

УДК 550.93:551.7:552.54

ВЕРХНИЙ РИФЕЙ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА: Sr-ХЕМОСТРАТИГРАФИЯ И Pb–Pb ВОЗРАСТ ИЗВЕСТНЯКОВ ТУНГУСИКСКОЙ И ШИРОКИНСКОЙ СЕРИЙ

© 2019 г. А. Б. Кузнецов^{1, *}, Б. Б. Кочнев^{2, 3}, И. М. Васильева¹, Г. В. Овчинникова¹

¹ Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

³ Новосибирский государственный университет, Новосибирск

*e-mail: antonbor9@mail.ru

Поступила в редакцию 05.03.2019 г.

Принята к публикации 28.03.2019 г.

Определен Pb–Pb изотопный возраст и получена Sr-изотопная характеристика осадочных известняков верхнего рифея юга Енисейского кряжа на западной окраине Сибирской платформы. Возраст карбонатных осадков дадыктинской свиты тунгусикской серии в Каменской фациальной зоне на востоке Енисейского кряжа составляет 1020 ± 20 млн лет. Возраст известняков горевской свиты широкинской серии в Глушихинской фациальной зоне на западе региона оценивается в 1020 ± 70 млн лет. Отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в известняках дадыктинской свиты заключено в пределах 0.70536–0.70590, а горевской – 0.70552–0.70578. Это совпадает с понижением отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в океане сразу после кульминационной фазы гренвильской орогении. Корреляция широкинской серии с ослянской серией Каменской зоны в сочетании с другими данными ограничивает время накопления тунгусикской, широкинской и ослянской серий интервалом 1030–950 млн лет. Изотопный возраст границы среднего и верхнего рифея в основании тунгусикской серии Енисейского кряжа оценивается как 1030 млн лет, что согласуется с возрастом этого рубежа в разрезах Туруханского поднятия и Учуро-Майского региона Сибири. Установлено, что большая часть верхнего рифея (неопротерозоя) в осадочной летописи Енисейского кряжа отсутствует. Наблюдаемая фациальная зональность рифейских отложений Енисейского кряжа отражает конфигурацию древнего осадочного бассейна, который существовал на западной окраине Сибирской платформы задолго до коллизионных событий, сопровождавшихся гранитообразованием и метаморфизмом, в неопротерозое.

Ключевые слова: рифей, неопротерозой, Sr-хемостратиграфия, Pb–Pb геохронология, Сибирская платформа, Енисейский кряж.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-592X27546-62>

ВВЕДЕНИЕ

Терригенно-карбонатные отложения рифея широко представлены на Сибирской платформе (Семихатов, Серебряков, 1983; Хоментовский др., 1985; Шенфиль, 1991). Наиболее полные и мощные последовательности вскрыты на ее западной окраине в пределах Туруханского поднятия и Енисейского кряжа, на востоке в Учуро-Майском регионе, а также на севере на Анабарском и Оленекском поднятиях. Эти осадочные последовательности, слагающие внутриплатформенные и окраинные прогибы, стали основой для разработки стратиграфии позднего докембрия Сибири. Сходство литологического состава и выявленные перерывы были главными

критериями для корреляции и выделения пяти общесибирских горизонтов рифея (Хоментовский и др., 1985, 2008; Шенфиль, 1991).

Границы выделенных подразделений сопоставлялись с “крупными структурными перестройками” или “пиками планетарной и региональной плутонической активности”, а возраст границ оценивался, “исходя из представлений о цикличности магматических эпох” (Хоментовский и др., 1985; Шенфиль, 1991). Такими рубежами могли быть завершающие этапы складчатости (например, гренвильской или байкальской) или этапы активизации гранитного/основного магматизма. После выявления таких рубежей считалось, что осадочная после-

довательность накапливалась между этими эпохами и таким образом в полном объеме отражает стратиграфическую летопись. Однако несинхронность формирования отложений в удаленных структурно-фациальных зонах, различная скорость осадконакопления и отсутствие вулканических пород во многих разрезах значительно осложняют корреляцию рифейских последовательностей Сибири. Одним из решений этого противоречия стали развиваемые в последние десятилетия методы изотопной хемотратиграфии и геохронологии осадочных пород, которые позволили получать прямую информацию о времени образования стратиграфических подразделений и на этой основе проводить их корреляцию (Семихатов, 1995).

Для осадочных карбонатных пород из рифейских разрезов Учуро-Майского региона и Туруханского поднятия было получено несколько Pb–Pb изотопно-геохронологических оценок возраста и представительные C- и Sr-хемотратиграфические данные (Овчинникова и др., 1995, 2001; Bartley et al., 2001; Семихатов и др., 2000, 2002). Эти данные внесли важные уточнения в региональные стратиграфические схемы верхнего докембрия и закрепили возраст рубежа среднего и позднего рифея, установленного в Сибири на биостратиграфической основе (Семихатов и др., 2015). В сочетании с U–Pb датировками по обломочным цирконам, они позволили существенно скорректировать представления о возрасте и длительности накопления рифейских осадочных последовательностей в пределах Сибирской платформы (Rainbird et al., 1998; Khudoley et al., 2001; Семихатов и др., 2002; Kuznetsov et al., 2013; Зайцева и др., 2016, 2017; Горохов и др., 2019). Стало ясно, что поздний рифей в этих регионах представлен не в полном стратиграфическом объеме, поскольку отложения с возрастом 1000–600 млн лет здесь по большей части отсутствуют.

В ходе разномасштабной геологической съемки Енисейского кряжа, проводившейся во второй половине XX века, было изучено большое количество естественных разрезов рифея. По составу пород, их мощности и фациальным особенностям эти разрезы были сгруппированы в несколько структурно-фациальных (формационных) зон (Решения..., 1983; Хабаров, 1994; Хоментовский, 2007). Данные о распределении микробиалитов (строматолитов и микрофитоцитов) и микрофоссилий были использованы для корреляции с разрезами уральского стратотипа рифея и сибирского гипостратотипа рифея. На основе валовых U–Pb, K–Ar и Rb–Sr датировок осадочных пород и ассоциирующихся с ними интрузивных комплексов был предложен относительно надежный для того времени геохроно-

логический каркас осадочных последовательностей рифея (Семихатов, 1962; Кириченко, 1967; Постельников, 1980; Хоментовский и др., 1985; Шенфиль, 1991).

Главной стратиграфической парадигмой для довендских отложений Енисейского кряжа в конце XX века стала точка зрения, что рифейский разрез здесь, как и в уральском стратотипе, целиком охватывает интервал от нижнего до терминального рифея (Решения..., 1983; Хоментовский и др., 1985; Шенфиль, 1991). Предполагалось, что докембрийские осадочные толщи Енисейского кряжа накапливались в течение нескольких сотен миллионов лет с небольшими перерывами. Выявленная фациальная зональность в рифейских отложениях, по мнению большинства исследователей, отражала переход от эпиплатформенных к мио- и эвгеосинклинальным обстановкам (или в терминах плитной тектоники – к пассивной и активной окраине). Это аргументировалось как увеличением доли вулканогенного материала в составе отложений, так и возрастанием степени дислоцированности и метаморфизма осадочных пород с востока на запад (Хабаров, 1994; Хоментовский, 2007). Наиболее детальные фациальные построения для рифейских отложений были сделаны для восточных районов Енисейского кряжа, отвечающих эпиплатформенным и склоновым частям палеобассейна (Хабаров, 1994; Хабаров, Вараксина, 2011; Стратиграфия..., 2005). Крупные тектонические нарушения, разделяющие выделенные зоны, рассматривались как второстепенные по отношению к фациальным поясам.

С развитием изотопных методов на рубеже XX–XXI веков стало очевидно, что большинство полученных ранее геохронологических данных не отвечают современным требованиям (Хоментовский, 2007; Государственная..., 2009; Верниковский и др., 2016). Было показано, что строматолиты и микрофитоциты имеют значительную фациальную зависимость и не всегда могут рассматриваться в качестве руководящих форм для расчленения и корреляции отложений (Хоментовский и др., 2008). Новые данные о составе и возрасте гранитоидных комплексов Енисейского кряжа показали, что их можно рассматривать как индикаторы поэтапного присоединения к окраине Сибирского кратона нескольких крупных блоков (террейнов) в течение большей части неопротерозоя (Верниковский и др., 2009 и ссылки в работе). Анализ палеомагнитных данных показал, что смещение террейнов вдоль крупных разломов могло достигать сотен и даже тысяч километров (Верниковский и др., 2016). Таким образом, возникла новая точка зрения, согласно которой рифейские структурно-фациальные зоны не отражают фациальную

изменчивость в пределах одного палеобассейна, а характеризуют блоки (террейны), являющиеся аллохтонными по отношению к Сибирскому кратону и друг к другу.

Дефицит методически надежных изотопно-геохронологических данных о возрасте рифейских отложений Енисейского кряжа привел к появлению взаимоисключающих схем корреляции и противоречивых моделей тектонической эволюции. Широкое развитие мощных карбонатных отложений в составе рифейских разрезов Енисейского кряжа открывает новые возможности для прямого определения возраста осадочных пород посредством U–Pb (Pb–Pb) и Sr-схемостратиграфического методов. В настоящей работе впервые проведено изотопно-геохронологическое изучение карбонатных пород дадыктинской свиты тунгусикской серии и горевской свиты широкинской серии; определен возраст карбонатных пород в опорных разрезах рифея

в двух структурно-фациальных зонах на юге Енисейского кряжа; проведена корреляция с рифейскими отложениями Туруханского поднятия и Учуро-Майского региона Сибирской платформы, а также уточнена история развития осадочного бассейна на западной окраине Сибирского кратона в позднем докембрии.

СТРАТИГРАФИЯ И ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

Рифейские отложения на территории Енисейского кряжа разделяются на нескольких структурно-формационных зон – Каменскую, Горболовскую, Каитъбинскую, Глушихинскую и Исаковскую (Стратиграфия..., 2005). Восточные зоны характеризуются в целом большей полнотой разреза, меньшей степенью дислоцированности и отсутствием признаков синхронного осадконакоплению магматизма. В западных зонах мощности рифейских отложений редуцированы за счет интенсивных тектонических смещений и широко распространены магматические комплексы (рис. 1).

