

УДК 552.181:551.763(571.64)

**ОБЛОМОЧНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПЕСЧАНЫХ ПОРОД МЕЛА
ЗАПАДНО-САХАЛИНСКОГО ТЕРРЕЙНА:
СОСТАВ И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА****Малиновский А.И.***Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, e-mail: malinovsky@fegi.ru*

В статье рассмотрены оригинальные данные, полученные в результате детального изучения обломочной составляющей песчаников мела Западно-Сахалинского террейна, включающей в себя породообразующие компоненты и минералы тяжелой фракции. Целью проведенных исследований было выяснение состава, содержание и особенности распределения тяжелых минералов и породообразующих компонентов в песчаниках террейна и, на основании генетической интерпретации полученных результатов, восстановление геодинамических обстановок накопления отложений, а также определение тектонической принадлежности и состава пород областей питания. Было определено, что по составу песчаники соответствуют грауваккам, а все тяжелые минералы разделяются на две ассоциации: сиалическую, источником которой являются кислые магматические и метаморфические породы, и фемическую, связанную с основными и ультраосновными породами. Детальное рассмотрение результатов исследования показало, что в меловое время область питания для осадочных образований Западно-Сахалинского террейна была гетерогенной. Доминирующим источником вещества, поставлявшим в седиментационный бассейн сиалическую кластику, были блоки континентальной коры (кратоны и краевые части рифтов), сложенные гранитно-метаморфическими и древними осадочными породами. Вторым по значению источником материала была расчлененная раннемеловая энсиалическая Монероно-Самаргинская вулканическая дуга, поставлявшая в бассейн как продукты разрушения ее гранитно-метаморфического фундамента, так и основных и средних вулканических пород самой дуги. Еще одним источником обломочного вещества были фрагменты юрско-раннемеловых аккреционных призм Сихотэ-Алиня, в строении которых участвовали офиолиты, содержащие основные и ультраосновные магматические породы. Генетическая интерпретация всей совокупности полученных данных позволяет говорить о накоплении отложений в бассейне, связанном с режимом трансформного перемещения океанической плиты Идзанаги вдоль Евразийского континента.

Ключевые слова: Западно-Сахалинский террейн, мел, породообразующие компоненты, тяжелые минералы, обстановки осадконакопления

**DETRITAL COMPONENT OF THE CRETACEOUS SANDY ROCKS OF THE WEST
SAKHALIN TERRANE: COMPOSITION AND GEODYNAMIC NATURE****Malinovsky A.I.***Far Eastern Geological Institute, FEBRAS, Vladivostok, e-mail: malinovsky@fegi.ru*

The article discusses the original data obtained as a result of a detailed study of the clastic component of the Cretaceous sandstones of the West Sakhalin terrane, which includes rock-forming components and minerals of the heavy fraction. The purpose of the research was to find out the composition, content and features of the distribution of rock-forming components and heavy minerals in sandstones and, based on the genetic interpretation of the results obtained, to reconstruct the geodynamic settings of sediment accumulation, as well as to determine the tectonic affiliation and composition of the rocks of the feeding provinces. It was determined that the composition of the sandstones corresponds to graywackes, and all heavy minerals are divided into two associations: sialic, originating from acidic igneous and metamorphic rocks, and femic, associated with basic and ultrabasic rocks. A detailed examination of the results of the study showed that in the Cretaceous showed that in the Cretaceous the power sources for the deposits of the West Sakhalin terrane was heterogeneous. The dominant source of material that supplied sialic clastics to the sedimentation basin was blocks of continental crust (cratons and marginal parts of rifts), composed of granite-metamorphic and ancient sedimentary rocks. The second most important source of the material was the dissected Early Cretaceous ensialic Moneron-Samarga volcanic arc, which supplied the basin with both products of destruction of its granite-metamorphic basement, as well as the basic and intermediate volcanic rocks of the arc itself. Another source of detrital material was fragments of the Jurassic-Early Cretaceous accretion prisms of the Sikhote-Alin, in the structure of which the basic and ultrabasic igneous rocks of ophiolites participated. The genetic interpretation of the entire set of data obtained suggests the accumulation of sediments in the basin associated with the regime of transform movement of the Izanagi oceanic plate along the Eurasian continent.

