

УДК 551.242.11: 552.5

ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНО-САХАЛИНСКОГО ТЕРРЕЙНА ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Малиновский А.И.*ФАНО ФГБУН Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения
Российской академии наук, Владивосток, e-mail: malinovsky@fegi.ru*

В статье рассматриваются результаты изучения геохимического состава терригенных пород из меловых отложений Западно-Сахалинского террейна, а также дана его палеогеодинамическая интерпретация. Проведенные исследования показали, что по своим параметрам породы наиболее соответствуют грауваккам и являются петрогенными. Они характеризуются невысокой степенью зрелости обломочного материала, при этом содержат как фрагменты основных вулканических пород, так и сиалическую кластику. Палеогеодинамическая обстановка формирования отложений Западно-Сахалинского террейна наиболее соответствует бассейну активной континентальной окраины андийского типа, осложненной сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам. Область питания, поставлявшая обломочный материал в этот бассейн, объединяла древнюю сиалическую сушу, сложенную гранитно-метаморфическими породами, и зрелую глубоко расчлененную энсиалическую дугу, в которой эрозия вскрыла гранитоидные батолиты, подстилавшие вулканы.

Ключевые слова: Западно-Сахалинский террейн, геохимия, геодинамические обстановки, мел, песчаники

PALEOGEODYNAMIC SETTINGS OF THE WEST SAKHALIN TERRAIN SEDIMENTS FORMATION BASED ON GEOCHEMICAL DATA

Malinovskiy A.I.*Far East Geological Institute Far East Branch Russian Academy of Sciences, Vladivostok,
e-mail: malinovsky@fegi.ru*

The results of the geochemical composition study of the terrigenous rocks from the Cretaceous deposits of the West-Sakhalin terrane and their paleogeodynamic interpretation are considered in the article. Based on their peculiarities, the rocks are best matched to greywacke, being petrogenic. They are characterized by a low maturity of clastic material, in such a way they contain fragments of both basic and felsic rocks. Paleogeodynamic depositional environment of the West-Sakhalin terrane best corresponds to an active continental margin basin of Andean-type complicated by strike-slip dislocations along the transform faults. The feeding source for this basin includes the granite-metamorphic rocks of the ancient sialic land and mature deeply dissected ensialic arc in which erosion exposed granitoid batholiths underlying volcanics.

Keywords: West Sakhalin terrain, geochemistry, geodynamic settings, Cretaceous, sandstones

Проведенные в последние десятилетия рядом российских и зарубежных авторов исследования древних терригенных пород и современных осадков позволили установить существование тесной связи между их геохимическим составом и геодинамическими обстановками бассейнов седиментации, а также типом и породным составом областей питания, поставлявших обломочный материал в эти бассейны [2–5, 8–14]. Целью проведенных исследования являлось изучение геохимического состава терригенных пород мела Западно-Сахалинского террейна и его палеогеодинамической интерпретации.

В основу исследований положен обширный оригинальный материал, полученный в результате изучения содержания и характера распределения петрогенных и редких элементов в песчаных и глинисто-алевроитовых породах мела Западно-Сахалинского террейна. Каменный материал был собран из естественных обнажений, располагаю-

щихся в береговых обнажениях рек, на побережье Татарского пролива, а также вдоль автомобильных дорог. Содержания петрогенных элементов определены с использованием атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500 Duo. Концентрации редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) определены методом плазменной спектроскопии (ICP-MS) на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500c. Все анализы выполнены в лабораториях Аналитического центра (ЦКП) ДВГИ ДВО РАН.

Региональная геологическая позиция

Западно-Сахалинский террейн входит в состав мезозойско-кайнозойского Сахалинско-Камчатского орогенного пояса и является одной из главнейших тектонических структур зоны перехода от Тихого океана к Азиатскому континенту [1]. Террейн располагается на территории Западно-Саха-

линских гор, протягиваясь полосой вдоль побережья Татарского пролива на 650 км (рис. 1). Границами его являются Западно-Сахалинская и Тымь-Поронайская системы разломов. Южным его продолжением является пояс Сорачи-Йезо на о. Хоккайдо [1]. В строении террейна принимают участие в различной степени дислоцированные и хорошо датированные берриас-датские отложения, с разрывом, но без углового несогласия перекрывающиеся кайнозойскими образованиями [4]. Следует отметить, что отложения, расположенные к северу и югу от широты г. Углегорск, отличаются между собой как по мощностям, так и по faci-