Каменская зона. В наиболее восточной Каменской структурно-формационной зоне рифейские отложения представлены (снизу вверх) сухопитской, тунгусикской и ослянской сериями суммарной мощностью более 8 км (рис. 2). В официальных схемах сухопитская серия отне-

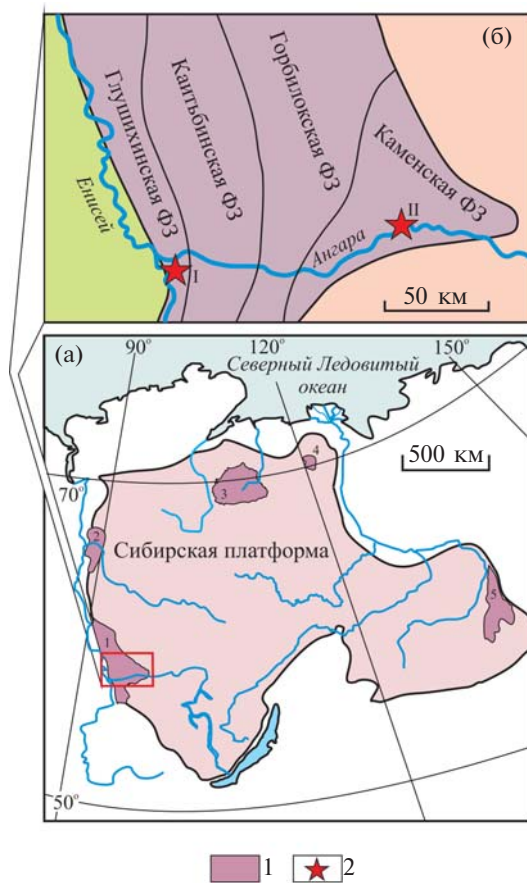


Рис. 1. Районы распространения рифейских отложений на Сибирской платформе (а), схема тектонической зональности юга Енисейского кряжа и положение изученных разрезов (б).

1 – Енисейское поднятие, 2 – Туруханское поднятие, 3 – Анабарское поднятие, 4 – Оленекское поднятие, 5 – Учуро-Майский регион. Изученные разрезы: I – горевская свита широкинской серии, II – дадыктинская свита тунгусикской серии. ФЗ – фациальная зона.

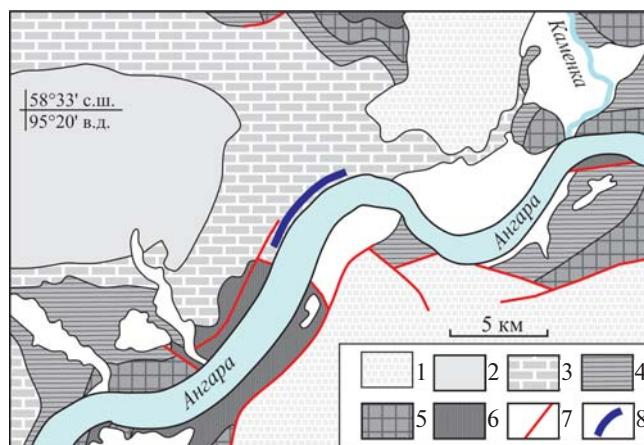


Рис. 2. Геологическая схема южной части Каменской зоны (р. Анагара ниже устья р. Каменка) по материалам Государственной геологической карты масштаба 1 : 200 000.

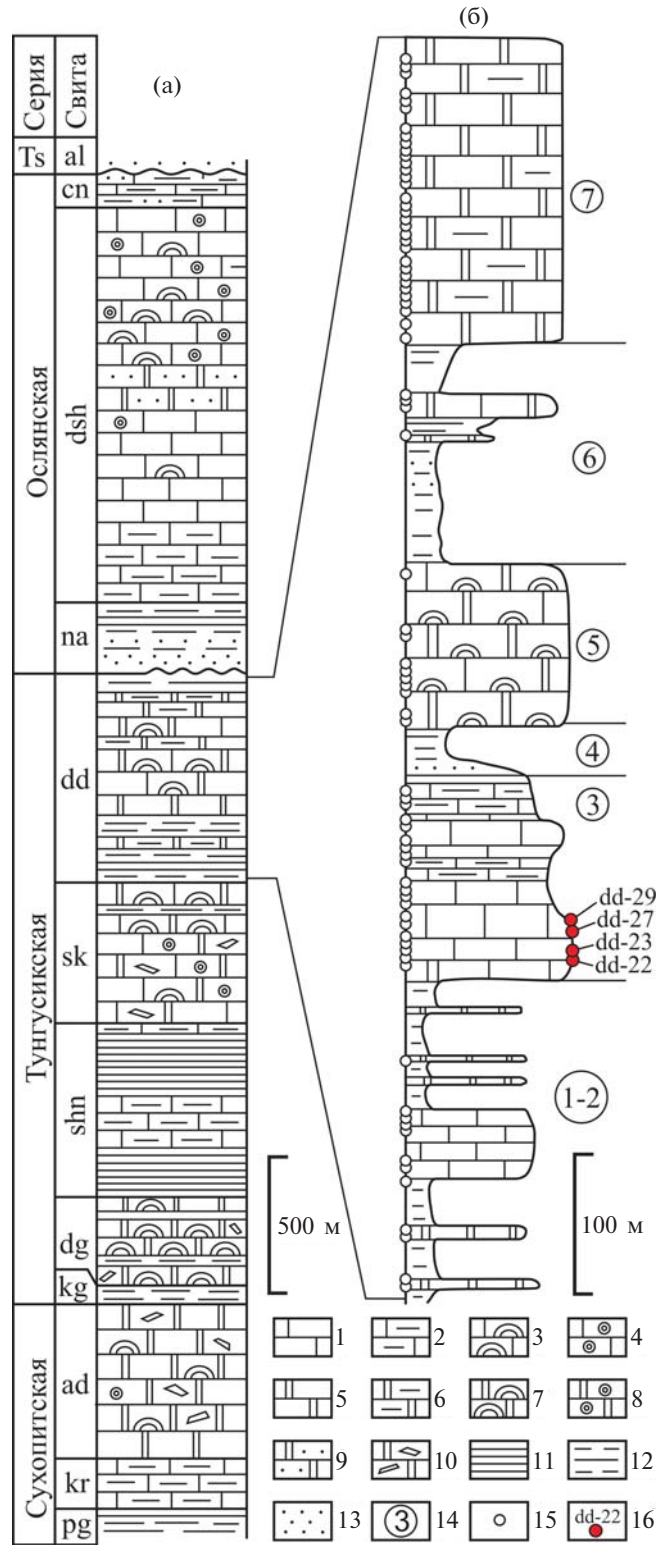
1 – венд–кембрий: тасеевская серия и перекрывающие отложения; 2–6 – верхний рифей: 2 – ослянская серия, нижнеангарская и дашкинская свиты; 3–5 – тунгусикская серия: 3 – киргитейская подсерия, свита серого ключа и дадыктинская свита нерасчлененные; 4 – шунтарская свита; 5 – потоскуйская подсерия, красногорская и джурская свиты нерасчлененные; 6 – сухопитская серия; 7 – тектонические нарушения; 8 – положение изученного разреза дадыктинской свиты в 2.5 км ниже шиверы Шунтарская на р. Ангара.

Рис. 3. (а) Рифейский разрез Каменской структурно-формационной зоны южной части Енисейского кряжа (Стратиграфия..., 2005), (б) строение дадыктинской свиты по правому берегу р. Ангара у шиверы Шунтарская и положение изученных образцов.

1 – известняки, 2 – глинистые известняки, 3 – строматолитовые известняки, 4 – оолитовые известняки, 5 – доломит, 6 – глинистые доломиты, 7 – строматолитовые доломиты, 8 – оолитовые доломиты, 9 – песчаные доломиты, 10 – интракластовые доломиты, 11 – аргиллиты, 12 – алевролиты, 13 – песчаники, 14 – номера пачек дадыктинской свиты по В.Ю. Шенфилю (1991), 15 – положение отобранных образцов, 16 – положение образцов для Pb–Pb геохронологического изучения. Индексы свит: al – аleshинская, sp – чинеульская, dsh – дашкинская, na – нижеангарская, dd – дадыктинская, sk – серого ключа, shn – шунтарская, dg – джурская, kg – красногорская, ad – аладьинская, kr – карточки, pg – погорюйская; Ts – тасеевская серия.

сена к среднему рифею, а тунгусикская и ослянская – к верхнему рифею; отложения нижнего рифея в Каменской зоне неизвестны (Решения..., 1983; Государственная..., 2009). Сухопитская серия в составе кординской, горбилюкской, удерейской, погорюйской, карточки и аладьинской свит сложена в нижней части преимущественно тонкообломочными алюмосиликокластическими породами, формировавшимися в бассейновых и склоновых обстановках (Хабаров, 1994). Верхняя часть сухопитской серии в объеме свит карточки и аладьинской представлена карбонатными отложениями, отражающими переход от склоновых обстановок к глубокому шельфу. Тунгусикская серия включает в себя красногорскую, джурскую, шунтарскую, серого ключа и дадыктинскую свиты (рис. 3), образующие два крупных регрессивных цикла. В нижних частях циклов преобладают глубоководные тонкотерригенные осадки, а в верхних – преимущественно карбонатные шельфовые отложения (Хабаров, 1994). Соотношения между сухопитской и тунгусикской сериями в пределах Каменской зоны согласные (Шенфиль, 1991), тогда как в западных фациальных зонах между ними отмечаются признаки перерыва (Семихатов, 1962). Ослянская серия, залегающая в Каменской зоне на тунгусикской серии с небольшим размывом, представлена базальной терригенной нижеангарской свитой и перекрывающей ее карбонатной дашкинской свитой, которая формировалась в обстановках карбонатного шельфа (Хабаров, 1994; Стратиграфия..., 2005).

В междуречье Ангара–Каменка нижняя часть дадыктинской свиты сложена серыми глинистыми известняками с тонкими прослоями песчаников и алевролитов (рис. 3). Средняя часть свиты содержит пачку строматолитовых доло-



митов с прослоями интракластов и равную по мощности пачку алевропесчаников с прослоями доломитов. Верхняя часть сложена доломитами с глинистой примесью и линзами кремней. Отложения дадыктинской свиты в Каменской зоне формировались преимущественно в обстановках расчлененного шельфа. Строматолитовые

постройки и продукты их разрушения (интракласты) слагали мелководные приподнятые участки дна, а алевроглинистые осадки и отложения мутьевых потоков заполняли депрессии (Хабаров, 1994).

