

УДК 552.143:551.248(571.62)

## ЭВОЛЮЦИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОТЕРОЗОЙСКИХ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ НА ЮГО-ВОСТОКЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (УЛКАНСКИЙ РАЙОН) ПО ЛИТОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Медведева С.А.

*ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина Дальневосточного отделения  
Российской академии наук, Хабаровск, e-mail: medvedeva@itig.as.khb.ru*

В работе показана реконструкция тектонических обстановок формирования протерозойских осадочно-вулканогенных толщ на юго-востоке Сибирской платформы. В Улканском районе залегают метаморфические, интрузивные, вулканические и осадочные породы. Осадочно-вулканогенная толща состоит из топориканской (песчаниковая), улкачанской (терригенно-вулканогенная), элгэтэйской (преимущественно вулканогенная) свит нижнепротерозойской улканской серии, бириндинской (терригенно-вулканогенная) и конкулинской (песчаниковая) свит нижнерифейской уянской серии. Среди методов реконструкций применяют методы на основе изучения вещественного состава песчаных пород. На основе данных о химическом составе песчаников предложены диаграммы: в 1982 г. J.V. Maynard с соавторами, в 1983 г. – M.R. Bhatia, в 1986 г. – V.P. Roser, R.J. Korsch. В целом или подробно они разделяли отложения континентальных или океанических островных дуг, активных или пассивных континентальных окраин. В 2013 г. S.P. Verma, J.S. Armstrong-Altrin опубликовали диаграммы  $DF_1 - DF_2$  с тремя обстановками: коллизионной, рифтовой, островодужной. Положение фигуративных точек изученных протерозойских песчаников на диаграммах XX века показывает сходные в целом обстановки: в раннем протерозое – пассивная континентальная окраина с периодами активизации; в позднем протерозое (раннем рифее) – пассивная континентальная окраина. Положение точек на новой диаграмме свидетельствует об отсутствии океанических вулканических дуг, и позволяет реконструировать смену коллизионных и рифтовых обстановок. Эта реконструкция хорошо сопоставима с опубликованной в 2007 г. В.А. Гурьяновым реконструкцией на основе изучения состава магматических пород вулканоплутонических комплексов данной территории. Тестирование новых диаграмм следует продолжить.

**Ключевые слова:** протерозой, рифей, валовый химический состав, песчаники, островная дуга, континентальная окраина, коллизия, рифт, Улканский район

## EVOLUTION OF TECTONIC CONDITIONS OF THE PROTEROZOIC SEDIMENTARY DEPOSITS FORMATION IN THE SOUTHEASTERN SIBERIAN PLATFORM (THE ULKAN AREA) FROM LITHOCHEMICAL DATA

Medvedeva S.A.

*Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,  
Khabarovsk, e-mail: medvedeva@itig.as.khb.ru*

The reconstruction of the tectonic conditions of formation of the Proterozoic sedimentary-volcanogenic sediments in the southeastern Siberian Platform is shown. The Ulkan area is composed by metamorphic, intrusive, volcanic and sedimentary rocks. Sedimentary-volcanogenic strata consist of Toporikansky (sandstone), Ulkachansky (terrirogenous-volcanic), Elgeteisky (mainly volcanic) formations of Lower Proterozoic Ulkan series, Birindinsky (terrirogenous-volcanic) and Konkulinsky (sandstone) formations of Lower Riphean Uyan series. Methods based on the study of the material composition of sandy rocks are used for reconstruction of tectonic conditions. Diagrams for tectonic reconstruction sediments have been proposed by Maynard et al. (1982), Bhatia (1983), Roser and Korsch (1986). These diagrams are based on data of sandstone composition. They classified sediments of continental or oceanic island arcs, active or passive continental margins. In 2013 Verma and Armstrong-Altrin published diagrams  $DF_1-DF_2$  with three tectonic settings: island arc, rift, and collision. The position of figurative points of the studied Proterozoic sandstones on the diagrams of the XX century shows similar tectonic settings: passive continental margin with periods of activation in the early Proterozoic; passive continental margin in the late Proterozoic (early Riphean). Figurative points on the new diagram indicate the absence of oceanic volcanic arcs and allow reconstruction of the change of the collision and rift settings. This reconstruction is fully consistent with that published by Gurianov (2007) based on the study of igneous rocks composition of volcano-plutonic complexes of this area. The new diagrams should be further tested.