альным обстановкам осадконакопления. Отложения южной части террейна имеют мощность до 5500 м и представлены преимущественно морскими глубоководными терригенными образованиями. Отложения северной части характеризуются почти двукратным увеличением мощности отложений (до 9000 м), а также накоплением осадков как в мелководно-морских, так и в глубоководных обстановках подводного континентального склона, его подножья и прилегающих участков бассейновой равнины. Следует отметить минимальное влияние на процессы осадконакопления синхронного андезито-базальтового вулканизма.

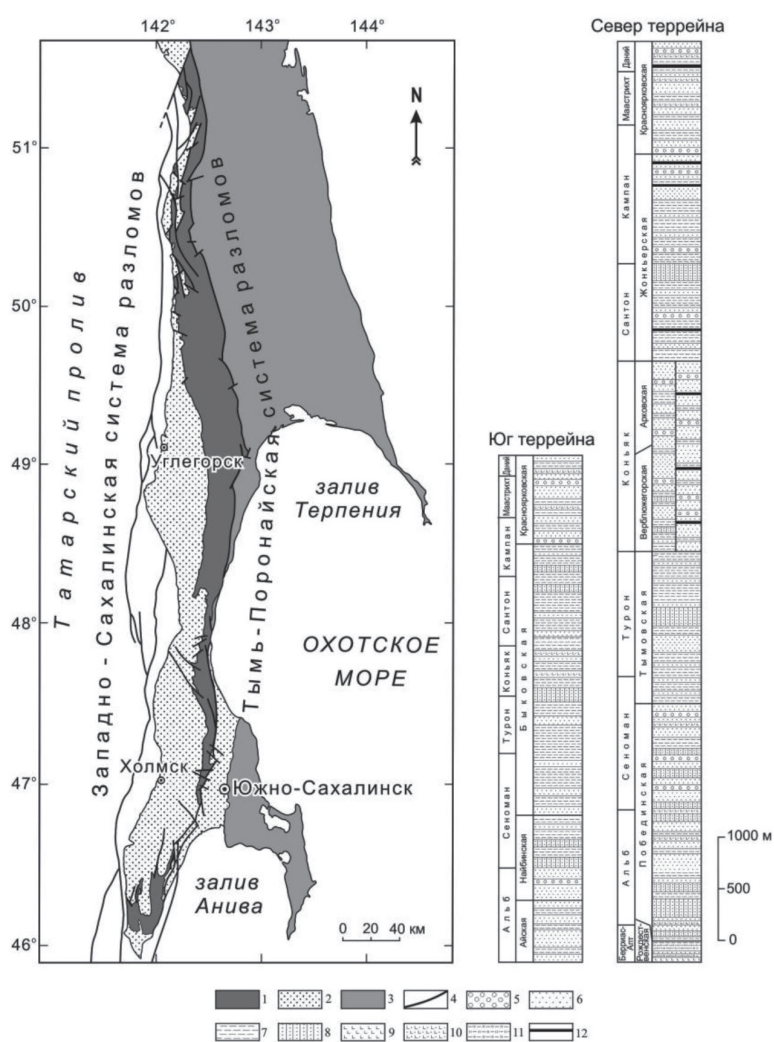


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Западно-Сахалинского террейна и литолого-стратиграфические колонки его южной и северной частей. Для карты: 1 – меловые терригенные образования; 2 – палеоцен-плиоценовые терригенные и вулканогенные образования; 3 – террейны и перекрывающие комплексы Восточного Сахалина; 4 – разломы. Для колонок: 5 – конгломераты и гравелиты; 6 – песчаники; 7 – алевриты и аргиллиты; 8 – ритмичное переслаивание песчаников и алевритов; 9 – базальты; 10 – туфы и туффиты; 11 – кремнистые и кремнисто-глинистые породы; 12 – угли

**Геохимический состав
терригенных пород**

Для геохимической характеристики пород используются средние содержания породообразующих оксидов, редких и редкоземельных элементов (РЗЭ), сгруппированные по существующим стратиграфическим подразделениям.

