМС, 2001, с. 83—99.

Виноградов В.И., Покровский Б.Г., Пустыльников А.М., Муравьев В.И., Шатский Г.В., Буякайте М.И., Луканин А.О. Изотопно-геохимические особенности и возраст верхнедокембрийских отложений запада Сибирской платформы // Литология и полезные ископаемые, 1994, № 4, с. 49—76.

Кочнев Б.Б. Обстановки осадконакопления ванаварской свиты венда Сибирской платформы // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2008, т. 16, № 1, с. 22—33.

Кочнев Б.Б., Карлова Г.А. Новые данные по биостратиграфии немакит-далдынского яруса венда юга Сибирской платформы // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2010, т. 18, № 5, с. 28—41.

Кочнев Б.Б., Наговицин К.Е., Файзуллин М.Ш. Байкалий и венд Нижнего Приангарья (юго-запад Сибирской платформы) // Геология и геофизика, 2007, т. 48 (11), с. 1201—1209.

Кочнев Б.Б., Покровский Б.Г., Прошенкин А.И. Верхнепротерозойский гляциокомплекс центральных областей Сибирской платформы // ДАН, 2015, т. 464, с. 448—451.

Кочнев Б.Б., Покровский Б.Г., Кузнецов А.Б. Изотопно-геохимическая характеристика, корреляция и возраст чистяковской свиты венда юга Енисейского кряжа // Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогения. Материалы Третьей Международной конференции. Новосибирск, ИГМ СО РАН, 2016, с. 109—110.

Кочнев Б.Б., Покровский Б.Г., Кузнецов А.Б., Марусин В.В. С- и Sr-изотопная хемотратиграфия карбонатных отложений венда—нижнего кембрия центральных районов Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2018, т. 59, (6), с. 731—755.

Кочнев Б.Б., Кузнецов А.Б., Покровский Б.Г., Ситкина Д.Р., Смирнова З.Б. С- и Sr-изотопная хемотратиграфия и Pb-Pb возраст карбонатных отложений вороговской серии (неопротерозой), северо-запад Енисейского кряжа // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2019, т. 27, № 5, с. 97—112.

Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. Возможности стронциевой изотопной хемотратиграфии в решении проблем стратиграфии верхнего протерозоя (рифей и венда) // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2014, т. 22, № 6, с. 3—25.

Мельников Н.В. Корреляция венда и верхов рифея смежных районов Байкитской антеклизы и Енисейского кряжа Сибирской платформы // Геология и проблемы поисков новых крупных месторождений нефти и газа в Сибири. Ч. 1. Новосибирск, СНИИГиМС, 1996, с. 74—76.

Мельников Н.В. Венд-кембрийский солеродный бассейн Сибирской платформы (стратиграфия, история развития). Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2009, 148 с.

Мельников Н.В., Смирнов Е.В., Худорожков В.Г., Носкова Е.С. Особенности геологического строения Нижнеангарского самостоятельного нефтегазоносного района // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири, 2012, т. 12, № 4, с. 46—53.

Ножкин А.Д., Постников А.А., Наговицин К.Е., Травин А.В., Станевич А.М., Юдин Д.В. Чингасанская серия неопротерозоя Енисейского кряжа: новые данные о возрасте и условиях формирования // Геология и геофизика, 2007, т. 48 (12), с. 1307—1320.

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

Подковыров В.Н., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Виноградов Д.П., Козлов В.И., Кислова И.В. Изотопный состав карбонатного углерода в стратотипе верхнего рифея (каратавская серия Южного Урала) // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 1998, т. 6, № 4, с. 3—19.

Покровский Б.Г., Мележик В.А., Буякайте М.И. Изотопный состав С, О, Sr и S в позднекембрийских отложениях патомского комплекса, Центральная Сибирь. Сообщение 1. Результаты, изотопная стратиграфия и проблемы датирования // Литология и полезные ископаемые, 2006, № 5, с. 505—530.

Покровский Б.Г., Буякайте М.И., Кокин О.В. Геохимия изотопов С, О, Sr и хемотратиграфия неопротерозойских отложений севера Енисейского кряжа // Литология и полезные ископаемые, 2012, № 2, с. 197—220.