Keywords: West Sakhalin terrane, Cretaceous, rock-forming components, heavy minerals, sedimentary environment

Обломочная составляющая песчаных пород, включающая породообразующие компоненты и минералы тяжелой фракции, несет богатую информацию об источниках питания, поставляющих материал в седиментационные бассейны, и о геодинамических условиях, в которых эти бас-

сейны формировались [1–3]. Для широко распространенных вдоль восточного края Евразийского континента меловых террейнов, сложенных мощными толщами терригенных отложений, метод генетических реконструкций по вещественному составу обломочной части песчаных по-

род, наряду с геохимическими исследованиями, является основным. В предыдущей нашей публикации подробно рассмотрен геохимический состав и установлена геодинамическая природа меловых осадочных пород Западно-Сахалинского террейна [4]. Цель предложенной публикации – показать особенности состава, содержания и характера распределения породообразующих компонентов и минералов тяжелой фракции песчаников террейна и, на основании их палеогеодинамической интерпретации, подтвердить и уточнить полученные прежде результаты.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования были породообразующие компоненты и минералы тяжелой фракции из песчаников мела Западно-Сахалинского террейна. Образцы пород были отобраны в ходе полевых исследований 32 разрезов всех свит террейна. Разрезы изучались в карьерах и выемках дорог, вдоль берегов ручьев и рек, а также побережья Японского моря. Состав и содержание основных породообразующих компонентов и тяжелых обломочных минералов в песчаниках изучались на поляризационных микроскопах МИН-8 и AxioPlan 2 imaging. Для изучения тяжелых минералов пробы дробились до 0,25 мм, отмучивались в воде и разделялись с помощью бромформа. Химический состав минералов исследовался на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100. Все исследования проводились на оборудовании Центра коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток), аналитики П.Д. Гасанова и Н.И. Екимова.

Результаты исследования и их обсуждение

Западно-Сахалинский террейн – одна из значительнейших составных частей мезозойско-кайнозойского Сахалинско-Камчатского орогенного пояса [5]. Он рассматривается как важнейший связующий элемент, позволяющий правильно понимать процесс геодинамического взаимодействия в меловое время Евразийского континента и океанической плиты Иванага [4; 5]. Террейн является крупной (650 км протяженностью) тектонической структурой, располагающейся в западной части острова на побережье Татарского пролива (рис. 1). Он сложен мощными толщами альб-датских осадочных пород: песчаников, алевролитов, аргиллитов, конгломератов, гравелитов,

пачек турбидитов, пластов и линз туфов и углей. Севернее и южнее г. Углегорска отложения имеют разную мощность, при этом они накапливались в различных палеообстановках [6]. Осадки южной части имеют мощность до 5500 м, а их осадконакопление происходило в обстановках глубоководного континентального склона. Севернее они формировались как в глубоководных, так и в прибрежно-морских условиях [6]. Мощность отложений здесь достигает 9000 м.

Песчаники террейна по размерности от мелко- до крупнозернистых, средне- и хорошо сортированные. Степень окатанности зерен средняя, реже плохая и хорошая. Обломочная часть песчаников состоит из кварца, полевых шпатов, обломков пород и тяжелых минералов, что позволяет рассматривать их как полимиктовые. По петрографическому составу песчаники являются граувакками: кварцево-полевошпатовыми и, частично, полевошпатово-кварцевыми (рис. 2 а) [7]. Кварца в породах от 16 до 38%. Зерна его, как правило, монокристаллические, изометричные либо слабо удлиненные. Полевых шпатов 27–51%, при этом преобладают (до 90%) кислые плагиоклазы. Остальных плагиоклазов мало. Обломки пород, среди которых наиболее обычны обломочные, магматические и кремнистые породы, составляют 26–50%.