**Keywords:** Proterozoic, Riphean, petrogenic elements, sandstone, island arc, continental margin, collision setting, rift, Ulkan area

Одной из фундаментальных проблем геологии является реконструкция палеотектонических, палеогеографических условий формирования осадочных бассейнов и их эволюции в геологической истории Земли. Среди различных методов восстановления

геологического прошлого (метод актуализма, литологический, палеонтологический, сейсмостратиграфический и другие) важную роль играют методы на основе изучения вещественного состава терригенных осадочных пород, образованных в резуль-

тате разрушения суши. На состав породы влияют разные факторы: состав пород областей сноса, климат и рельеф областей сноса, дальность переноса материала, высокий или низкий уровень моря, диагенез. Влияние многих этих составляющих обусловлено в основном тектоническим положением областей сноса и бассейнов, в которых происходит отложение сносимого материала. Следовательно, изучив вещество породы, можно восстановить тектоническую историю.

Цель работы – реконструкция тектонических обстановок формирования протерозойских осадочно-вулканогенных толщ некоторых тектонических структур юго-востока Сибирской платформы, объединенных в данной работе (согласно [1]) географическим названием Улканский район, на основе изучения валового химического состава песчаников.

Алдано-Майский осадочный бассейн в целом (Улканский район в том числе) является перспективным на выявление месторождений углеводородов, а также золота, платины, полиметаллов, урана, редких и редкоземельных элементов.

ватели чаще всего применяют диаграммы Дж. Мейнарда с соавторами (1982 г.), М.Р. Бхатиа (1983 г.), Б. Розера и Р. Корша (1986 г.) и новые диаграммы С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина (2013 г.) [3–6 и др.]. Фактический материал представлен сведениями о валовом химическом составе песчаников из докембрийских осадочно-вулканогенных толщ Улканского района (юго-восток Сибирской платформы, Алдано-Становой щит) из опубликованных [1] и фондовых источников. На диаграммы нанесены в качестве эталонных фигуративные точки средних составов палеозойских песчаников Восточной Австралии, Американской платформы и алевропесчаников Русской платформы.

#### Геологический очерк

В районе распространены разновозрастные метаморфические, интрузивные, вулканические и осадочные породы [1]. В Улканском прогибе в основании разреза нижнепротерозойской улканской серии на архейскую кору выветривания с размытом налегает песчаниковая топориканская свита, которую наращивают терригенно-вулканогенная улкачанская и преимущественно вулканогенная, элгэтэйская свиты (рис. 1, II). В Учурской впадине на корях выветривания и вулканитах элгэтэйской свиты несогласно залегают терригенно-

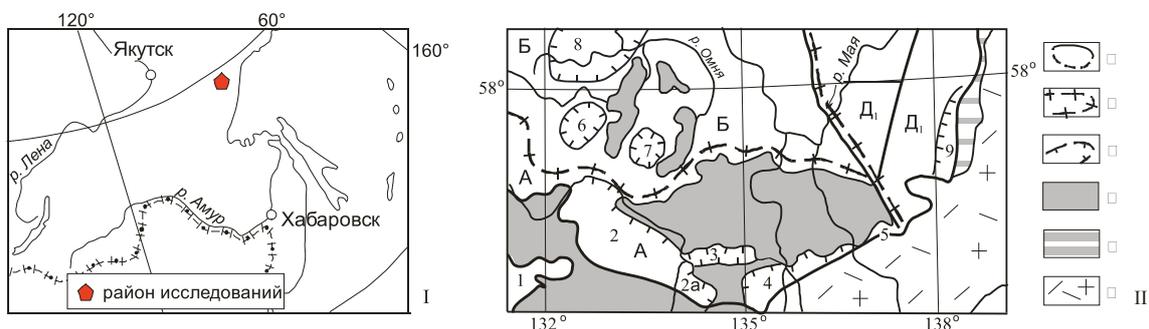


Рис. 1. I – положение района исследований. II – южный фрагмент схемы структурно-фациального районирования Алдано-Майского осадочного бассейна (АМОБ) по [1, 2]. 1–3 – границы:

1 – АМОБ, 2 – структурно-фациальных зон, 3 – локальных структур. Буквы на схеме: А – Учурская и Б – Майская зоны Алдано-Майской плиты, Д<sub>1</sub> – Кыллахская южная зона Юдомо-Майского авлакогена. В составе зон: Амуликанский грабен (1), Учурская впадина (2), Улканский прогиб (2а), Верхнеугаянский грабен (3), Маймаканская впадина (4), Верхнебатомгский грабен (5); мульды: Большемаркюэльская (6), Маломаркюэльская (7), Аимская (8); Билякчанский прогиб (9). 4, 5 – архейские кристаллические образования фундамента АМОБ: 4 – Алдано-Станового щита Сибирской платформы, 5 – Охотского массива, 6 – меловые вулканоплутонические комплексы

#### Материалы и методы исследования

Реконструкции проводились с использованием диаграмм, разработанных для разделения активных и пассивных континентальных окраин (АКО и ПКО), островных дуг (океанических ООД и континентальных КОД) и диаграмм для распознавания коллизионных, рифтовых и островодужных тектонических обстановок. Отечественные и зарубежные исследо-

вулканогенная бириндинская и песчаниковая конкулинская свиты нижнерифейской уянской серии. В Билякчанском прогибе Кыллахской южной структурно-фациальной зоны [2] обнажается нижнепротерозойская нельбачанская свита, которую сопоставляют с улканской серией. Песчаники топориканской свиты

по петрографическому составу полевошпат-кварцевые и кварцевые (по валовому химическому составу они – субаркозы), что указывает на их зрелость и накопление в тектонически спокойных условиях (ПКО). В улкачанское время произошло трещинное излияние трахибазальтов, что позволило В.А. Гурьянову сделать заключение о рифтовом режиме. Затем был сформирован доэргэтэйский фундамент воздыманием более поздних интрузий (коллизия). И в конце раннего протерозоя вновь следует трещинообразование, излияние базальт-трахириолитовых лав, отложение терригенных пород элгэтэйской

*Вещественный состав пород  
(петрография и литохимия)*

Петрографическое изучение показало, что породы являются кварцевыми, полевошпатово-кварцевыми песчаниками, реже кварцевыми аркозами [1]. Оксиды содержатся в количестве (здесь и далее в мас. %): SiO<sub>2</sub> – 74,2–96,2, TiO<sub>2</sub> – 0,04–0,95, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,3–11,8, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,46–4,74, MgO – 0,1–5,32, CaO – 0,01–3,6, Na<sub>2</sub>O – 0,08–5,78, K<sub>2</sub>O – 0,52–7,4, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,01–0,78 ([1] и фондовые материалы). По химической классификации М.М. Хиррона большинство песчаников – это аркозы и субаркозы (рис. 2).

