УДК 552.181:551.24:551.763 (571.64) DOI: 10.31431/1816-5524-2021-1-49-68-86

ТЯЖЕЛЫЕ ОБЛОМОЧНЫЕ МИНЕРАЛЫ КАК ИНДИКАТОР ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК НАКОПЛЕНИЯ И ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНО-САХАЛИНСКОГО ТЕРРЕЙНА

© 2021 А.И. Малиновский

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия, 690022; e-mail: malinovsky@fegi.ru

В статье рассматриваются результаты изучения тяжелых обломочных минералов из песчаных пород мела Западно-Сахалинского террейна, а также приведены результаты их палеогеодинамической интерпретации. Показано, что по своим минералого-петрографическим параметрам песчаники террейна соответствуют типичным граувакам и являются петрогенными породами, образовавшимися преимущественно за счет разрушения магматических пород источников питания. Установлено, что отложения содержат как минералы сиалической, гранитно-метаморфической ассоциации, так и фемической, образованной продуктами разрушения основных и ультраосновных вулканических пород. Интерпретация всей совокупности данных по содержанию, характеру распределения и микрохимическому составу тяжелых минералов осуществлялась на основании их сравнения с минералами из древних пород и современных осадков, накопившихся в известных геодинамических обстановках. Полученные результаты свидетельствуют, что в меловое время осадконакопление происходило вдоль границы континент–океан в бассейне, связанном с крупномасштабными левосторонними трансформными скольжениями плиты Изанаги относительно Евразиатского континента. Область питания, поставлявшая обломочный материал в этот бассейн, объединяла сиалическую сушу, сложенную гранитно-метаморфическими и осадочными породами, зрелую глубоко расчлененную энсиалическую островную дугу, а также фрагменты аккреционных призм, в строении которых участвовали офиолиты.

Ключевые слова: Западно-Сахалинский террейн, мел, тяжелые минералы, песчаники, геодинамические обстановки.

Вещественный состав терригенных отложений, широко распространенных в террейнах, расположенных вдоль восточной окраины Евразиатского континента, содержит богатую информацию, позволяющую с достаточной степенью надежности реконструировать палеогеодинамические обстановки их формирования, а также восстановить тектонические типы и состав материнских пород источников питания (Летникова и др., 2011; Малиновский, Голозубов, 2012; Маслов и др., 2016; Bhatia,1983; Dickinson, Suczek, 1979; Markevich et al., 2007; Morton et al., 2011; Roser, Korsch, 1986 и др.). Одной из наиболее информативных сторон вещественного состава осадочных пород являются тяжелые обломочные минералы песчаников. Исследования трех последних десятилетий (Деркачев, 1996; Малиновский и др., 2006; Тучкова и др., 2003; Heavy..., 2007; Garzanti, Ando, 2007; Nechaev, Isphording, 1993 и др.) показали, что определенные соотношения между минералами, а также химический состав некоторых из них, могут быть достоверными индикаторами тектонического типа и породного состава областей сноса, геодинамических обстановок осадконакопления, а также синседиментационных магматических процессов.

Западно-Сахалинский террейн, в связи с его расположением на восточной окраине Евразийской плиты, представляет собой одну из ключевых структур зоны перехода от Тихого океана к Азиатскому континенту (Геодинамика..., 2006). В его строении участвуют мощные толщи меловых отложений, которые, несмотря на многочисленные геолого-съемочные, поисковые и тематические исследования (Государственная...,

2001; Зябрев, 1992; Опорный..., 1987; Сальников и др., 1984 и др.), в литологическом отношении остаются очень слабо изученными.

Опубликованные нами результаты изучения геохимического состава терригенных пород мела Западно-Сахалинский террейна показали, что осадконакопление происходило на активной континентальной окраине в бассейне, связанном с крупными сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам (Малиновский, 2018). Цель настоящей публикации — показать особенности состава и характер распределения тяжелых обломочных минералов в песчаниках мела Западно-Сахалинского террейна и, на основании их генетической интерпретации, подтвердить и уточнить палеогеодинамическую обстановку их формирования, а также установить типы и породный состав основных источников питания.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

Западно-Сахалинский террейн, входящий в состав мезозойско-кайнозойского Сахалинско-Камчатского орогенного пояса и сложенный мощными толщами меловых терригенных отложений, является одной из важнейшей тектонических структур в плане понимания процессов взаимодействия в меловое время Азиатского континента и прилегающей с востока океанической плиты Изанаги (Геодинамика..., 2006; Голозубов, 2006; Натальин, 1991; Ханчук и др., 1995 и др.).