Петрографический состав песчаников интерпретировался с помощью диаграмм (рис. 2 б, в) [2; 8], основанных на сравнении результатов изучения современных осадков морей и океанов, формировавшихся в известных тектонических обстановках, и древних осадочных пород. На диаграмме, использующейся при реконструкции тектонических типов областей питания, песчаники террейна ложатся в поля эродированных переходных и расчлененных (энсиалических) окраинно-континентальных вулканических дуг, в которых процессами эрозии были обнажены кислые батолиты фундамента дуги (рис. 2 б) [2]. Очевидно, отложения накапливались за счет размыва как вулканитов самой дуги, так и гранитоидов ее фундамента. Помимо этого, источником сиалической кластики, очевидно, была и континентальная суша, сложенная гранитно-метаморфическими породами. Существование определенных типов областей питания подразумевает наличие связанных с ними геодинамических обстановок формирования отложений. Положение фигуративных точек на диаграмме (рис. 2 в) позволяет говорить об осадкона-

коплении в бассейне, сопряженном с активной континентальной окраиной, которая была осложнена крупными сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам

(типа Калифорнийского залива [8]), а также, частично, в бассейне, примыкающем к окраинно-континентальной магматической дуге.

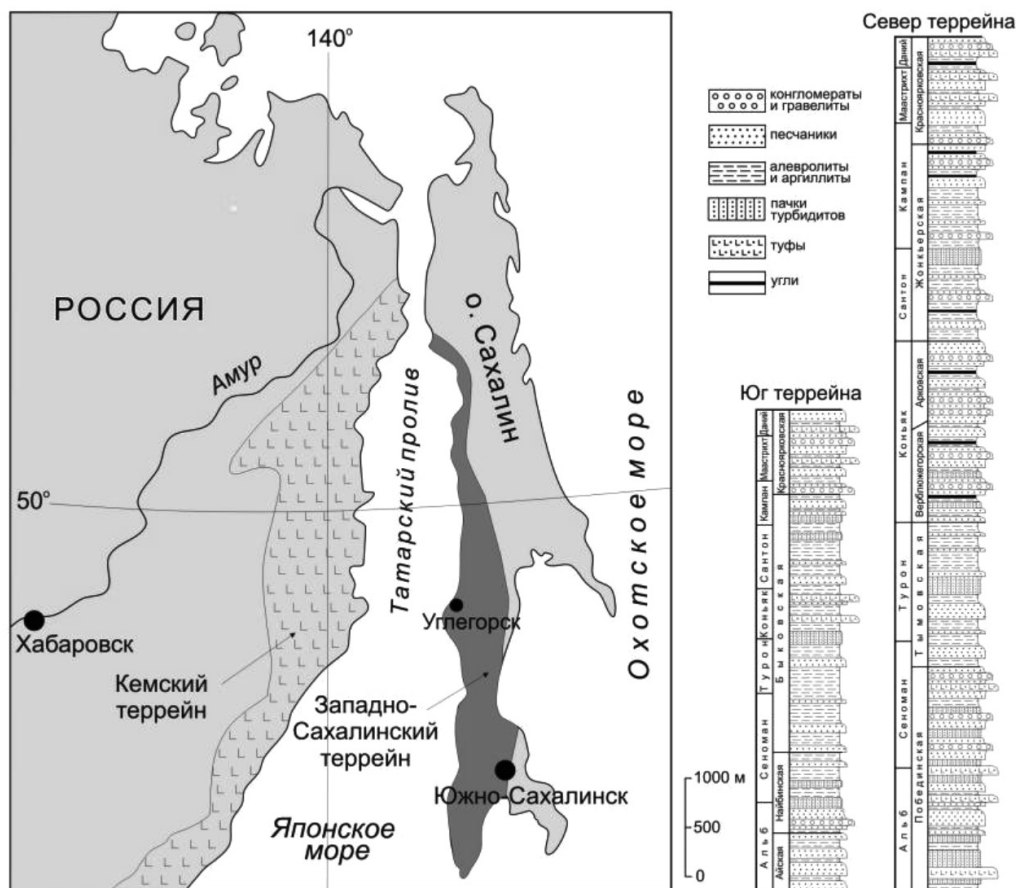


Рис. 1. Расположение Западно-Сахалинского террейна в структуре юга Дальнего Востока России и объединенные стратиграфические колонки его меловых отложений



Рис. 2. Породообразующие компоненты песчаников мела Западно-Сахалинского террейна и их геодинамическая интерпретация: а – классификация типов пород [7]; б – типы питающих провинций [2]; в – типы бассейновых обстановок [8]