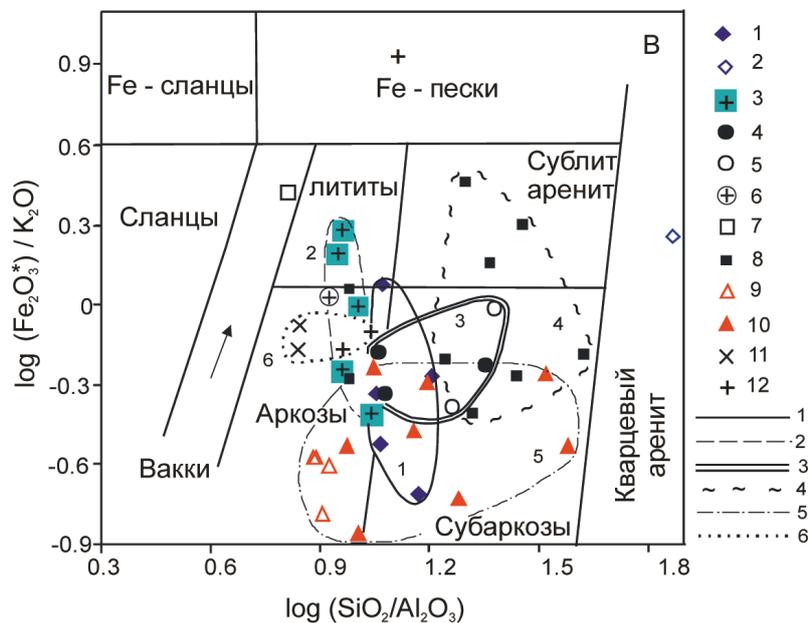


Рис. 2. Положение составов песчаников на классификационной диаграмме по М.М. Хиррону (Heron, 1988). Фигуративные точки составов песчаников свит: 1, 2 – топориканской: 1 – полевошпат-кварцевый, 2 – кварцевый; 3 – улкачанской: полевошпат-кварцевый; 4–6 – элгэтэйской: 4 – полевошпат-кварцевый, 5 – кварцевый, 6 – вулканомиктовый; 7, 8 – бириндинской: 7 – аркозовый, 8 – полевошпат-кварцевый; 9, 10 – конкулинской: 9 – аркозовый, 10 – полевошпат-кварцевый; 11, 12 – нельбачанской: 11 – полевошпат-кварцевый, 12 – кварцевый. 1 – 6 – поля песчаников свит: 1 – топориканской, 2 – улкачанской, 3 – элгэтэйской, 4 – бириндинской, 5 – конкулинской, 6 – нельбачанской

свиты (вновь рифтовый режим). Геохимические параметры магматических пород свидетельствуют о внутриплитных рифтогенных геодинамических обстановках Улканского и Билякчанского прогибов. Внедрение гранитоидов завершило закрытие рифтогенной структуры [1]. После перерыва, в раннем рифее, в постколлизиионной спокойной обстановке происходило отложение бириндинской свиты на корях выветривания более древних пород.

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

На диаграммах М.Р. Бхатиа фигуративные точки палеозойских песчаников Восточной Австралии расположились в предзначенных для них полях соответственно (рис. 3).

Точка среднего песчаника Американской платформы тяготеет к полю ПКО, а точка алевропесчаника Русской платформы – либо к полю АКО, либо к полю КОД. Причина заключается в том, что алевропесчаники