Представления о возрасте сухопитской и тунгусикской серий основываются на немногочисленных и устаревших геохронологических датировках K–Ar методом по глаукониту и U–Pb датировках гранитов, прорывающих отложения тунгусикской серии. Возраст валовых проб аргиллита красногорской свиты и минералогически неизученных глауконитов из джурской свиты заключен в пределах 924–827 млн лет (Лебедев и др., 1980). Верхний возрастной предел тунгусикской серии определяется U–Pb возрастом цирконов из прорывающих гранитов аяхтинского комплекса 760–750 млн лет (Верниковский, Верниковская, 2006). Тунгусикская серия содержит комплексы строматолитов и микрофоссилий, близких к описанным в лахандинской серии Учуро-Майского региона (Шенфильд, 1991; Наговицин, 2001). Это сходство может указывать на то, что возраст тунгусикской серии близок к 1030 млн лет (Семихатов и др., 2000, 2015). Имеющиеся данные по Sr- и C-изотопной хемотратиграфии также дают широкий интервал при оценке возраста отложений тунгусикской и осланской серий от 1000 до 750 млн лет (Хабаров и др., 1999; Khabarov et al., 2002).

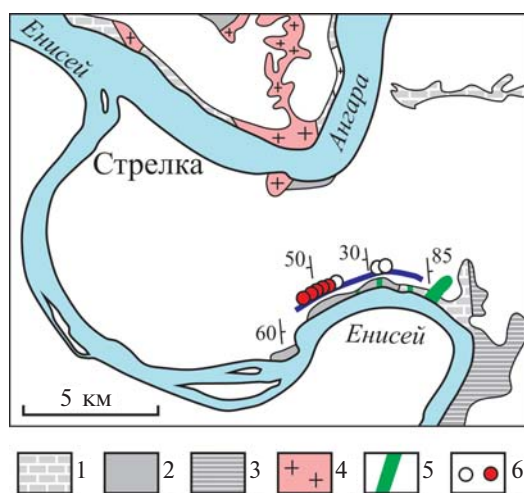


Рис. 4. Геологическая схема устьевой части р. Ангара по материалам Государственной геологической карты масштаба 1 : 200000 и положение изученного разреза на р. Енисей в 15 км выше устья р. Ангара (скала Савинский Бык).

1, 2 – горевская свита: 1 – средняя подсвита, 2 – верхняя подсвита; 3 – сухохребтинская свита; 4 – граниты, стрелковский комплекс (718 ± 9 млн лет; Верниковская и др., 2003); 5 – долериты, степановский комплекс (626 ± 4 млн лет; Метелкин, 2012); 6 – положение образцов для Pb–Pb геохронологического изучения (залитые кружки) и Sr-изотопного (незалитые кружки).

Глушихинская зона. Отложения рифея в западной части Енисейского кряжа вблизи слияния рек Ангара и Енисей выделяются в составе широкинской серии (рис. 4). Нижняя часть серии представлена карбонатной горевской свитой, а верхняя – терригенно-вулканогенной сухохребтинской (свита сухого хребта). Горевская свита сложена углеродистыми известняками и в типовом разрезе в районе поселка Горевский имеет суммарную мощность до 2200 м. Она разделяется на несколько подсвит и пачек на основе циклической смены состава и текстурных особенностей (Сараев, 1990).

Стратиграфическим аналогом горевской свиты является токминская свита, выделенная в центральной части Енисейского кряжа в бассейне р. Бол. Пит (Решения..., 1983; Государственная..., 2009). Горевская и токминская свиты характеризуются смешанным карбонатно-силикокластическим составом, при этом количество карбонатных пород возрастает вверх по разрезу. Литологические и структурные особенности названных свит позволили реконструировать обстановки их седиментации как склоновые. Об этом свидетельствуют ритмичность осадков, характерная для турбидитов, а также текстуры осадочных деформаций, оползневые брекчии и слепки промоин (Сараев, 1990; Хабаров, 1994). В верхних частях обеих свит преобладают более мелководные осадки, что отражает тенденцию уменьшения палеоглубины и свидетельствует о постепенном заполнении бассейна.

Горевская и токминская свиты согласно перекрыты свитой сухого хребта (или сухохребтинской свитой), представленной углеродистыми аргиллитами и алевролитами с прослоями известняков и песчаников в верхней части. В южной части Глушихинской зоны в сухохребтинской свите присутствует большое количество основных вулканитов и продуктов их переотложения. Свита сухого хребта общей мощностью до 1000–1400 м, как и горевская свита, с глубоким несогласием перекрыта отложениями среднего палеозоя (Качевский и др., 1998).

Вблизи устья р. Ангара отложения широкинской серии прорываются гранитами Стрелковского массива с U–Pb возрастом циркона 718 ± 9 млн лет (Верниковская и др., 2003). Дайки и силлы долеритов степановского (Качевский и др., 1998) или усть-ангарского комплекса содержат бадделейт с U–Pb возрастом 626 ± 4 млн лет (Метелкин, 2012). Оценка нижнего возрастного предела широкинской серии в интервале 880–865 млн лет (Метелкин, 2012) основывается на корреляции широкинской серии с отложениями чингасанской серии (Качевский и др., 1998), которая в северной части Енисейского кряжа залегает на гранитах указанного выше возраста.

Наряду с приведенными оценками возраста широкоинской серии, существуют другие варианты ее корреляции со стратиграфическими подразделениями восточных фациальных зон Енисейского кряжа. Так, токминскую и горевскую свиты с перекрывающей свитой сухого хребта В.В. Хоментовский (2007) вслед за М.А. Семихатовым (1962) сопоставлял с верхней частью тунгусикской серии (свита серого ключа и дадыктинская свита). Подобная корреляция используется также в официальной стратиграфической схеме (Решения..., 1983). Соответственно, широкоинская серия при таком сопоставлении помещалась в верхнюю часть лахандинского горизонта верхнего рифея (1030–850 млн лет; Хоментовский, 2007).

Еще одна точка зрения опирается на литологическую корреляцию разрезов верхнего рифея с востока на запад вкост Енисейского кряжа (Шенфиль, Морякин, 1991; Хабаров, 1994; Государственная..., 2009). Кроме прослеживания отдельных пачек, в этой корреляции большее значение уделялось анализу фациальных особенностей отложений на разных стратиграфических уровнях при переходе от обстановок пассивной окраины к склоновым и к задуговому бассейну. В качестве маркирующих горизонтов использованы толщи, отвечающие обстановкам высокого стояния уровня моря, такие как шунтарская свита. В этих корреляциях показано, что широкоинская серия может являться аналогом ослянской серии юго-востока Енисейского кряжа (Каменская и Горбилковская фациальные зоны). Возраст ослянской серии до настоящего времени прямыми методами не определен, однако значение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в известняках дашкинской свиты составляет 0.70502–0.70558 (Хабаров, Вараксина, 2011), что исключает отнесение карбонатных пород к криогению (720–635 млн лет) Международной шкалы (Кузнецов и др., 2014; Kuznetsov et al., 2017). Столь низкие отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ не позволяют коррелировать ослянскую серию с чингасанской серией, как это принималось исходя из наличия перерыва в основании обеих серий (Качевский и др., 1998). Чингасанская серия содержит глинистые отложения с Rb–Sr возрастом иллитов 695 ± 20 млн лет (Покровский и др., 2012), а ее стратиграфические аналоги включают прослойки туфов с Ar–Ar возрастом 700–750 млн лет (Ножкин и др., 2007).

Таким образом, приведенные выше данные показывают, что существующие точки зрения о возрасте рифейских отложений тунгусикской и широкоинской серий Енисейского кряжа допускают расхождение до 200–300 млн лет. Это приводит к появлению различных, иногда взаимоисключающих вариантов внутри- и межрегиональных корреляций. Такая неопределенность

препятствует дальнейшему совершенствованию региональных стратиграфических схем и разработке палеогеодинамических моделей эволюции этого фрагмента окраины Сибирского кратона в позднем докембрии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Наличие карбонатных пород в дадыктинской и горевской свитах позволяет использовать U–Pb (Pb–Pb) метод для определения возраста осадконакопления этих стратиграфических подразделений и определять Sr-изотопную характеристику исходных осадков. Главным условием для получения корректных значений возраста и Sr-изотопной метки является сохранность геохимической системы карбонатных пород. Поэтому для выявления образцов с наименее затронутыми вторичными изменениями U–Pb и Rb–Sr системами проводился специальный петрографический и изотопно-геохимический отбор.

Изученный разрез дадыктинской свиты тунгусикской серии расположен на правом берегу р. Ангара в 2.5 км ниже шиверы¹ Шунтарская (рис. 2). Мощность дадыктинской свиты в этом разрезе составляет около 850 м, что несколько превосходит оценки других исследователей (Семихатов, 1962; Шенфиль и др., 1980), возможно, из-за наличия мелких складок и разломов в плохо обнаженных интервалах. Образцы (115 шт.) были отобраны из всех карбонатных пачек с интервалом 5 м. Горевская свита широкоинской серии была опробована на правом берегу р. Енисей в 15 км выше устья р. Ангара (скала Савинский Бык, рис. 4). Образцы были отобраны из средней и верхней (40 обр.) частей разреза, имеющего здесь мощность около 500 м. Интервал опробования в средней части составил 2–3 м (30 обр.), а верхней части – около 5–10 м (40 обр.).

Образцы без признаков эпигенетической перекристаллизации и прожилков дробили и истирали в порошок размерностью менее 0.1 мм. Для геохимического изучения было отобрано 75 образцов из дадыктинской свиты и 66 из горевской. Содержания Ca, Mg, Mn, Fe и Sr в карбонатной составляющей образцов определяли оптико-эмиссионным методом (спектрометр ICAР-7200) с ионизацией в индуктивно-связанной плазме после растворения образца в 1N HCl. Геохимическую оценку сохранности пород проводили на основе тех же геохимических критери-

¹ Шивера – относительно мелководный (глубина до 1.5–2 м) участок реки с беспорядочно расположенными в русле подводными и выступающими из воды камнями и быстрым течением.