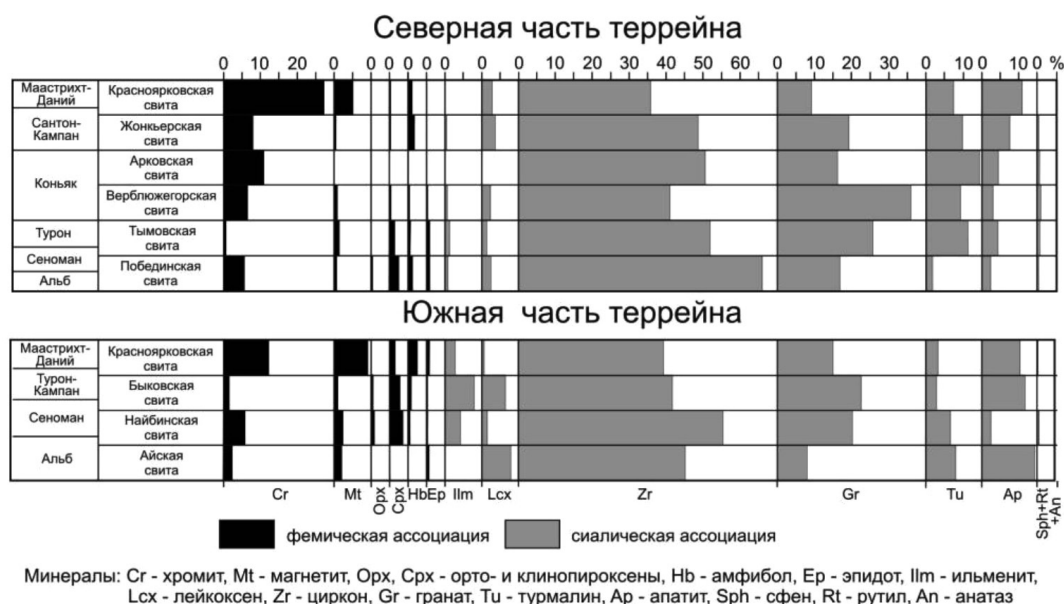


Рис. 3. Содержания и соотношения тяжелых минералов в песчаниках мела Западно-Сахалинского террейна

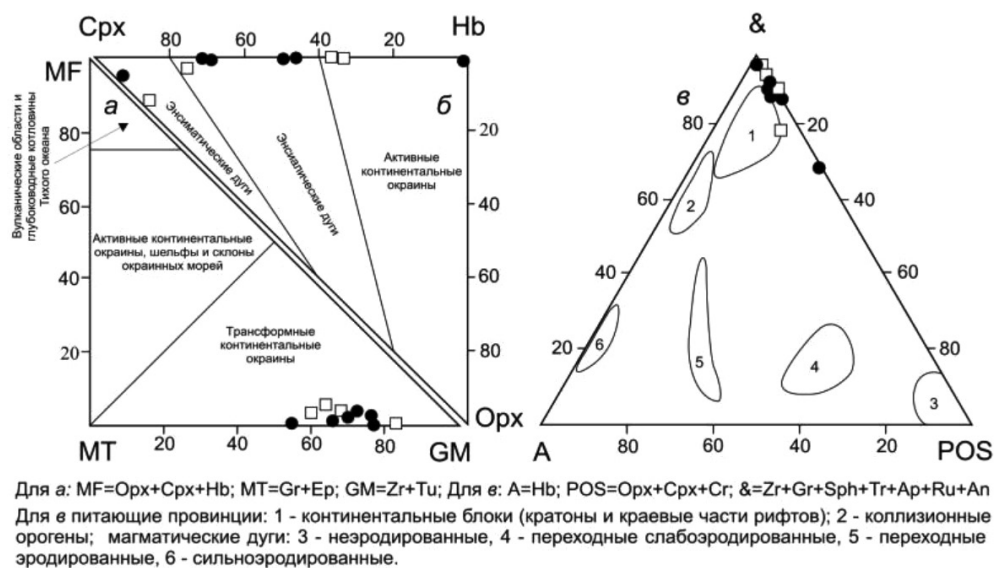


Рис. 4. Области питания и палеогеодинамические обстановки осадконакопления для отложений мела Западно-Сахалинского террейна по соотношению тяжелых минералов: а – MF-MT-GM; б – Op-Hb-Crx [9]; в – A-&-POS [3]. Условные обозначения – см. рис. 2 и 3

В песчаниках террейна изучали состав, содержание и соотношение между отдельными тяжелыми минералами и их ассоциациями, а также химический состав некоторых из минералов. Использовались средние содержания минералов по каждой свите, что позволило установить общие закономерности их распределения, а также получить наиболее достоверные результаты гео-