По химическому составу песчаники мела Западно-Сахалинского террейна довольно однородны. Отмечаются лишь несколько более высокие содержания кремнекислоты в породах его северной части, которые варьируют от 65,54% до 75,70%. В породах южной части содержания SiO_2 ниже и изменяются от 64,74% до 70,24%. Вместе с тем в породах северной части террейна ниже содержания TiO_2 (0,43–0,64% и 0,49–0,71% соответственно), Al_2O_3 (11,67–14,81% и 13,99–15,40%), $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (1,33–5,30% и 3,50–5,91%), MgO (0,69–1,88% и 1,01–1,11%), CaO (1,12–1,74% и 1,19–2,87%), Na_2O (2,18–3,62% и 3,02–3,98%) и K_2O (1,43–2,99% и 2,28–2,71%). Кроме того, все песчаники характеризуются свойственным для граувакк преобладанием Na_2O над K_2O . По своим геохимическим параметрам песчаники относятся к типичным грауваккам и лишь незначительная их часть характеризуется

как лититовые арениты (рис. 2) [6]. Глинисто-алевритовые породы по химическому составу близки к песчаникам, отличаясь от них меньшими содержаниями SiO_2 (62,84–66,94% в северной части и 63,56–64,92% – в южной), CaO (0,28–1,92% и 0,95–2,38%) и Na_2O (1,57–2,55% и 2,13–3,42%), но большими – TiO_2 (0,63–0,76% и 0,59–0,66), Al_2O_3 (15,32–16,92%), $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (3,01–5,66% и 4,85–5,88%), MgO (0,88–2,44% и 1,72–2,15%) и K_2O (2,75–3,70% и 2,20–2,91%). Кроме того, в них K_2O , как правило, преобладает над Na_2O .

Для получения объективных выводов об интенсивности и направленности процессов выветривания материнских пород в областях сноса, петрогенной или литогенной природе осадков, а также корректных палеореконструкций условий и обстановок осадконакопления, использован ряд петрохимических модулей [8]. По этим показателям терригенные породы террейна близки друг другу и характеризуются:

1) невысокими значениями гидролизатного модуля ($\text{ГМ} = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})/\text{SiO}_2$, в среднем по свитам 0,18–0,31), свидетельствующими об их образовании за счет механического разрушения материнских пород при подчиненной роли химического выветривания;

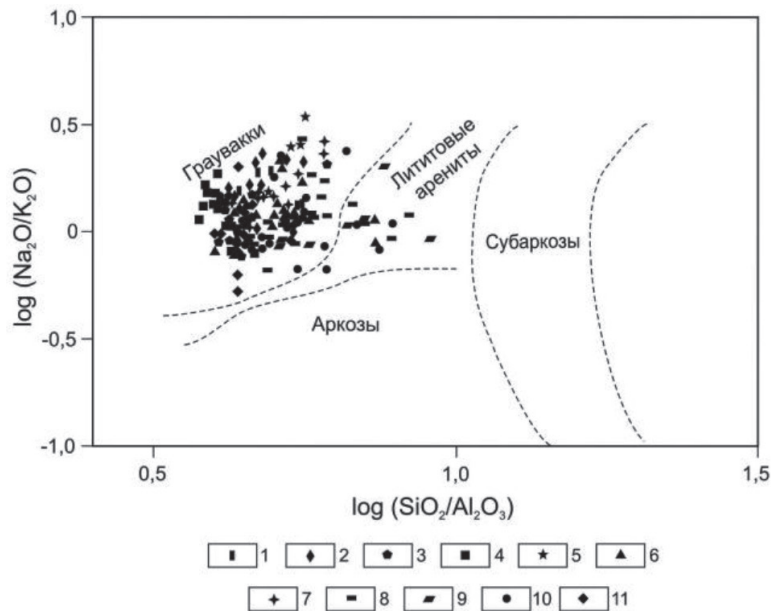


Рис. 2. Классификационная диаграмма состава песчаных пород Западно-Сахалинского террейна (частные значения) [6]. 1–11 – свиты: 1–4 – южная часть террейна: 1 – айская, 2 – найбинская, 3 – быковская, 4 – красноярковская; 5–11 – северная часть террейна: 5 – рождественская толща, 6 – побединская, 7 – тымовская, 8 – верблюжегорская, 9 – арковская, 10 – джонкьерская, 11 – красноярковская