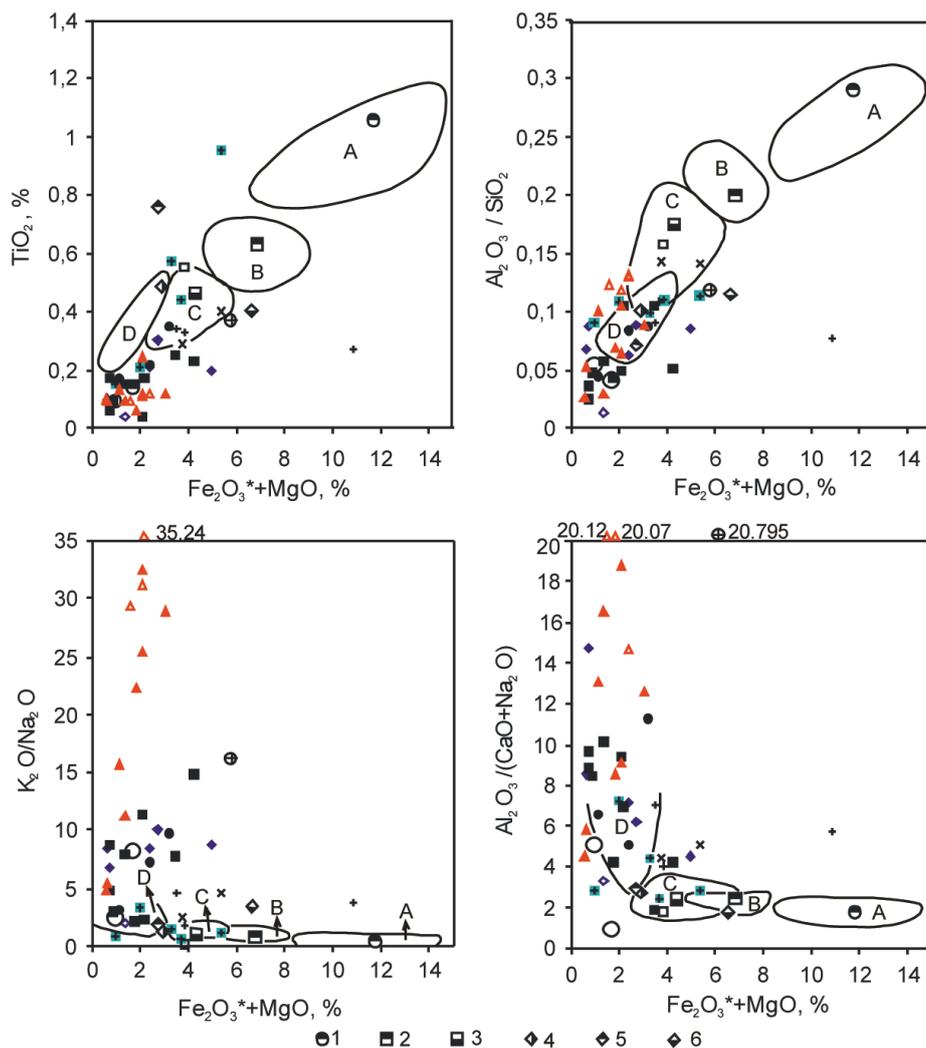


Рис. 3. Фигуративные точки составов песчаников на диаграммах по М.Р. Бхатиа (Bhatia, 1983). Бассейны, связанные с тектоническими обстановками: А – ООД (oceanic island arc OIA), В – КОД (continental island arc CIA), С – АКО (active continental margin ACM), D – ПКО (passive margin PM). I – VI – точки составов средних песчаников: I – OIA, II – CIA, III – ACM, IV – PM по (Bhatia, 1983), V – Американской платформы по (Bhatia, 1983 со ссылкой на Ронов, Мигдисов, 1971), VI – Русской платформы по [7]. Остальные условные обозначения на рис. 2

(и алевроглинистые породы) содержат больше  $Fe_2O_3$  и  $MgO$  по сравнению с песчаниками. Большинство фигуративных точек вулканических песчаников тяготеет к полю бассейнов, связанных с ПКО. На диаграммах, основанных на содержаниях  $K_2O$  и  $Na_2O$ , значительное число точек песчаников бириндинской, и особенно конкулинской, свит находится намного выше поля ПКО (рис. 3). К полю АКО наиболее тяготеют фигуративные точки песчаников нельбачанской свиты и часть точек улкачанской свиты. В полях ООД точек докембрийских песчаников нет. По этим диаграммам можно заключить, что наиболее спокойные обстановки были в раннем рифее.

На диаграммах  $K_2O/Na_2O - SiO_2/Al_2O_3$  Дж. Мейнарда с соавторами и  $SiO_2 - K_2O/Na_2O$  Б. Розера и Р. Корша фигуративные точки палеозойских песчаников Восточной Австралии также находятся в предназначенных для них полях, Американской и Русской платформ – в поле ПКО (рис. 4, а). За исключением единственной точки, все фигуративные точки докембрийских песчаников находятся в поле ПКО, образуя локальные, хотя и с некоторым перекрытием, поля свит. Но заметно, что поле 2 (точки улкачанской свиты) и поле 6 (точки нельбачанской свиты) расположены ближе других к полю АКО (рис. 4, а). По приведенным параметрам

трам возможно дать общую тектоническую характеристику как спокойную с тенденцией активизации в улкачанское время.

Изученные песчаники содержат более 63% SiO<sub>2</sub> (кислые), и поэтому была выбрана диаграмма DF<sub>1</sub>-DF<sub>2</sub> для высококремнистых пород по [8]. На диаграмме DF<sub>1</sub>-DF<sub>2</sub> С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина фигуративные точки средних песчаников Восточной Австралии (I, II, III), характеризующие активные тектонические обстановки, находятся в секторе дуг (рис. 4, б). «Неактивные» точки пассивной окраины Восточной Австралии (IV) и алевропесчаника Русской платформы (VI) расположены в коллизионном секторе. На данной диаграмме DF<sub>1</sub>-DF<sub>2</sub> нет поля ПКО (аналога поля платформ), поэтому фигуративные точки составов пассивных песчаников вынуждены располагаться в полях либо рифта, либо коллизии. Вероятно, на диаграммах DF<sub>1</sub> – DF<sub>2</sub> (2013 г.) поле коллизионной обстановки отвечает полю ПКО (и платформы) на ранних диаграммах конца XX века. В секторе дуг точек описываемых песчаников нет. В секторе коллизионной обстановки локализовалось большинство точек песчаников нижнепротерозойских нельбачанской и топориканской свит, а также точки нижнерифейской (верхнепротерозойской) конкулинской свиты. Точки песчаников нижнепротерозойских улкачанской и элгэтэйской свит и нижнерифей-