динамической интерпретации. Все тяжелые минералы разделяются на две ассоциации (рис. 3): сиалическую, источником которой являются кислые магматические и метаморфические породы, и фемическую, связанную с основными и ультраосновными породами. Песчаники севера и юга террейна близки по набору и количеству тяжелых минералов. Преобладают (в среднем 87%) си-

алические минералы. Фемических же значительно меньше – в среднем 13 %. Среди сиалических минералов доминирует циркон: на юге террейна в среднем по свитам 39–45 %, на севере – 36–66 %, а в некоторых пробах до 91 %. В ассоциацию также входят гранат (на юге 8–22 %, на севере 10–35 %), турмалин (3–8 % и 2–17 %), апатит (3–26 % и 3–11 %). На юге террейна довольно много ильменита и лейкоксена (в сумме до 15 %). Среди фемических минералов основным является хромит: на юге – 6 %, на севере – 10 %. В ассоциации с ним находятся магнетит (4 % и 2 %), амфибол, орто- и клинопироксены (до 3 %).

Интерпретация соотношения минералов тяжелой фракции на диаграмме MF–MT–GM позволяет установить тектонические обстановки накопления отло-

жений (рис. 4 а) [9]. Расположение точек свидетельствует о накоплении отложений в бассейне, формирование которого обусловлено обстановкой крупномасштабных перемещений вдоль разграничивающей континентальную и океаническую плиты системы сдвигов [9]. Область размыва объединяла два источника вещества. Основной, формировавший сиалическую ассоциацию минералов, включал в себя блоки континентальной коры (кратоны и краевые части рифтов), сложенные гранитно-метаморфическими породами (рис. 4 б, в) [3; 9]. Дополнительным источником этой ассоциации минералов были блоки основания окраинно-континентальной дуги. Эта же дуга поставляла в бассейн продукты размыва основных и средних вулканитов, формировавших ассоциацию фемических минералов.