ев, которые применяются при выборе образцов для Sr-хемотратиграфических исследований: отношения $Mg/Ca < 0.03$, $Mn/Sr < 0.2$ и $Fe/Sr < 5.0$ (Овчинникова др., 2001, 2012; Кузнецов и др., 2005, 2014). Для дополнительного контроля степени сохранности была изучена Rb–Sr систематика в наименее измененных образцах известняков.

При изучении Rb–Sr систематики навеску (0.05–0.1 г) образца предварительно обрабатывали 1N раствором ацетата аммония (NH_4OAc) для обогащения образца первичным карбонатным материалом (Горохов и др., 1995; Кузнецов и др., 2005). Содержания Rb и Sr определяли методом изотопного разбавления с применением смешанного индикатора $^{87}Rb + ^{84}Sr$. Изотопный анализ при определении концентраций Rb и Sr выполняли на одноколлекторном масс-спектрометре МИ 1320. Измерение изотопного состава Sr в обработанных карбонатных фракциях проводили на масс-спектрометре Triton TI. Для калибровки использованы межлабораторные стандарты NIST SRM-987 и EN-1, среднее значение $^{87}Sr/^{86}Sr$ в которых равнялось 0.710275 ± 0.000008 ($2\sigma_{\text{средн.}}, n = 54$) и 0.709202 ± 0.000006 ($2\sigma_{\text{средн.}}, n = 26$) соответственно.

По итогам изотопно-геохимического исследования из каждой свиты были отобраны образцы известняков для изучения U–Pb систематики. Первоначально один из выбранных образцов подвергался ступенчатому растворению для выявления фракций, наиболее обогащенных первичным карбонатным материалом (Овчинникова др., 1995, 2001, 2007, 2012; Кузнецов и др., 2005). Ступенчатое растворение образца проводили в 0.5N HBr последовательно в 7 этапов с выделением фракций от L1 до L7. На каждой ступени обработки растворялось 12–16% карбонатного вещества. Затем, после анализа изотопного состава Pb во фракциях L1–L7, было выбрано два способа химического растворения образцов. Первый способ учитывал результаты 7-ступенчатого растворения и опыт работы с рифейскими известняками других регионов. Этот способ обеспечивал химическое выделение фракций L4–L6 из каждого оставшегося образца путем последовательной обработки 0.5N раствором HBr. Другой способ заключался в предварительной обработке навески образца 0.03N HCl для удаления поверхностных загрязнений и вторичных карбонатных генераций. Далее растворение проводилось в 0.5N HBr до полного перехода в раствор обогащенной карбонатной составляющей образцов (фракция ЕСС). В последнем случае раствор каждой фракции делили на две aliquоты: одна для измерения изотопного состава Pb, а другая для определения содержаний U и Pb с использованием смешанного индикато-

ра $^{235}U + ^{208}Pb$. Pb выделяли на анионообменной смоле Bio-Rad 1×8 в 0.5N растворе HBr, а U – на экстракционной смоле UTEVA SPEC в форме HNO_3 при добавлении 0.01N HNO_3 .

Изотопный состав U и Pb измеряли на многоколлекторном масс-спектрометре Finnigan MAT 261. Уровень лабораторных загрязнений не превышал для U 0.01 нг, а для Pb 0.1 нг. Обработку первичных изотопных данных проводили с использованием программы, составленной Н.Н. Мельниковым (Мельников, 2010), а вычисление параметров изохрон – с помощью программы ISOPLOT (Ludwig, 2003). Погрешности при вычислении изохрон составили для отношения $^{206}Pb/^{204}Pb - 0.06\%$, для $^{207}Pb/^{204}Pb - 0.09\%$, для $^{208}Pb/^{204}Pb - 0.12\%$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе изотопно-геохимического исследования карбонатных пород дадыктинской и горевской свит были выбраны образцы, пригодные для получения Sr-хемотратиграфической характеристики и проведения U–Pb датирования.

Дадыктинская свита. В результате геохимического изучения было выделено 20 образцов известняков ($Mg < 0.9\%$) и 55 образцов доломитов ($Mg 11–13\%$). Известняки содержат 1–14% терригенной примеси кварца и слюды, 30–910 мкг/г Mn и 600–8700 мкг/г Fe. Концентрация Sr в известняках в среднем высокая (1100 мкг/г) и достигает в некоторых образцах 2500–3800 мкг/г. По сравнению с ними доломиты содержат меньше терригенной примеси (1–9%), меньше Mn (40–770 мкг/г), Fe (800–4500 мкг/г) и Sr (30–60 мкг/г). Из 75 образцов дадыктинской свиты только восемь соответствуют критериям сохранности Rb–Sr системы осадочных карбонатов ($Mn/Sr < 0.2$, $Fe/Sr < 5$ и $Mg/Ca < 0.03$; Кузнецов и др., 2005, 2014). Наименее измененные известняки сгруппированы в маломощной 50-метровой пачке в нижней трети свиты, а первичное отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ в этих образцах заключено в пределах 0.70536–0.70590 (табл. 1). Однако для изучения U–Pb систематики было выбрано только четыре образца, которые наиболее удалены от прослоев алевролитов.

Содержание Pb (0.9–5.7 мкг/г) и U (0.2–1.3 мкг/г) в дадыктинских известняках выше, чем средние содержания этих элементов в рифейских известняках других разрезов (Овчинникова и др., 1995, 2001, 2012; Кузнецов и др., 2005; Kuznetsov et al., 2017). Отношения $^{206}Pb/^{204}Pb$, $^{207}Pb/^{204}Pb$ и $^{208}Pb/^{204}Pb$ во фракциях ЕСС варьируют в пределах 17.977–37.549, 15.574–17.010 и 38.182–39.666 соответственно (табл. 2). Ступенчатое растворение одного из образцов по-

Таблица 1. Содержание малых элементов и Rb–Sr аналитические данные для растворимой карбонатной фазы известняков дадыктинской и горевской свит

Номер образца	Положение образца ¹	Доля СП ² , %	Mg, %	Mn, мкг/г	Fe, мкг/г	Mn/Sr	Fe/Sr	Rb, мкг/г	Sr, мкг/г	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr измеренное	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr первичное ³
Дадыктинская свита, пачка 3												
d-30	280	4.1	0.4	270	4780	0.19	3.4	0.73	1410	0.0014	0.70578	0.70576
d-29	275	4.2	0.5	290	5100	0.18	3.2	0.41	1590	0.0008	0.70591	0.70590
d-27	265	2.6	0.6	246	5440	0.15	3.3	0.64	1640	0.0011	0.70575	0.70573
d-24	251	5.4	0.7	214	2630	0.14	1.7	2.21	1510	0.0042	0.70559	0.70553
d-23	246	1.4	0.8	126	1620	0.06	0.8	0.78	2070	0.0010	0.70545	0.70543
d-22	241	2.7	0.6	154	1850	0.07	0.9	0.36	2160	0.0005	0.70547	0.70546
d-21	236	0.9	0.4	30	610	0.01	0.2	0.32	2740	0.0003	0.70537	0.70537
d-20	231	4.9	0.5	105	2400	0.02	0.6	0.79	4300	0.0001	0.70538	0.70536
Горевская свита												
K04/37	1480	13.6	0.7	390	5960	0.13	2.0	0.35	2940	0.0003	0.70558	0.70557
K04/36	1470	14.5	1.2	310	5480	0.12	2.2	0.44	2480	0.0005	0.70563	0.70562
K04/32	1430	16.5	1.1	480	4300	0.20	1.8	0.64	2430	0.0008	0.70568	0.70567
K04/30	1410	14.8	0.6	460	2830	0.20	1.2	0.61	2330	0.0007	0.70562	0.70561
K04/23	1370	8.3	0.4	190	6680	0.06	2.1	0.40	3150	0.0004	0.70557	0.70556
K4/20	1320	4.9	1.2	465	1340	0.18	0.5	0.37	2550	0.0004	0.70553	0.70552
K4/115	870	9.1	0.8	170	2130	0.17	2.1	0.20	995	0.0006	0.70579	0.70578
K4/117	850	6.9	0.1	140	2070	0.12	1.8	0.46	1130	0.0012	0.70571	0.70569

Примечание. ¹ – положение образца указано в метрах от основания карбонатной свиты; ² – СП – силикокластическая примесь, ³ – при вычислении первичных отношений ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr возраст известняков принимался равным 1020 млн лет.

казало, что самое высокое отношение $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ наблюдается в первых двух фракциях L1 и L2 (41.420 и 41.452), что значительно выше, чем во фракциях L3–L7 (27.913–35.949). Подобное распределение изотопных отношений свинца характерно для карбонатных пород, обогащенных тонкодисперсным углеродистым веществом (Овчинникова и др., 2012). Это предполагает, что свинец в известняках дадыктинской свиты представляет собой двухкомпонентную смесь карбонатной и углеродистой составляющих. В этом случае для расчета возраста можно использовать все фракции ступенчатого растворения.

Возраст известняков дадыктинской свиты, вычисленный в координатах $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ по четырем фракциям ЕСС и семи фракциям L1–L7, равен 1025 ± 50 млн лет. Однако повышенное значение СКВО = 7.5 указывает на значительное нарушение U–Pb изотопной системы. Удаление из расчета фракции L5, которая отклоняется от изохроны, приводит к уменьшению погрешности и СКВО и практически не изменяет возраст – 1020 ± 26 млн лет (СКВО = 1.9). Удаление из расчета фракций L1–L3 и L6–L7, которые могут отражать изотопный состав Pb углеродистой примеси, приводит к дальнейшему уменьшению погрешности. Полученное при этом значение 1020 ± 20 млн лет (СКВО = 0.3) является наиболее точной оценкой возраста известняков дадыктинской свиты.