ской бириндинской свиты расположились в секторе рифтовой обстановки, причем «улкачанские» точки находятся ближе «элгэтэйских» и «бириндинских» к сектору дуг. По положению полей свит возможна следующая интерпретация тектонических обстановок в разные временные периоды. Топориканская свита формировалась в постколлизивной спокойной обстановке. Нахождение точек улкачанских песчаников в рифтовом секторе диаграммы DF<sub>1</sub> – DF<sub>2</sub> и их близость к сектору дуг может маркировать начало рифтогенеза, а «элгэтэйские» точки также в рифтовом секторе – его продолжение. Разброс точек песчаников бириндинской свиты предположительно связан с началом коллизии, а компактное поле точек песчаников конкулинской свиты в коллизионном секторе – с периодом тектонической стабилизации. Реконструкция на основе химического состава песчаников не противоречит реконструкции, проведенной на основе структурно-вещественного состава магматических пород вулканоплутонических комплексов, и описанной в разделе «Геологический очерк» со ссылкой на [1]. Однако вопросы остаются и касаются в большей степени интерпретации коллизионных обстановок. Пока нет диаграмм, удовлетворяющих желанию надежно распознавать тектонические обстановки, хотя исследования по их созданию проводятся [3, 6 и др.].

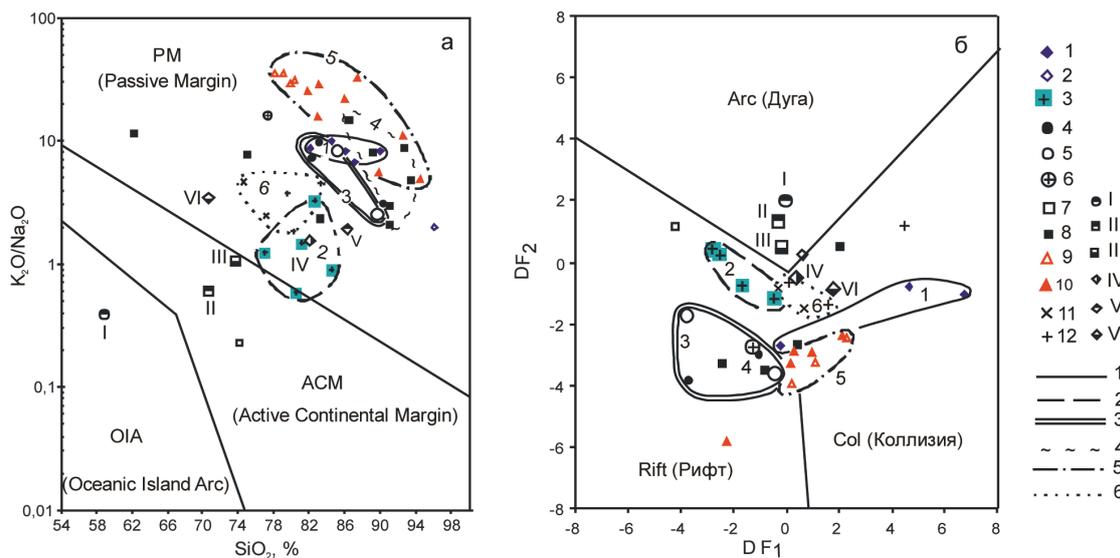


Рис. 4. Положение фигуративных точек составов песчаников: а – на диаграмме SiO<sub>2</sub> – K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O по (Roser, Korsch, 1986), б – на мультидиаграмме DF<sub>1</sub> (Arc-Rift-Col) m<sub>1</sub> – DF<sub>2</sub> (Arc-Rift-Col) m<sub>1</sub> по [8]. Условные обозначения на рис. 2, 3

### Заключение

Реконструированы тектонические обстановки пассивной континентальной окраины с периодами активизации в раннем протерозое, пассивной континентальной окраины – в позднем протерозое (раннем рифее). Локализация полей песчаников разных свит на новой диаграмме  $DF_1$ - $DF_2$  позволяет предполагать смену рифтовых и коллизионных обстановок как в раннем, так и в позднем протерозое. Следует продолжить тестирование новых мультидиаграмм, применять их для выделения континентальных рифтов. Желательно соблюдать ограничения методов (в частности, сомнительно на диаграммы М.Р. Бхатиа помещать фигуративные точки алевроглинистых пород).