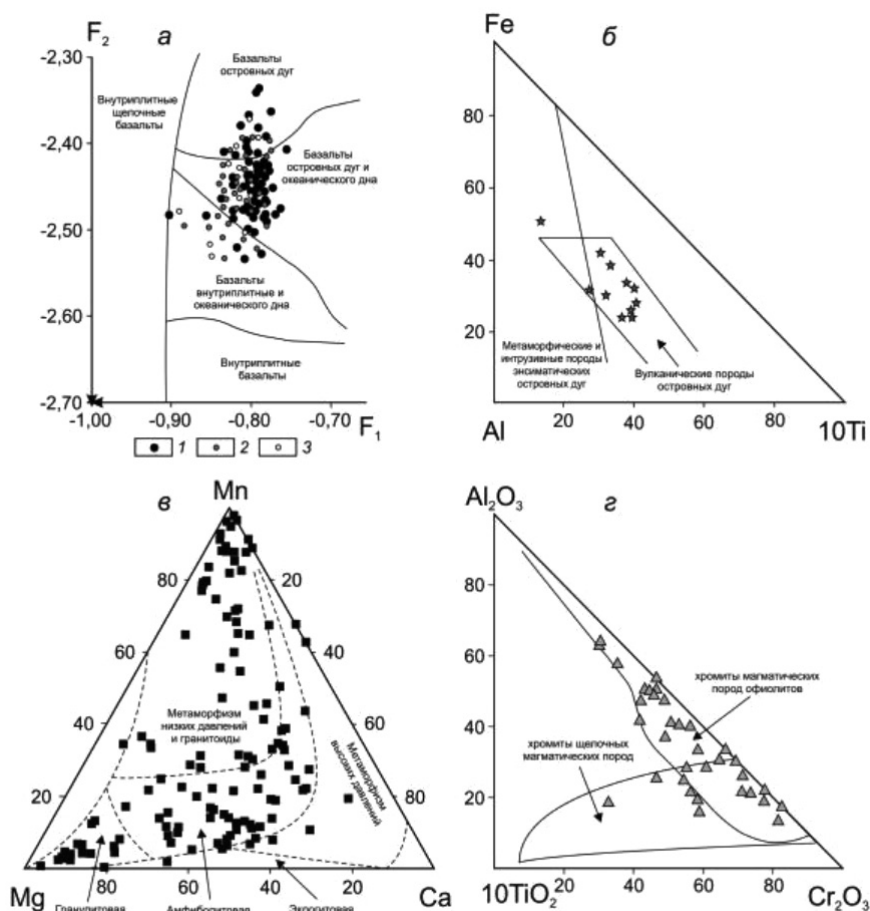


Рис. 5. Интерпретация химического состава тяжелых минералов и их вероятные вулканические источники: а – клинопироксены [10]: $F_1 = -0,012 \cdot \text{SiO}_2 - 0,0807 \cdot \text{TiO}_2 + 0,0026 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - 0,0012 \cdot \text{FeO} - 0,0026 \cdot \text{MnO} + 0,0087 \cdot \text{MgO} - 0,0128 \cdot \text{CaO} - 0,0419 \cdot \text{Na}_2\text{O}$; $F_2 = -0,0496 \cdot \text{SiO}_2 - 0,0818 \cdot \text{TiO}_2 - 0,02126 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - 0,0041 \cdot \text{FeO} - 0,1435 \cdot \text{MnO} - 0,0029 \cdot \text{MgO} - 0,0085 \cdot \text{CaO} + 0,0160 \cdot \text{Na}_2\text{O}$; б – амфиболы [9]; в – гранаты [11]; г – хромиты [12]. 1–3 – клинопироксены из: 1 – песчаников Западно-Сахалинского террейна, 2 – песчаников и 3 – базальтов Кемского террейна Приморья

Химический состав некоторых минералов позволяет установить тектонический тип и петрографический состав пород областей питания [9–11]. Клинопироксены из песчаников террейна представлены диопсидом, авгитом, редко салитом. На диаграмме F_1 - F_2 , устанавливающей их вулканический источник, основное количество клинопироксенов происходит из базальтов островных дуг. Значительно реже они соответствуют внутриплитным базальтам и породам океанического дна (рис. 5 а) [10]. Помимо этого, состав изученных минералов практически идентичен составу клинопироксенов, изученных в песчаниках и базальтах Кемского террейна Приморья, представляющего собой часть меловой Монероно-Самаргинской островной дуги [5]. Это сходство позволяет рассматривать дугу как источник фемической кластики для изученных отложений. Положение точек амфиболов на диаграмме Fe-Al-10Ti подтверждает накопление осадков за счет размыва вулканитов дуги, а также, частично, магматических пород офиолитов, участвовавших в строении юрско-раннемеловых аккреционных призм Сихотэ-Алиня [9] (рис. 6 б). На это участие указывает и состав хромитов, разделяющихся на два типа: с низким содержанием оксида титана ($TiO_2 < 1,5\%$), происходящих из основных и ультраосновных пород офиолитов, и с высоким ($TiO_2 > 1,5\%$) – из внутриплитных щелочных базальтов [12] (рис. 5 г). Большинство гранатов из песчаников террейна происходят из метаморфических пород различных фаций метаморфизма, а также гранитоидов [11] (рис. 5 в). Источниками гранатов, очевидно, были как континентальная суша, так и энциалическая островная дуга, фундамент которой был сложен блоками гранитно-метаморфических пород.

Заключение

Для выяснения палеогеодинамических обстановок формирования меловых седиментационных бассейнов Западно-Сахалинского террейна и определения состава пород и тектонической принадлежности источников питания была изучена обломочная составляющая песчаников, включающая порообразующие компоненты и минералы тяжелой фракции. Проведенные исследования показали, что по петрографическому составу песчаники относятся к грауваккам, а все тяжелые минералы разделяются на две ассоциации: сиаличе-

скую и фемическую. Интерпретация полученных данных показала, что в меловое время область питания была гетерогенной. Главным источником вещества, поставлявшим сиалическую кластику, была континентальная суша, сложенная гранитно-метаморфическими и древними осадочными породами. Вторым по важности источником была меловая окраинно-континентальная Монероно-Самаргинская островная дуга. В процессе ее разрушения в седиментационный бассейн поступала как кластика гранитно-метаморфических пород фундамента, так и вулканических образований самой дуги. Еще одним источником кластики были фрагменты юрско-раннемеловых аккреционных призм Сихотэ-Алиня, в строении которых участвовали основные и ультраосновные магматические породы офиолитов. Детальное рассмотрение всей совокупности полученных данных подтверждает сделанный ранее [4] вывод о формировании отложений в бассейне, связанном с режимом трансформного перемещения океанической плиты Изагаи вдоль края Евразийского континента.