Горевская свита. Среди 66 изученных образцов этой свиты преобладают известняки (Mg < 1.1%), и только 10 образцов содержат примесь доломита (Mg 2.1–7.3%). Известняки содержат много (5–30%) терригенной примеси, обогащены Mn (80–2900 мкг/г) и Fe (2100–6700 мкг/г). Доломитистые известняки содержат еще больше терригенной примеси (15–28%), а также больше Mn (180–3100 мкг/г) и Fe (1200–14300 мкг/г). Максимальные концентрации Mn и Fe обнаружены в образцах, взятых вблизи глинистых прослоев и обогащенных терригенной примесью. Концентрация Sr в известняках и доломитистых известняках варьирует в широких пределах от 120 до 2940 мкг/г. Только 12 образцов известняков удовлетворяют названным выше геохимическим критериям. Первичное отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в образцах из средней части свиты лежит в пределах 0.70569–0.70578, а в образцах из верхней части – 0.70552–0.70567 (табл. 1). Для изучения U–Pb систематики было выбрано пять образцов из верхней пачки с невысокой (5–17%) примесью терригенного материала.

Известняки горевской свиты содержат большое количество углеродистого вещества. Поэтому ступенчатое растворение этих известняков было проведено с учетом данных, полученных при изучении известняков дадыктинской свиты. В од-

ном образце были выделены фракции L4, L5 и L6, а в трех других – объединенные фракции L4–L6 (табл. 2). Содержание U (1.2–13.4 мкг/г) в известняках горевской свиты выше, а Pb (0.1–1.1 мкг/г), наоборот, намного ниже, чем в дадыктинских известняках. Вариации отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (18.008–23.343), $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (15.598–15.980) и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (37.364–39.514) во фракциях ЕСС ниже, чем в дадыктинских известняках. Эти же изотопные отношения во фракциях L4–L6 незначительно повышаются, что указывает на обогащение образцов первичным карбонатным материалом в результате процедуры ступенчатого растворения.

Возраст известняков горевской свиты, вычисленный в координатах $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ по всем точкам фракций ЕСС и L4–L6, равен 1020 ± 70 млн лет (СКВО = 0.8). Повышенная погрешность при низком значении СКВО может объясняться более низкими вариациями изотопных отношений свинца в горевских известняках по сравнению с известняками дадыктинской свиты.

СТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ

Полученные Pb–Pb возрасты для известняков из верхней части тунгусикской серии (1020 ± 20 млн лет) и средней части широкоинской серии (1020 ± 70 млн лет) являются первыми изотопно-геохронологическими данными для осадочных карбонатных пород рифея Енисейского кряжа. Эти значения указывают на позднерифейский возраст широкоинской и тунгусикской серий. Возраст верхней части тунгусикской серии 1020 ± 20 млн лет оказался очень близок к границе верхнего и среднего рифея 1030 млн лет Общей стратиграфической шкалы (Семихатов, 2000; Семихатов и др., 2015). Такая близость подтверждает корреляцию этого рубежа с подошвой тунгусикской серии. Предположение, что сухопитская и перекрывающая ее тунгусикская серии отвечают только верхней части среднего рифея и нижней части верхнего рифея, подтверждается имеющимися данными S- и Sr-хемостратиграфии. Рифейские карбонатные отложения Каменской зоны характеризуются умеренно положительными значениями $\delta^{13}\text{C}$ от +3 до +4‰ с редкими экскурсами до +5‰ и до –1‰ (Хабаров и др., 1999). Эти значения близки к величине $\delta^{13}\text{C}$ в морских карбонатных отложениях на границе мезопротерозоя и неопротерозоя (Bartley et al., 2001; Kuznetsov et al., 2017). Минимальные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в осадочных карбонатных породах аладынской, джурской, дашкинской свит и свиты серого ключа заключены в пределах 0.70502–0.70592 (Khabarov et al., 2002; Хабаров,

Таблица 2. U–Pb аналитические данные дадыктинской свиты тунгусикской серии и горевской свиты широкинской серии

Номер образца	Фракция	Доля фракции, %	U, мкг/г	Pb, мкг/г	$^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Дадыктинская свита, пачка 3								
d-29	ECC	94	0.192	5.66	2.13	17.977	15.574	38.182
d-27	ECC	97	0.672	1.48	312.5	22.262	15.888	38.424
d-23	ECC	98	0.521	1.53	22.7	21.366	15.830	38.831
d-22	ECC	96	1.32	0.940	115	37.549	17.010	39.666
	L1	10	–	–	–	41.420	17.282	40.038
	L2	14	–	–	–	41.452	17.301	40.141
	L3	14	–	–	–	27.913	16.317	38.756
	L4	16	–	–	–	30.717	16.505	38.996
	L5	14	–	–	–	32.672	16.713	39.460
	L6	15	–	–	–	34.949	16.817	39.384
	L7	15	–	–	–	35.154	16.858	39.447
	IR	2	5.34	25.3	13.87	21.316	15.851	37.951
Горевская свита								
K4/37	ECC	84	1.24	0.607	33.8	23.343	15.98	39.514
	L4	15	–	–	–	20.010	15.735	38.510
	L5	18	–	–	–	21.225	15.819	38.924
	L6	12	–	–	–	22.247	15.910	39.281
	IR	16	4.2	2.83	12.68	19.082	15.671	37.669
K4/36	ECC	85	2.36	0.459	12.95	21.384	15.837	38.923
	L4–L6	–	–	–	–	22.060	15.900	39.313
	IR	14	3.99	6.48	105	20.025	15.736	38.236
K4/32	ECC	17	3.41	0.516	9.74	19.480	15.697	38.204
	L4–L6	–	–	–	–	19.603	15.712	38.303
K4/30	ECC	85	13.4	1.06	4.91	18.008	15.598	37.364
	IR	15	5.23	3.61	44.2	19.529	15.685	38.028
K4/20	ECC	95	1.45	0.335	15.07	20.535	15.777	38.156
	L4–L6	–	–	–	–	21.544	15.854	38.535
	IR	5	8.1	4.21	33.1	19.568	15.713	37.722

Примечание. ECC – обогащенная карбонатная составляющая образцов; L1–L7 – карбонатные фракции, полученные ступенчатым растворением в 0.5N HBr; IR – силикатный остаток, нерастворимый в 0.5N HBr.

Вараксина, 2011). В эти же пределы попадают Sr-изотопные значения известняков дадыктинской свиты 0.70536–0.70590 и горевской свиты 0.70552–0.70567 (табл. 1). Подобные значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в океане отмечаются в конце среднего рифея и начале позднего рифея (Семихатов и др., 2002; Кузнецов и др., 2014), что согласуется с интервалом конца мезопротерозоя и начала неопротерозоя (Kuznetsov et al., 2017).

Новые геохронологические данные для рифея Енисейского кряжа не противоречат предложенной ранее корреляции с другими разрезами рифея Сибирской платформы – Туруханского поднятия и Учуро-Майского района (рис. 5).

Тунгусикская серия традиционно на основании сходства литологического состава и комплексов строматолитов и микрофоссилий сопоставляется с лахандинской серией, а сухопитская серия – с керпильской (Хоментовский и др., 2008 и ссылки в работе). В разрезе Туруханского поднятия сухопитской серии соответствуют (снизу вверх) безымянная свита, свита линок и сухотунгусинская свита, а тунгусикской серии – деревянинская и нижнетунгуская свиты (Семихатов и др., 2002; Хоментовский и др., 2008).

Pb–Pb возрасты рифейских карбонатных пород в трех регионах (Енисейский кряж, Туруханское поднятие, Учуро-Майский регион)

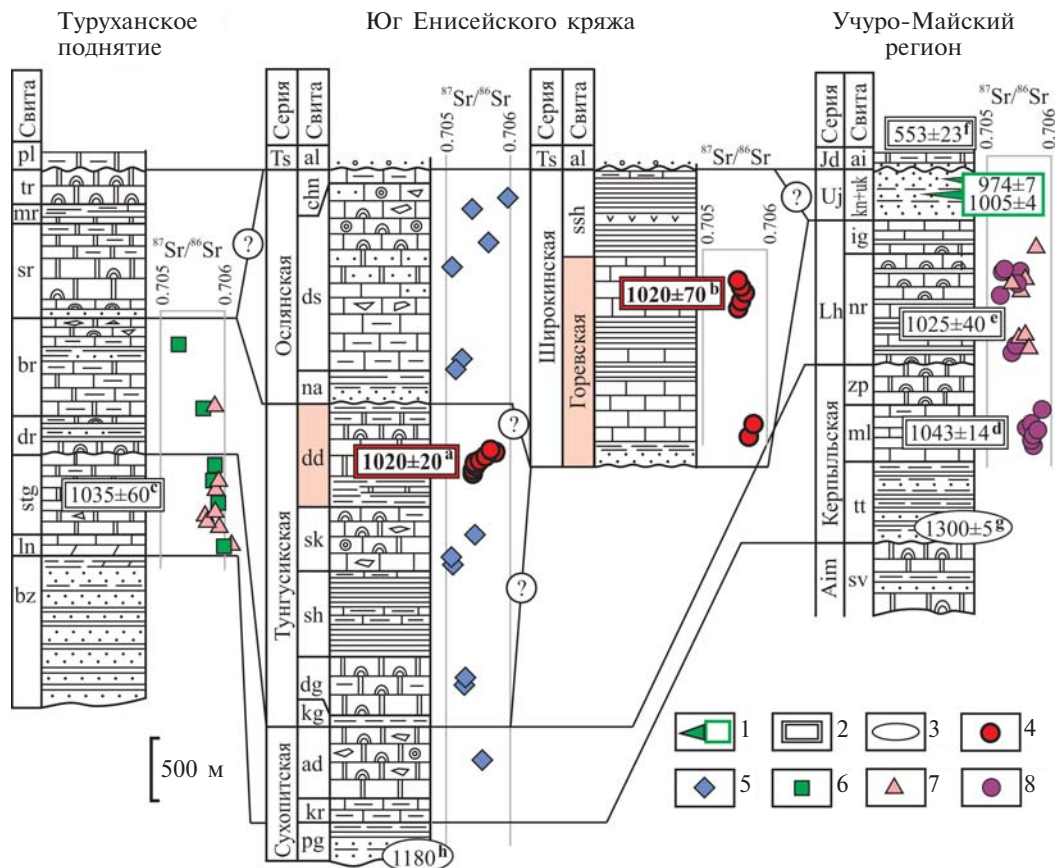


Рис. 5. Схема корреляции рифейских отложений Сибирской платформы, Sr-хемостратиграфические и Pb–Pb изотопно-геохронологические данные.