2) уровнем фемичности ($ФМ = (Fe_2O_3 + FeO + MnO + MgO)/SiO_2$, в среднем 0,06–0,13), соответствующем граувакками,

3) невысокой титанистостью ($ТМ = TiO_2/Al_2O_3$, в среднем 0,034–0,046), но повышенной нормативной щелочностью ($HKM = (Na_2O + K_2O)/Al_2O_3$, в среднем 0,34–0,45), что связано, с одной стороны, с присутствием в породах островодужной вулканокластике низкотитанистых (но высокоглиноземистых) серий, а с другой – обломков кислых изверженных пород.

Изучение содержания и характера распределения редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) в терригенных породах также крайне важно, поскольку они несут достаточно объективную информацию о составе областей питания и геодинамических обстановках формирования бассейнов седиментации. Суммарные содержания РЗЭ в западно-сахалинских песчаниках относительно невелики (в среднем по свитам от 82 г/т до 139 г/т). Спектры их распределения характеризуются умеренной степенью фракционирования с невысоким отношением легких лантаноидов к тяжелым ($La_N/Yb_N = 5,79–12,15$), а также отчетливо выраженной отрицательной европиевой аномалией ($Eu/Eu^* = 0,68–0,84$) (рис. 3, а). По сравнению с постархейским австралийским средним глинистым сланцем (РААС) [7], все песчаники незначительно обеднены как легкими, так и тяжелыми элементами (в 1,1–2,8 раза). В глинисто-алевритовых породах суммарный уровень концентрации РЗЭ несколько выше и находится в пределах 104–164 г/т, общий же характер распределения в целом аналогичен таковому в песчаниках ($La_N/Yb_N = 6,17–11,19$,

$Eu/Eu^* = 0,59–0,84$) (рис. 3, б). По сравнению с РААС содержания большинства РЗЭ ниже (до 1,9 раза), и лишь в некоторых свитах Sm, Eu, Gd, Er, Tm и Yb находятся в равных либо незначительно превышающих концентрациях.

Геодинамическая интерпретация полученных результатов

Реконструкция палеогеодинамических обстановок формирования отложений Западно-Сахалинского террейна осуществлена при помощи серии диаграмм, в основу которых положен ряд индикаторных оксидов, редких и редкоземельных элементов, а также их соотношений, отражающих минеральный состав пород питающих провинций и геохимическое поведение ряда элементов в воде [9, 10, 13, 14]. На рис. 4, а–в приведены дискриминационные диаграммы, применяющиеся для разделения песчаных пород из бассейнов различных геодинамических обстановок по химическому составу [9, 13, 14]. На этих диаграммах точки песчаники террейна попадают либо приближаются к полям бассейнов, сопряженных с островными дугами, развитыми на зрелой континентальной коре (например, Японские острова), а также к полям бассейнов активных континентальных окраин андийского типа, включающих в себя в том числе и окраины, осложненные сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам. Палеогеодинамическая интерпретация химического состава глинисто-алевритовых пород не противоречит выводам, полученным при интерпретации состава песчаников (рис. 4, б, г) [13, 14].

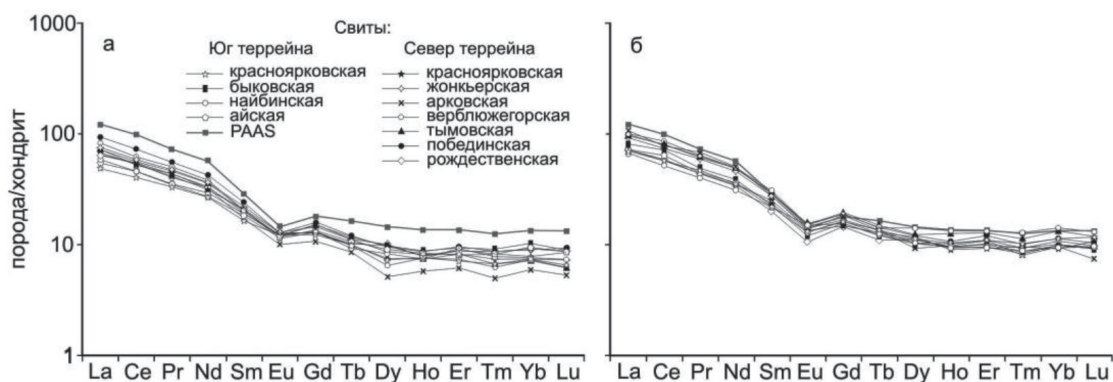


Рис. 3. Распределение РЗЭ, нормированных по хондриту, в песчаных (а) и глинисто-алевритовых (б) породах Западно-Сахалинского террейна и сопоставление их с РААС [7]