Список литературы / References

1. Малиновский А.И. Палеогеодинамическая реконструкция обстановок кайнозойской седиментации Западно-Сахалинского террейна по вещественному составу терригенных пород // Литология и полезные ископаемые. 2021. № 1. С. 28–53. DOI: 10.31857/S0024497X21010067.
2. Malinovsky A.I. Paleogeodynamic reconstruction of Cenozoic sedimentation settings in the West Sakhalin terrane based on the material composition of terrigenous rocks // Litologiya i poleznyye iskopayemye. 2021. № 1. P. 28–53. DOI: 10.1134/S0024490221010053 (in Russian).
3. Dickinson W.R., Suczek C.A. Plate tectonics and sandstone composition. Bulletin American Association of Petroleum Geologists. 1979. V. 63. № 12. P. 2164–2182.
4. Garzanti E., Ando S. Plate tectonics and heavy mineral suites of modern sands. Heavy minerals in use / Ed. M.A. Mange, D.T. Wright. Amsterdam: Elsevier, 2007. P. 741–764.
5. Малиновский А.И. Палеогеодинамические обстановки формирования отложений Западно-Сахалинского террейна по геохимическим данным // Успехи современного естествознания. 2017. № 6. С. 83–89. DOI: 10.17513/use.3650.
6. Malinovsky A.I. Paleogeodynamic settings of the West Sakhalin terrain sediments formation based on geochemical data // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2017. № 6. P. 83–89. DOI: 10.17513/use.3650 (in Russian).
7. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Под ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
8. Geodynamics, magmatism and metallogeny of the Russian East / Ed. A.I. Khanchuk, Vladivostok: Dalnauka, 2006. Kn. 1. 572 p. (in Russian).
9. Голозубов В.В., Касаткин С.А., Малиновский А.И., Нечаюк А.Е., Гранник В.М. Дислокации меловых и кайнозойских комплексов северной части Западно-Сахалинского террейна // Геотектоника. 2016. № 4. С. 105–120. DOI: 10.7868/S0016853X16040032.
10. Golozubov V.V., Kasatkin S.A., Malinovsky A.I., Necha-yuk A.E., Grannik V.M. Dislocations of the cretaceous and

cenozoic complexes of the northern part of the West Sakhalin Terrane // *Geotektonika*. 2016. № 4. P. 105–120. DOI: 10.1134/S0016852116040038 (in Russian).

7. Шутов В.Д. Классификация песчаников // *Литология и полезные ископаемые*. 1967. № 5. С. 86–102

Shutov V.D. Classification of sandstones // *Litologia i poleznye iskopaemye*. 1967. № 5. P. 86–102 (in Russian).

8. Potter P.E., Maynard J.B., Pryor W.A. *Sedimentology of shale: study guide and reference source*. New York: Springer-Verlag, 2012. 303 p.

9. Nechaev V.P., Isphording W.C. Heavy-mineral assemblages of continental margins as indicators of plate tectonic environments. *Journal of Sedimentary Petrology*. 1993. V. 63. № 6. P. 1110–1117. DOI: 10.1306/D4267CB7-2B26-11D7-8648000102C1865D.

10. Nisbet E.G., Pearce J.A. Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1977. V. 63. № 2. P. 149–160. DOI: 10.1007/BF00398776.

11. Teraoka Y. Detrital garnets from Paleozoic to Tertiary sandstones in Southwest Japan. *Bulletin of Geological Survey of Japan*. 2003. V. 54. № 5–6. P. 171–192. DOI: 10.9795/bullgsj.54.171.

12. Щека С.А., Вржосек А.А. Ультраосновной вулканизм Тихоокеанского комплекса и вопросы систематики меймечитов и коматиитов // *Вулканология и сейсмология*. 1983. № 2. С. 3–16.

Shcheka S.A., Vrzhosek A.A. Ultramafic volcanism of the Pacific complex and issues of the systematics of meymechites and komatiites // *Vulkanologiya i seysmologiya*. 1983. № 2. P. 3–16 (in Russian).