1–3 – изотопно-геохронологические данные (млн лет): 1 – U–Pb возраст бадделеита из силлов и даек долеритов в уйской серии (Rainbird et al., 1998); 2 – Pb–Pb возраст известняков: а – дадыктинская свита (настоящая работа), b – горевская свита (настоящая работа), с – сухотунгусинская свита (Овчинникова и др., 1995), d – малгинская свита (Овчинникова и др., 2001), e – нерюенская свита (Семихатов и др., 2000), f – усть-юдомская свита (Семихатов и др., 2003); 3 – U–Pb возраст обломочных цирконов: g – тоттинская свита (Khudoley et al., 2001), h – погорюйская свита (Powertman et al., 2013); 4–8 – значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в наименее измененных известняках: 4 – настоящая работа; 5 – Khabarov et al., 2002; Хабаров, Вараксина, 2011; 6 – Горохов и др., 1995; 7 – Bartley et al., 2001; 8 – Семихатов и др., 1998, 2002.

Индексы серий: Ts – тасеевская, Jd – юдомская, Uj – уйская, Lh – лахандинская, Aim – аимчанская; индексы свит: pl – платоновская, tr – туруханская, mg – мироедихинская, sr – шорихинская, br – свита буровой, dr – деревянинская, stg – сухотунгусинская, ln – линок, bz – безымянная, al – алевинская, chn – чинеульская, ds – дашкинская, na – нижнеангарская, dd – дадыктинская, sk – серого ключа, sh – шунтарская, dg – джурская, kg – красногорская, ad – аладьинская, kr – карточки, pg – погорюйская, ssh – сухого хребта, ai – аимская, kn – кандыкская, uk – усть-кирбинская, ig – игниканская, nr – нерюенская, zp – ципандинская, ml – малгинская, tt – тоттинская, sv – светлинская. Остальные условные обозначения см. на рис. 3.

с учетом погрешностей очень близки между собой (рис. 5). Известняки малгинской свиты в средней части керпыльской серии имеют Pb–Pb возраст 1043 ± 14 млн лет (Овчинникова и др., 2001). Нерюенская свита, слагающая нижнюю часть лахандинской серии в Учуро-Майском прогибе, имеет Pb–Pb возраст известняков 1025 ± 40 млн лет (Семихатов и др., 2000). Лахандинская серия на Юдомо-Майской плите перекрывается терригенной уйской серией, которая прорвана силлами и дайками долеритов с возрастом 1005–940 млн лет (Rainbird et al., 1998). Pb–Pb возраст известняков сухотунгусинской свиты Туруханского поднятия равен 1035 ± 60 млн лет (Овчинникова и др., 1995). Возвращаясь к анализу сухопитской и тунгусикской серий, отметим, что возраст самой молодой популяции обломочных цирконов из песчаников погорюйской свиты, залегающей в основании сухопитской серии, составляет 1170–1180 млн лет (Powerman et al., 2013). Близкий возраст имеют обломочные цирконы из тотгинской свиты Учуро-Майского региона (около 1300 млн лет; Khudoley et al., 2001), которая коррелируется с погорюйской свитой (рис. 5). Таким образом, верхний предел тунгусикской серии Енисейского кряжа, как и лахандинской серии, ограничен возрастом 1000 млн лет.

Приведенные выше данные уверенно подтверждают, что накопление большей части разреза рифея на юге Енисейского кряжа происходило в конце среднего рифея и самом начале позднего рифея, при этом длительность накопления рифейских отложений не превышала 100–150 млн лет, а возможно, была еще меньше. Из этого следует, что выделение в полном объеме среднего и в особенности верхнего рифея на востоке Енисейского кряжа не подтверждается геохронологическими данными. Исключением может являться лишь рифтогенный вулканогенно-осадочный рыбинский комплекс, расположенный в южной части Каитьбинской фациальной зоны и датируемый около 780 млн лет (Ножкин и др., 2011). Однако соотношения этих образований с подстилающими толщами остаются неясными ввиду сложной тектонической обстановки.

Стратиграфическое значение Pb–Pb возраста известняков горевской свиты Глушихинской зоны (1020 ± 70 млн лет) зависит от одного из вариантов корреляции с разрезами рифея Каменской зоны. Если сопоставлять ширококинскую серию с верхней частью тунгусикской серии (Семихатов, 1962; Хоментовский, 2007), то горевская свита оказывается на близком стратиграфическом уровне с дадыктинской свитой (1020 ± 20 млн лет). Таким образом, накопление нижней части ширококинской серии совпа-

дает со временем завершения седиментации тунгусикской серии. Другой вариант корреляции предполагает одновозрастность ширококинской и ослянской серий в восточных фациальных зонах (Шенфиль, Морякин, 1991; Хабаров, 1994; Государственная..., 2009). В этом случае отложения ослянской серии, относимые ранее к верхнему рифею, оказываются среднерифейскими или могут быть отнесены лишь к самым низам верхнего рифея. При этом напомним, что корреляция ослянской серии с чингасанской серией исключается по Sr-хемостратиграфическим данным (Хабаров, Вараксина, 2011; Покровский и др., 2012). Учитывая, что на ослянской серии с глубоким размывом залегают отложения таеесской серии, относимые в настоящее время к венду (Качевский и др., 1998; Стратиграфия..., 2005), длительность предвендского перерыва в осадконакоплении на Енисейском кряже может достигать 300–350 млн лет.

ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Сопоставление рифейских отложений, развитых на юге и западе Сибирской платформы – на Енисейском кряже, Туруханском поднятии и в Учуро-Майском регионе, позволяет рассматривать их как фрагменты одновозрастных эпиконтинентальных бассейнов с близким режимом осадконакопления. Однако с рубежа около 1 млрд лет в сравниваемых районах строение разреза начинает существенно различаться. На Енисейском кряже верхняя часть разреза рифея представлена существенно карбонатными отложениями ослянской серии и ее аналогом – ширококинской серией. В южной части Каитьбинской фациальной зоны на отложениях тунгусикской серии залегают неопротерозойский вулканогенно-осадочный рыбинский комплекс, связываемый с рифтогенезом (780 млн лет назад; Ножкин и др., 2011). В Учуро-Майского регионе терригенная уйская серия, прорываемая силлами долеритов и перекрывающая шельфовые карбонатные отложения лахандинской серии, характеризует обстановки растяжения вблизи континентальной окраины (Khudoley et al., 2001). В разрезах Туруханского поднятия, начиная с мироедихинской свиты, карбонатная седиментация сменяется терригенной, которая отражает обстановки удаленных частей шельфа и склоновых фаций (Petrov, Semikhatov, 2001).

Таким образом, отложения конца среднего рифея и самого начала позднего рифея широко развиты вдоль южной и западной окраины Сибирской платформы. Эти отложения имеют сходство в характере осадконакопления, которое происходило в основном в обстановках карбонатного шельфа. Сравнимые толщи близки

по мощности и формировались в течение относительно короткого (не более 100–150 млн лет) отрезка времени в пограничном интервале среднего и позднего рифея (мезо- и неопротерозоя) – 1100–950 млн лет назад. Различия в более поздней геологической истории сравниваемых осадочных бассейнов, по всей видимости, отражают заключительные стадии формирования суперконтинента Родиния. В это время произошло изменение конфигурации эпиконтинентальных морей на Сибирском кратоне и образование нескольких изолированных друг от друга палеобассейнов с различными типами седиментации.

Наконец, полученный вывод об отсутствии морских осадочных отложений с возрастом моложе 950–1000 и древнее 600 млн лет в южной части Енисейского кряжа вносит некоторую ясность в проблему тектонического районирования его территории. Террейновая концепция, разработанная для Енисейского кряжа под руководством В.А. Верниковского, базируется прежде всего на анализе геохронологических и изотопно-геохимических характеристик гранитоидного магматизма (Верниковский, Верниковская, 2006; Верниковский и др., 2009, 2016 и ссылки в этих работах). Возраст древнейших синколлизонных неопротерозойских гранитов Енисейского кряжа (тейский и ерудинский комплексы) составляет

880–865 млн лет (Верниковский, Верниковская, 2006), что с учетом аналитической погрешности на 100–150 млн лет моложе верхней границы изученных в настоящей работе осадочных толщ рифея. Это предполагает, что неопротерозойские аккреционно-коллизонные события, завершившиеся на Енисейском кряже к началу венда, а на его крайнем западе еще позднее (Верниковский, Верниковская, 2006), не могли повлиять на уже сложившуюся к тому времени зональность рифейского осадочного бассейна. Выделенные на основе внутрирегиональной корреляции структурно-фациальные зоны рифея Енисейского кряжа (Хабаров, 1994; Хоментовский, 2007) не имеют отношения и к системе крупных разломов, ключевых для современной структуры Енисейского кряжа, поскольку описывают на 100–200 млн лет более раннюю конфигурацию западной окраины Сибирского кратона. Обсуждение оценок амплитуды сдвигово-надвиговых смещений до 1.5–2 тыс. км, основанных на палеомагнитных данных (Верниковский и др., 2016), выходит за рамки нашей работы, хотя подобные расстояния представляются существенно завышенными. Масштабные коллизонные события на Енисейском кряже, начавшиеся около 880 млн лет назад, привели к закрытию рифейского окраинного бассейна и к фрагментации ранее накопленных осадочных толщ в серию тектонических блоков различного размера. Лишь после завершения этой перестройки в конце рифея и в венде начали формироваться новые окраинные прогибы, выполненные карбонатно-терригенными осадками тасеевской, чингасанской и чапской серий и их аналогов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные Rb–Rb возрасты для карбонатных пород дадыктинской свиты тунгусикской серии 1020 ± 20 млн лет и горевской свиты широкоинской серии 1020 ± 70 млн лет являются первыми прямыми датировками рифейских отложений Енисейского кряжа. В пределах погрешности эти датировки очень близки и в целом совпадают с региональной корреляцией разрезов различных фациальных зон. Корреляция терригенно-карбонатных отложений гипостратотипа рифея Учуро-Майского региона Сибири и Туруханского поднятия определяет изотопный возраст границы среднего и верхнего рифея как 1030 млн лет, что согласуется с ее положением в Общей стратиграфической шкале России (Семихатов и др., 2015). Следует отметить, что этот рубеж отличается от границы мезо- и неопротерозоя в международной шкале, которая установила границу прови-