### Список литературы

1. Гурьянов В.А. Геология и металлогения Улканского района (Алдано-Становой щит) / В.А. Гурьянов. – Владивосток: Дальнаука, 2007. – 227 с.
2. Варнавский В.Г. Алдано-Майский осадочный бассейн (Юго-Восток Северо-Азиатского кратона): литостратиграфия докембрия, кембрия / В.Г. Варнавский // Тихоокеанская геология. – 2015. – Т. 34, № 2. – С. 82–102.
3. Дискриминантные палеогеодинамические диаграммы для терригенных пород: опыт сопоставления / А.В. Маслов [и др.] // Геохимия. – 2016. – № 7. – С. 579–595.
4. Малиновский А.И. Литохимия палеоостроводужных комплексов орогенных поясов Дальнего Востока России / А.И. Малиновский, М.И. Тучкова // Тихоокеанская геология. – 2010. – Т. 29, № 5. – С. 5–22.
5. Медведева С.А. О литохимических диаграммах на примере докембрийских песчаников Улканского района (Алдано-Становой щит) // Тектоника современных и древних океанов и их окраин: материалы XLIX Тектонического совещ. – М.: ГЕОС, 2017. – Т. 2. – С. 10–14.
6. Huntsman-Mapila P., Tiercelin J.J., Benoit M., Ringrose S., Diskin S., Cotten J., Hemond C. Sediment geochemistry and tectonic setting: Application of discrimination diagrams to early stages of intracontinental rift evolution, with examples from the Okavango and Southern Tanganyika rift basins // Journal of African Earth Sciences. 2009. Vol. 53. no. 1–2. pp. 33–44.
7. Распространенность редкоземельных элементов в главных литологических типах пород осадочного чехла Русской платформы / А.А. Мигдисов [и др.] // Геохимия. – 1994. – № 6. – С. 789–803.
8. Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S. New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins // Chem. Geol. – 2013. – Vol. 355. – P. 117–133.

### References

1. Gurjanov V.A. Geologija i metallogenija Ulkanskogo rajona (Aldano-Stanovoj shhit) / V.A. Gurjanov. Vladivostok: Dalnauka, 2007. 227 p.
2. Varnavskij V.G. Aldano-Majskij osadochnyj bassejn (Jugo-Vostok Severo-Aziatskogo kratona): litostratigrafija dokembrija, kembrija / V.G. Varnavskij // Tihookeanskaja geologija. 2015. T. 34, no. 2. pp. 82–102.
3. Diskriminantnye paleogeodinamicheskie diagrammy dlja terrigennyh porod: opyt sopostavlenija / A.V. Maslov [i dr.] // Geohimija. 2016. no. 7. pp. 579–595.
4. Malinovskij A.I. Litohimija paleoostrovoduzhnyh kompleksov orogennyh pojasov Dalnego Vostoka Rossii / A.I. Malinovskij, M.I. Tuchkova // Tihookeanskaja geologija. 2010. T. 29, no. 5. pp. 5–22.
5. Medvedeva S.A. O litohimicheskikh diagrammah na primere dokembrijskih peschanikov Ulkanskogo rajona (Aldano-Stanovoj shhit) // Tektonika sovremennyh i drevnih okeanov i ih okrain: materialy XLIX Tektonicheskogo soveshh. M.: GEOS, 2017. T. 2. pp. 10–14.
6. Huntsman-Mapila P., Tiercelin J.J., Benoit M., Ringrose S., Diskin S., Cotten J., Hemond C. Sediment geochemistry and tectonic setting: Application of discrimination diagrams to early stages of intracontinental rift evolution, with examples from the Okavango and Southern Tanganyika rift basins // Journal of African Earth Sciences. 2009. Vol. 53. no. 1–2. pp. 33–44.
7. Rasprostranennost redkozemelnyh jelementov v glavnyh litologicheskikh tipah porod osadochnogo chehla Russkoj platformy / A.A. Migdisov [i dr.] // Geohimija. 1994. no. 6. pp. 789–803.
8. Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S. New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins // Chem. Geol. 2013. Vol. 355. pp. 117–133.