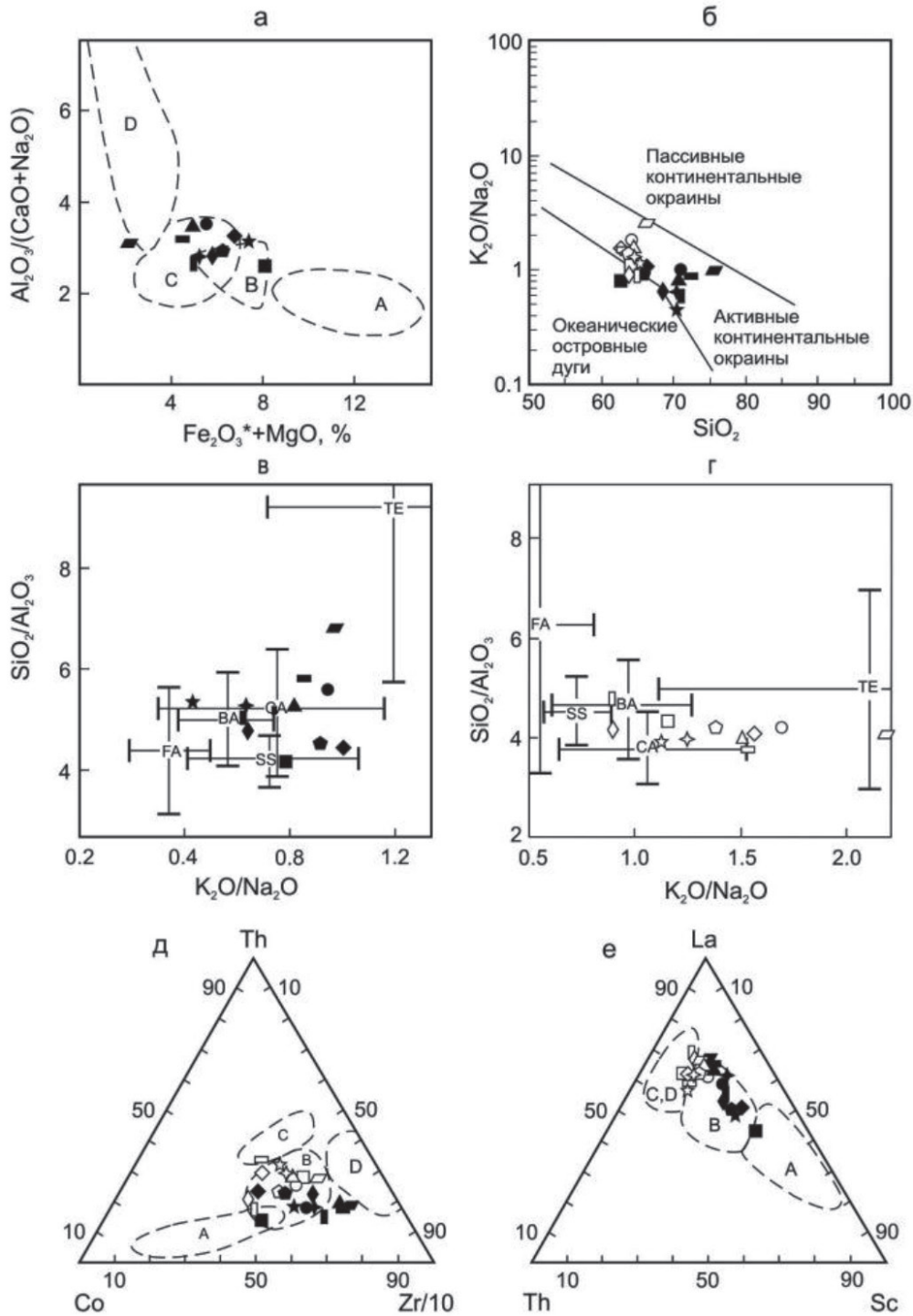


Рис. 4. Палеогеодинамическая интерпретация геохимического состава песчаных и глинисто-алевритовых пород Западно-Сахалинского террейна (средние значения): а, д, е – типы бассейнов, сопряженных: А – с океаническими, В – с континентальными островными дугами, С – с активными, D – с пассивными континентальными окраинами [9, 10]; б, в, г – типы бассейновых обстановок (в – для песчаных, г – для глинисто-алевритовых пород, б – для обоих типов пород) [13, 14]. Для в и г – пересекающиеся линии – стандартные отклонения от среднего состава пород из бассейнов: пассивных континентальных окраин (ТЕ); активных континентальных окраин, осложненных сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам (SS); сопряженных с окраинно-континентальными магматическими дугами (СА); с океаническими вулканическими дугами (FA – преддуговые и BA – задуговые бассейны). Условные обозначения см. рис. 2. Черные значки – песчаные, белые – глинисто-алевритовые породы