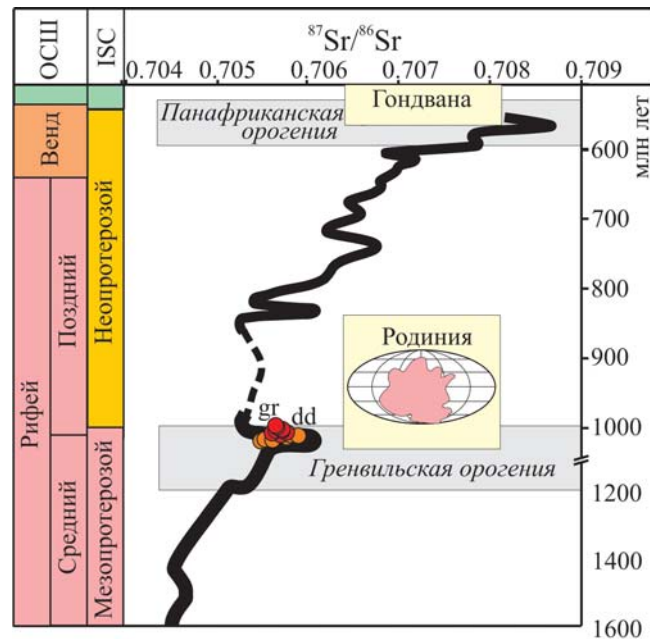


Рис. 6. Вариации отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в протерозойском океане и его связь с глобальными орогенными эпохами существования суперконтинентов Родиния и Гондвана (Кузнецов и др., 2014, 2018).

Кружками показаны значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в известняках дадыктинской (dd) и горевской (gr) свит. Сокращения: ОСШ – Общая стратиграфическая шкала (Семихатов, 2000), ISC – международная шкала.

зорно и исключительно на хронометрической основе. Представленные результаты демонстрируют преимущества хроностратиграфического подхода, предложенного и обоснованного М.А. Семихатовым (1995), над историко-геологическим и хронометрическим.

Новые данные позволяют сделать вывод о том, что масштабное рифейское осадконакопление в этом сегменте окраины Сибирского кратона завершилось в самом начале позднего рифея около 1000–950 млн лет назад (то есть уже в начале неопротерозоя). Карбонатные отложения большей части верхнего рифея на Енисейском кряже, так же как и в Учуро-Майском регионе и на Туруханском поднятии, отсутствуют. Последнее обусловлено становлением суперконтинента Родиния, который изменил конфигурацию эпикратонных мелководных бассейнов на Сибирском кратоне около 0.9–1 млрд лет назад.

Полученные Sr-изотопные данные для известняков тунгусикской и широкинской серий представляют новую информацию о величине отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в гренвильском океане. Эти значения (0.70536–0.70590) попадают на нисходящий тренд, зафиксированный в самом начале позднего рифея в кульминационную фазу гренвильской орогении (рис. 6). Накануне орогении отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в океане незначительно повысилось от 0.70518 около 1200 млн лет назад до 0.70563–0.70611 в период 1045–1035 млн лет назад, а в конце этой орогении оно быстро понизилось до 0.70519–0.70523 около 1000 млн лет назад (Семихатов и др., 2002; Кузнецов и др., 2014, 2018). Причины очень низкой амплитуды вариаций $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в океане во время формирования крупнейшего докембрийского суперконтинента Родиния были проанализированы и объяснены несколькими геологическими факторами (Семихатов и др., 2002). Среди них главными являются: активный внутриплитный магматизм, большой объем ювенильной коры, эксгумированной в ходе аккреции островных дуг и выведенной в области размыва, малая скорость эрозионного вскрытия гренвильских орогенов, а также палеогеографические перестройки, вызвавшие формирование на периферии суперконтинента многочисленных изолированных бассейнов. В глобальном масштабе приращение (аккреция) островных дуг к периферии Родинии привело как к исчезновению континентальных шельфов, на которых отлагались карбонатные осадки, так и к удалению осадков в зоны субдукции. Именно этим можно объяснить наблюдаемый во многих регионах мира длительный (100–150 млн лет) перерыв в осадочной летописи начала позднего рифея — неопротерозоя 0.85–1.0 млрд лет назад (Kuznetsov et al., 2017).

Масштабные неопротерозойские аккреци-

онно-коллизийные процессы, определившие современную блоково-надвиговую структуру Енисейского кряжа, обусловившие метаморфизм и обширный гранитоидный магматизм, а также связанные с ними метасоматоз и различное оруденение, являются более поздними и наложенными событиями по отношению к рифейским осадочным последовательностям на западе и на востоке Енисейского кряжа. Рифейские отложения сформировались в сложно построенном осадочном палеобассейне на 100–150 млн лет раньше отмеченных выше аккреционно-коллизийных событий. Данный вывод имеет принципиальное значение не только для совершенствования региональных стратиграфических схем и палеотектонических реконструкций, но и для целей геологического картирования, поиска и разведки различных полезных ископаемых.

Источники финансирования. Работа проведена при поддержке РФФ проект № 18-17-00247 (изотопная геохимия и геохронология) и проекта ФНИ № 0331-2019-0002 (геодинамика).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Верниковский В.А., Верниковская А.Е.* Тектоника и эволюция гранитоидного магматизма Енисейского кряжа // Геология и геофизика. 2006. Т. 47. № 1. С. 35–52.
- Верниковская А.Е., Верниковский В.А., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Ковач В.П., Травин А.В., Палесский С.В., Яковлева С.З., Федосеенко А.М., Яснев А.М.* Неопротерозойские постколлизийные гранитоиды глушихинского комплекса, Енисейский кряж // Петрология. 2003. Т. 11. № 1. С. 53–67.
- 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.
- Верниковский В.А., Метелкин Д.В., Верниковская А.Е., Матушкин Н.Ю., Казанский А.Ю., Кадильников П.И., Романова И.В., Вингейт М.Т.Д., Ларионов А.Н., Родионов Н.В.* Неопротерозойская тектоническая структура Енисейского кряжа и формирование западной окраины Сибирского кратона на основе новых геологических, палеомагнитных и геохронологических данных // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 1. С. 63–90.
- Горохов И.М., Семихатов М.А., Баскаков А.В., Кутявин Э.П., Мельников Н.Н., Сочава А.В., Турченко Т.Л.* Изотопный состав стронция в карбонатных породах рифея, венда и нижнего кембрия Сибири // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1995. Т. 3. № 1. С. 3–33.

- Горохов И.М., Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Васильева И.М., Ризванова Н.Г., Липенков Г.В., Дубинина Е.О. Раннерифейская билляхская серия Анабарского поднятия (Северная Сибирь): изотопная С–О геохимия и Pb–Pb возраст доломитов // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2019. Т. 27. № 5. С. 19–35.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1000000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист О-46 (Красноярск). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2009. 500 с.
- Зайцева Т.С., Семихатов М.А., Горохов И.М., Сергеев В.Н., Кузнецов А.Б., Ивановская Т.А., Мельников Н.Н., Константинова Г.В. Изотопная геохронология и биостратиграфия рифейских отложений Анабарского массива, Северная Сибирь // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2016. Т. 24. № 6. С. 3–29.
- Зайцева Т.С., Горохов И.М., Семихатов М.А., Ивановская Т.А., Кузнецов А.Б., Доржиева О.В. Rb–Sr и K–Ar возраст глобулярных слоистых силикатов и биостратиграфия рифейских отложений Оленекского поднятия, Северная Сибирь // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2017. Т. 25. № 6. С. 3–29.
- Качевский Л.К., Качевская Г.И., Грабовская Ж.М. Геологическая карта Енисейского кряжа м-ба 1 : 500 000. Ред. Мкртычян А.К., Шерман М.Л. Красноярск: Красноярскгеолсъемка, 1998.
- Кириченко Г.И. Стратиграфия докембрия западной окраины Сибирской платформы и ее складчатого обрамления // Тр. ВСЕГЕИ. 1967. Т. 112. С. 3–48.
- Кузнецов А.Б., Крупенин М.Т., Овчинникова Г.В., Горохов И.М., Маслов А.В., Каурова О.К., Эльмис Р. Формирование и преобразование карбонатных пород и сидеритовых руд бакальской свиты нижнего рифея (Южный Урал): Sr-изотопная характеристика и Pb–Pb возраст // Литология и полезн. ископаемые. 2005. № 3. С. 227–249.
- Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. Возможности стронциевой изотопной хемостратиграфии в решении проблем стратиграфии верхнего протерозоя (рифей и венда) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2014. Т. 22. № 6. С. 3–25.
- Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. Стронциевая изотопная хемостратиграфия: основы метода и его современное состояние // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2018. Т. 26. № 4. С. 3–23.
- Лебедев Ю.Н., Шенфиль В.Ю., Диденко А.Н. Новые определения абсолютного возраста верхнедокембрийских отложений Енисейского кряжа // Геология и геофизика. 1980. № 11. С. 150–152.
- Мельников Н.Н. Эффективность метода двойного изотопного разбавления при масс-спектрометрическом анализе свинца для геохронологии // Геохимия. 2010. № 8. С. 876–886.
- Метелкин Д.В. Эволюция структур Центральной Азии и роль сдвиговой тектоники по палеомагнитным данным. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2012. 460 с.
- Наговицин К.Е. Новые сложные формы микрофоссилий из позднего рифея Восточной Сибири (Енисейский кряж) // Палеонтологический журнал. 2001. № 3. С. 5–13.
- Ножкин А.Д., Постников А.А., Наговицин К.Е., Травин А.В., Станевич А.М., Юдин Д.С. 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.
- Овчинникова Г.В., Семихатов М.А., Горохов И.М., Беляцкий Б.В., Васильева И.М., Левский Л.К. U–Pb систематика докембрийских карбонатов: рифейская сухотунгусинская свита Туруханского поднятия Сибири // Литология и полезн. ископаемые. 1995. № 5. С. 525–536.
- Овчинникова Г.В., Семихатов М.А., Васильева И.М., Горохов И.М., Каурова О.К., Подковыров В.Н., Гороховский Б.М. Pb–Pb возраст известняков среднерифейской малгинской свиты, Учуро-Майский регион Восточной Сибири // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2001. Т. 9. № 6. С. 3–25.
- Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б., Мележик В.А., Горохов И.М., Васильева И.М., Гороховский Б.М. Pb–Pb возраст ятулийских карбонатных пород: туломозерская свита юго-восточной Карелии // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2007. Т. 15. № 4. С. 20–33.
- Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б., Васильева И.М., Горохов И.М., Летникова Е.Ф., Гороховский Б.М. U–Pb возраст и Sr-изотопная характеристика известняков неопротерозойской цаганоломской свиты, бассейна р. Дзабхан, Западная Монголия // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2012. Т. 20. № 6. С. 28–40.
- Покровский Б.Г., Буякайте М.И., Кокин О.В. Геохимия изотопов С, О, Sr и хемостратиграфия неопротерозойских отложений севера Енисейского кряжа // Литология и полезн. ископаемые. 2012. № 2. С. 197–220.
- Постельников Е.С. Геосинклинальное развитие Енисейского кряжа в позднем докембрии. М.: Наука, 1980. 71 с.
- Решения Всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертичной системе Средней Сибири. Часть 1 (верхний протерозой и нижний палеозой). Новосибирск: СНИИГГиМС, 1983. 215 с.
- Сараев С.В. Литология и геохимия рифейских отложений Горевского рудного поля (Енисейский кряж) // Осадочное рудообразование. Вып. 1. Состав и генезис рудоносных осадочных толщ Сибири. Сб. науч. трудов. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1990. С. 42–71.
- Семихатов М.А. Рифей и нижний кембрий Енисейского кряжа. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 242 с.
- Семихатов М.А. Методическая основа стратиграфии рифея // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1995. Т. 3. № 6. С. 33–50.
- Семихатов М.А. Уточнение оценок изотопного возраста нижних границ верхнего рифея, венда, верхнего венда и кембрия // Дополнения к стратиграфическому кодексу России. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. С. 95–107.