Пятилетов В.Г., Карлова Г.А. Микрофитологическая характеристика чистяковской свиты тасеевской серии Енисейского кряжа // Стратиграфия позднего докембрия и раннего палеозоя Средней Сибири. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1983, с. 95—99.

Решения Всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертичной системе Средней Сибири. Часть 1 (верхний протерозой и нижний палеозой). Новосибирск, СНИИГ-ГиМС, 1983, 215 с.

Рудько С.В., Петров П.Ю., Кузнецов А.Б., Шацилло А.В., Петров О.Л. Уточненный тренд $\delta^{13}\text{C}$ в дальнетайгинской серии Уринского поднятия (венд, юг Средней Сибири) // ДАН, 2017, т. 477, № 5, с. 590—594.

Семихатов М.А. Рифей и нижний кембрий Енисейского кряжа. М., Изд-во АН СССР, 1962, 242 с.

Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Подковыров В.Н., Бартли Дж., Давыдов Ю.В. Юдомский комплекс стратотипической местности: С-изотопные хемотратиграфические корреляции и соотношения с вендом // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2004, т. 12, № 5, с. 3—28.

Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Чумаков Н.М. Изотопный возраст границ общих стратиграфических подразделений верхнего протерозоя (рифей и венда) России: эволюция взглядов и современная оценка // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2015, т. 23, № 6, с. 16—27.

Советов Ю.К. Верхнекембрийские песчаники юго-запада Сибирской платформы. Новосибирск, Наука, 1977, 295 с.

Советов Ю.К. Тиллиты вблизи основания стратотипического разреза тасеевской серии венда (Сибирская платформа) // Геология и геофизика, 2015, т. 56 (11), с. 1934—1944.

Советов Ю.К. Седиментология и стратиграфическая корреляция вендских отложений на юго-западе Сибирской платформы: выдающийся вклад внешнего источника кластического материала в образование осадочных систем // Литосфера, 2018, т. 18, № 1, с. 20—45.

Советов Ю.К., Благовидов В.В. Реконструкция бассейна осадконакопления (на примере вендского передового прогиба — «форландового бассейна» юго-запада Сибирской платформы) // Осадочные бассейны: методика изучения, строение и эволюция. М., Научный мир, 2004, с. 159—212.

Советов Ю.К., Комлев Д.А. Тиллиты в основании оселковой серии Присяянья и нижняя граница венда на юго-западе Сибирской платформы // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2005, т. 13, № 4, с. 3—34.

Советов Ю.К., Благовидов В.В., Чигвинцева Л.А. Стратиграфия и фации вендских отложений на Енисейском кряже и в прилегающих районах Сибирской платформы // Геология и проблемы поисков новых крупных месторождений нефти и газа в Сибири. Ч. 1. Новосибирск, СНИИГГиМС, 1996, с. 44—48.

Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления / Ред. Н.В. Мельников. Новосибирск, Изд-во «Гео», 2005, 428 с.

Стратиграфический кодекс России. Издание третье, исправленное и дополненное. СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 2019, 96 с.

Тасеевская серия Восточной Сибири (стратиграфия, литология, условия формирования, нефтегазоносность) / Ред. А.И. Варламов. М., Изд-во ФГБУ «ВНИГНИ», 2018, 328 с.

Хабаров Е.М., Пономарчук В.А. Изотопы углерода в верхнерифейских отложениях байкальской серии Западного Прибайкалья: стратиграфические следствия // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (10), с. 1019—1037.

Хоментовский В.В., Карлова Г.А. Граница немакит-далдынского и томмотского ярусов (венд—кембрий) Сибири // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2002, т. 10, № 3, с. 13—34.

Хоментовский В.В., Шенфиль В.Ю., Якшин М.С., Бутаков Е.П. Опорные разрезы отложений верхнего докембрия и нижнего кембрия Сибирской платформы. М., Наука, 1972, 356 с.

Хоментовский В.В., Файзуллин М.Ш., Карлова Г.А. Немакит-далдынский ярус венда юго-запада Сибирской платформы // ДАН, 1998, т. 362, № 6, с. 813—815.