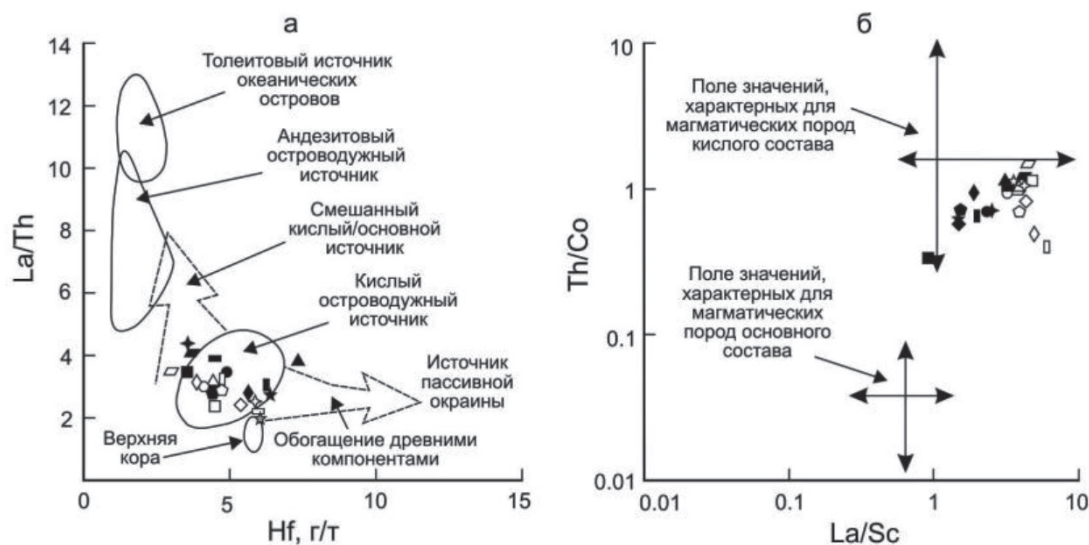


Рис. 5. Типы источников обломочного вещества для терригенных пород Западно-Сахалинского террейна [11, 12]. Условные обозначения см. рис. 2 и 4

Анализ положения фигуративных точек состава редких и редкоземельных элементов на диаграммах М. Бхатиа и А. Крука [10], также предназначенных для реконструкции палеогеодинамических обстановок бассейнов седиментации, подтверждает результаты полученные по петрогенным элементам: фигуративные точки терригенных пород террейна группируются в полях бассейнов как активных континентальных окраин, в том числе сопряженных со сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам, так и бассейнов, связанных с окраинно-континентальными магматическими дугами (рис. 4, д, е).