- Семихатов М.А., Серебряков С.Н.* Сибирский гипостратотип рифея. М.: Наука, 1983. 223 с. (Тр. ГИН АН СССР. Вып. 367).
- Семихатов М.А., Горохов И.М., Кузнецов А.Б., Подковыров В.Н., Мельников Н.Н., Кислова И.В.* Изотопный состав Sr в морской воде в начале позднего рифея: известняки лахандинской серии Учуро-Майского региона Сибири // Докл. АН. 1998. Т. 360. № 2. С. 236–240.
- Семихатов М.А., Овчинникова Г.В., Горохов И.М., Кузнецов А.Б., Васильева И.М., Гороховский Б.М., Подковыров В.Н.* Изотопный возраст границы среднего и верхнего рифея: Pb–Pb геохронология карбонатных пород лахандинской серии, Восточная Сибирь // Докл. АН. 2000. Т. 372. № 2. С. 216–221.
- Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Горохов И.М., Константинова Г.В., Мельников Н.Н., Подковыров В.Н., Кутявин Э.П.* Низкое отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в гренвилском и пост-гренвилском палеоокеане: определяющие факторы // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2002. Т. 10. № 1. С. 3–46.
- Семихатов М.А., Овчинникова Г.В., Горохов И.М., Кузнецов А.Б., Каурова О.К., Петров П.Ю.* Pb–Pb изохронный возраст и Sr-изотопная характеристика верхнеюдомских карбонатных отложений (венд Юдомо-Майского прогиба, Восточная Сибирь) // Докл. АН. 2003. Т. 393. № 1. С. 83–87.
- 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. Геол. корреляция. 2015. Т. 23. № 6. С. 16–27.
- Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. Ред. Мельников Н.В. Новосибирск: Гео, 2005. 428 с.
- Хабаров Е.М.* Формации и эволюция рифейской седиментации восточных зон Енисейского кряжа // Геология и геофизика. 1994. Т. 35. № 10. С. 44–54.
- Хабаров Е.М., Вараксина И.В.* Строение и обстановки формирования мезопротерозойских нефтегазоносных карбонатных комплексов запада Сибирского кратона // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 8. С. 1173–1198.
- Хабаров Е.М., Пономарчук В.А., Морозова И.П., Травин А.Н.* Изотопы углерода в рифейских карбонатных породах Енисейского кряжа // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1999. Т. 7. № 6. С. 20–40.
- Хоментовский В.В.* Верхний рифей Енисейского кряжа // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 9. С. 921–933.
- Хоментовский В.В., Шенфиль В.Ю., Якишин М.С.* Рифей Сибирской платформы // Геология и геофизика. 1985. № 7. С. 25–33.
- Хоментовский В.В., Наговицин К.Е., Постников А.А.* Маяний (1100–850 млн. лет) – добайкальский верхний рифей Сибири // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 1. С. 3–29.
- Шенфиль В.Ю.* Поздний докембрий Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1991. 185 с.
- Шенфиль В.Ю., Морякин В.Б.* Корреляция верхне-рифейских отложений вкрест структуры Енисейского кряжа в бассейне реки Большой Пит // Поздний докембрий и ранний палеозой Сибири. Сибирская платформа и ее обрамление. Сб. научных трудов. Новосибирск: ОИГГиМ СО АН СССР, 1991. С. 45–64.
- Шенфиль В.Ю., Брагин С.С., Диденко А.Н., Карлова Г.А.* Опорный разрез позднего докембрия восточных районов центральной части Енисейского кряжа // Новые данные по стратиграфии позднего докембрия запада Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. Новосибирск: Изд-во ИГиГ СО АН СССР, 1980. С. 30–35.
- Bartley J.K., Semikhatov M.A., Kaufman A.J., Knoll A.H., Pope M.C., Jacobsen S.B.* Global events across the Mesoproterozoic–Neoproterozoic boundary: C and Sr isotopic evidence from Siberia // Precambrian Res. 2001. V. 111. P. 165–202.
- Khabarov E.M., Ponomarchuk V.A., Morozova I.P.* Strontium isotopic evidence for supercontinental breakup and formation in the Riphean Western margin of the Siberian craton // Rus. J. Earth Sci. 2002. V. 4. № 4. P. 259–269.
- Khudoley A.K., Rainbird R.H., Stern R.A., Kropachev A.P., Hearman L.M., Zanin A.M., Podkovyrov V.N., Belova V.N., Sukhorukov V.I.* Sedimentary evolution of the Riphean–Vendian basin of southeastern Siberia // Precambrian Res. 2001. V. 111. P. 129–163.
- Kuznetsov A.B., Ovchinnikova G.V., Gorokhov I.M., Letnikova E.F., Kaurova O.K., Konstantinova G.V.* Age constraints on the Neoproterozoic Baikal Group from combined Sr isotopes and Pb–Pb dating of carbonates from the Baikal type section, southeastern Siberia // J. Asian Earth Sci. 2013. V. 62. P. 51–66.
- Kuznetsov A.B., Bekker A., Ovchinnikova G.V., Gorokhov I.M., Vasilyeva I.M.* Unradiogenic strontium and moderate-amplitude carbon isotope variations in early Tonian seawater after the assembly of Rodinia and before the Bitter Springs Excursion // Precambrian Res. 2017. V. 298. P. 157–173.
- Ludwig K.R.* User’s manual for Isoplot/Ex, version 3.00, a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center. Spec. Publ. 2003. V. 4. 72 p.
- Petrov P. Yu., Semikhatov M.A.* Sequence organization and growth patterns of late Mesoproterozoic stromatolite reefs: an example from the Burovaya Formation, Turukhansk Uplift, Siberia // Precambrian Res. 2001. V. 111. P. 257–281.
- Powerman V., Shatsillo A., Chumakov N., Pavlov V., Hourigan J., Kapitonov I.* Siberian Craton: a journey from Rodinia to CAOS as evidenced by detrital zircons // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Материалы совещания. Вып. 11. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2013. С. 278–283.
- Rainbird R.H., Stern R.A., Khudoley A.K., Kropachev A.P., Hearman L.M., Sukhorukov V.I.* U–Pb geochronology of Riphean supracrustal rocks from southeast Siberia and its bearing for Laurentia–Siberia connection // Earth Planet. Sci. Lett. 1998. V. 164. P. 409–420.

Рецензент А.Б. Котов

THE UPPER RIPHEAN OF THE YENISEI RANGE: Sr-CHEMOSTRATIGRAPHY AND Pb–Pb AGE OF THE TUNGUSIK AND SHIROKAYA GROUPS LIMESTONE

A. B. Kuznetsov¹, B. B. Kochnev², I. M. Vasilyeva¹, G. V. Ovchinnikova¹

¹ *Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS, St. Petersburg, Russia*

² *Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch RAS, Novosibirsk, Russia*

The Pb–Pb isotope age and the Sr isotope signature of sedimentary limestones of the Upper Riphean of the south of the Yenisei Range on the western margin of the Siberian Platform were obtained. The Pb–Pb age of carbonate sediments of the Dadykta Formation of the Tungusik Group in the Kamenka facial zone in the east of the Yenisei Range is 1020 ± 20 Ma. The Pb–Pb age of limestone of the Gorevka Formation of the Shirokaya Group in the Glushikha facies zone in the west of the region is estimated at 1020 ± 70 Ma. The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio in the limestones of the Dadykta Formation lies within 0.70536–0.70590, and that of the Gorevka – 0.70552–0.70578. This coincides with a decrease in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio in paleocean immediately after the culmination of the Grenville orogeny. The correlation of the Shirokaya Group with the Oslyanka Group of the Kamenka zone with other data restricts the accumulation of the Tungusik, Shirokaya, and Oslyanka groups at 1030–950 Ma intervals. The isotope age of the Middle and Upper Riphean boundary at the base of the Tungusik Group of the Yenisei Range is estimated at 1030 Ma, which is consistent with the age of this boundary in the sections of the Turukhansk Uplift and the Uchur-Maya region of Siberia. It was revealed that most part of the Upper Riphean (Neoproterozoic) in the sedimentary record of the Yenisei Range is absent. The observed facial zonation of the Riphean sediments of the Yenisei Range represents the configuration of the ancient sedimentary basin that existed on the western margin of the Siberian Platform long before the collision, accompanied by granite intrusions and metamorphism, in the Neoproterozoic.

Keywords: Rhiphean, Neoproterozoic, Sr-chemostratigraphy, Pb–Pb geochronology, Siberian platform, Yenisei Range.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-592X27546-62>