Чумаков Н.М., Капитонов И.Н., Семихатов М.А., Леонов М.В., Рудько С.В. Вендский возраст верхней части патомского комплекса Средней Сибири: U-Pb LA-ICP-MS датировки обломочных цирконов никольской и жербинской свит // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2011, т. 19, № 2, с. 115—119.

Чумаков Н.М., Семихатов М.А., Сергеев В.Н. Опорный разрез вендских отложений юга Средней Сибири // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2013, т. 21, № 4, с. 26—51.

Шемин Г.Г., Терлеев А.А., Постников А.А., Токарев Д.А., Кочнев Б.Б. Особенности строения разреза вендско-нижнекембрийских отложений Сибирской платформы, вскрытых Чайкинской параметрической скв. 279 // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири, 2011, № 4, с. 21—29.

Шенфиль В.Ю. Поздний докембрий Сибирской платформы. Новосибирск, Наука, 1991, 183 с.

Dickinson W.R., Gehrels G.E. Use of U-Pb ages of detrital zircons to infer maximum depositional ages of strata: A test against a Colorado Plateau Mesozoic Database // Earth Planet. Sci. Lett., 2009, v. 288, p. 115—125.

Griffin W. L., Powell W. J., Pearson N. J., O'Reilly S. Y. GLITTER: data reduction software for laser ablation ICP-MS / Ed. P. J. Sylvester. Laser ablation ICP-MS in the Earth sciences: current practices and outstanding issues // Mineral. Assoc. Canada. Short Course, 2008, v. 40, p. 308—311.

Grotzinger J.P., Fike D.A., Fisher W.W. Enigmatic origin of the largest-known carbon isotope excursion in Earth's history // Nat. Geosci., 2011, v. 4, p. 285—292.

International Chronostratigraphic Chart 2018. <http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale>

Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology // Chem. Geol., 2004, v. 211, p. 47—69.

Kaufman A.J., Sovetov J.K., Peek S., Sievers N., Agbebakun K. Carbon, oxygen and strontium isotope stratigraphy of the Oselok Group, Sayan Mountains, Siberia // Neoproterozoic sedimentary basins: stratigraphy, geodynamics and petroleum potential. Proceedings of the International conference (Novosibirsk, 30 July — 02 August, 2011). Novosibirsk, 2011, p. 33—34.

Liu A.G., Brasier M.D., Bogolepova O.K., Raevskaya E.G., Gubanov A.P. First report of newly discovered Ediacaran biota from the Irkineeva Uplift, East Siberia // Newsl. Stratigr., 2013, v. 46, p. 95—110.

Ludwig K.R. ISOPLOT 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley, Berkeley Geochronology Center, California, 2003.

Pelechaty Sh.M. Integrated chronostratigraphy of the Vendian System of Siberia: implications for a global stratigraphy // J. Geol. Soc. London, 1998, v. 155, p. 957—973.

Priyatkina N., Collins W.J., Khudoley A.K., Letnikova E.F., Huang H.-Q. The Neoproterozoic evolution of the western Siberian Craton margin: U-Pb-Hf isotopic records of detrital zircons from the Yenisey Ridge and the Prisayan Uplift // Precambrian Res., 2018, v. 305, p. 197—217.

Van Achterbergh E., Ryan C.G., Jackson S.E., Griffin W.L. LA-ICP-MS in the Earth sciences — Appendix 3, data reduction software for La-ICP-MS / Ed. P.J. Sylvester. Short course // St. John's Mineral. Assoc. Canada, 2001, v. 29, p. 239—243.

Vishnevskaya I.A., Letnikova E.F., Vetrova N.I., Kochnev B.B., Dril S.I. Chemostratigraphy and detrital zircon geochronology of the Neoproterozoic Khorbusuonka Group, Olenek Uplift, Northeastern Siberian platform // Gondwana Res., 2017, v. 51, p. 255—271.

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

Xiao S., Narbonne G.M., Zhou C., Laflamme M., Grazhdankin D.V., Moczydlowska-Vidal M., Cui H. Towards an Ediacaran Time Scale: problems, protocols, and prospects // Episodes, 2016, v. 39, № 4, p. 540—555.

*Рекомендована к печати 28 августа 2019 г.
Н.В. Сенниковым*

*Поступила в редакцию 17 апреля 2019 г.
после доработки — 9 июля 2019 г.*