Поскольку уровни концентраций и распределение редких и РЗЭ в терригенных породах контролируются составом источников питания, их генетическая интерпретация с использованием ряда индикаторных элементов и их соотношений позволяет получить достаточно достоверную информацию о составе материнских пород питающих провинций. Относительно невысокие концентрации в породах террейна РЗЭ, при незначительной их обогащенности легкими элементами по сравнению с тяжелыми, а также умеренно выраженная отрицательная Eu аномалия указывают на формирования отложений как за счет размывавшихся гранитно-метаморфических пород, так и основных вулканитов. Положение точек пород на диаграммах, предназначенных для реконструкции состава питающих про-

винций (рис. 5) [11, 12], свидетельствует, что область питания включала в себя как гранитно-метаморфические породы древней сиалической суши, так и расчлененную глубоко эродированную энсиалическую дугу, в которых эрозия вскрыла батолиты гранитоидов, подстилавших вулканиты. Отложения формировались за счет разрушения собственно вулканических образований дуги и гранитно-метаморфических пород ее фундамента.

Заключение

Изучение геохимического состава терригенных пород мела Западно-Сахалинского террейна свидетельствует, что по своим параметрам породы соответствуют грауваккам и являются петрогенными. Они характеризуются невысокой зрелостью обломочного материала, содержащего как фрагменты вулканических пород, так и сиалическую кластику. Геодинамическая интерпретация полученных данных свидетельствует, что седиментация, вероятно, происходила в бассейне активной континентальной окраины андийского типа, осложненной сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам. Область питания, поставившая обломочный материал в этот бассейн, объединяла сиалическую сушу, сложенную гранитно-метаморфическими породами, и зрелую расчлененную энсиалическую дугу, в которой эрозия вскрыла гранитоидные батолиты, подстилавшие

вулканиты. В целом полученные результаты хорошо коррелируются с результатами, полученными при изучении кайнозойских песчаников террейна [4].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-05-00857-а и проекта ДВО РАН № 15-I-2-001 о.

Список литературы

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / ред. А.И. Ханчук. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – Кн. 1. – 981 с.
2. Дмитриева Н.В. Петрогеохимические особенности метатерригенных пород Канского блока Восточного Саяна: реконструкция источников сноса и условий осадкообразования / Н.В. Дмитриева, О.М. Туркина, А.Д. Ножкин // Литология и полез. ископаемые. – 2008. – № 2. – С. 186–201.
3. Летникова Е.Ф. Неопротерозойские терригенные отложения Тувино-Монгольского массива: геохимическая корреляция, источники сноса, геодинамическая реконструкция / Е.Ф. Летникова и др. // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 12. – С. 2110–2121.
4. Малиновский А.И. Состав и геодинамическая природа песчаников кайнозоя юга Западно-Сахалинского прогиба / А.И. Малиновский // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 3. – С. 171–176.
5. Маслов А.В. К оценке палеогеодинамических обстановок формирования осадочных последовательностей нижнего и среднего рифея Учуро-Майского региона и Башкирского мегантиклинория / А.В. Маслов, В.Н. Подковыров, Э.З. Гареев // Тихоокеан. геология. – 2012. – Т. 31, № 5. – С. 55–68.
6. Петтиджон Ф.Дж. Пески и песчаники / Ф.Дж. Петтиджон, П. Поттер, Р. Сивер. – М.: Мир, 1976. – 535 с.
7. Тейлор С.Р. Континентальная кора: ее состав и эволюция / С.Р. Тейлор, С.М. Мак-Леннан. – М.: Мир, 1988. – 384 с.
8. Юдович Я.Э. Геохимические индикаторы литогенеза / Я.Э. Юдович, М.П. Кетрис. – Сыктывкар: Геопринт, 2011. – 742 с.
9. Bhatia M.R. Plate tectonic and geochemical composition of sandstones / M.R. Bhatia // J. Geol. – 1983. – Vol. 91. № 6. – P. 611–627.
10. Bhatia M.R. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins / M.R. Bhatia, A.W. Crook // Contrib. Mineral. Petrol. – 1986. – Vol. 92. – P. 181–193.
11. Cullers R.L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions. And metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA / R.L. Cullers // Chem. Geol. – 2002. – Vol. 191. – P. 305–327.
12. Floyd P.A. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones / P.A. Floyd, B.E. Leveridge // J. Geol. Soc. London. – 1987. – Vol. 144. – P. 531–542.
13. Potter P.E. Sedimentology of shale: study guide and reference source / P.E. Potter, J.B. Maynard, W.A. Pryor. – New York: Springer-Verlag, 2012. – 303 p.
14. Roser B.P. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio / B.P. Roser, R.J. Korsch // J. Geol. – 1986. – Vol. 94, № 5. – P. 635–650.