Западно-Сахалинский террейн располагается на территории Западно-Сахалинских гор и представляет собой узкий тектонический блок, ограниченный с востока Тымь-Поронайской, а с запада — Западно-Сахалинской системами разломов (Голозубов и др., 2016). Террейн протягивается полосой субмеридионального направления вдоль побережья Татарского пролива более чем на 650 км при ширине до 70 км (рис. 1). Продолжением террейна на юг является расположенный на о. Хоккайдо (Япония) пояс (террейн) Сорачи-Йезо (Жаров, 2004; Fournier et al., 1994).

Террейн сложен берриас-датскими терригенными и вулканогенно-осадочными отложениями общей мощностью до 9000 м, которые с размывом, но без заметного углового несогласия перекрываются кайнозойскими образованиями (Геология..., 2004; Голозубов и др., 2016). Известно, что меловые отложения террейна, расположенные к северу и югу от г. Углегорска (рис. 1), различаются как по мощностям, так и по условиям осадконакопления (Геология..., 2004; Зябрев, 1992; Опорный..., 1987 и др.). Отложения, слагающие южную часть террейна, имеют мощность до 5500 м и представлены морскими глубоководными образованиями – аргиллитами, алевролитами, песчаниками, а также пачками турбидитов. Здесь выделяются айская (альб), найбинская (альб-сеноман), быковская (сеноман-кампан) и красноярковская (кампан-даний) свиты (Зябрев, 1992; Опорный..., 1987). Северная часть террейна характеризуется увеличением мощности отложений до 9000 м, которые накапливались как в мелководно-морских, так и в глубоководных обстановках подводного континентального склона и прилегающей бассейновой равнины (Голозубов и др., 2016; Зябрев, 1992). В основании разреза этой части террейна залегают вулканогенно-кремнистые образования рождественской толщи (берриас-альб), формировавшиеся на разных участках океанической плиты (Зябрев, 1992; Зябрев, Пересторонин, 2004). Выше располагаются преимущественно терригенные отложения, объединенные в побединскую (альб-сеноман), тымовскую (сеноман-турон), верблюжегорскую и арковскую (коньяк), жонкьерскую (сантон-кампан) и красноярковскую (кампан-даний) свиты (Геология..., 2004; Зябрев, 1992; Зябрев, Пересторонин, 2004 и др.). Их разрезы сложены преимущественно аргиллитами, алевролитами, песчаниками, многочисленными пачками турбидитов, а также горизонтами и линзами конгломератов.

Следует отметить минимальное влияние на осадконакопление синседиментационных вулканических процессов, фиксирующихся преимущественно на сеноманском и маастрихтском уровнях разреза (побединская и красноярковская свиты), что выражается в накоплении горизонтов туфов, тефроидов и туффитов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами данного исследования были тяжелые обломочные минералы из меловых песчаных пород Западно-Сахалинского террейна. Каменный материал был собран в ходе полевых работ 2007–2014 гг. Всего было опробовано 32 разреза, включающих все стратиграфические подразделения как северной, так и южной частей террейна. Пробы отбирались из естественных береговых обнажений вдоль долин рек и ручьев, на побережье Татарского пролива, а также в карьерах и придорожных выемках.

Для минералогических исследований использовались средне- и мелкозернистые песчаники, поскольку в более грубых разностях (0.5–2 мм) тяжелые минералы находятся в сростках и плохо выделяются. Тяжелые минералы были изучены в 156 пробах из всех свит террейна, а 192 зерна клинопироксенов, хромитов, амфиболов и гранатов были исследованы на микрозонде. Предназначенные для исследования пробы

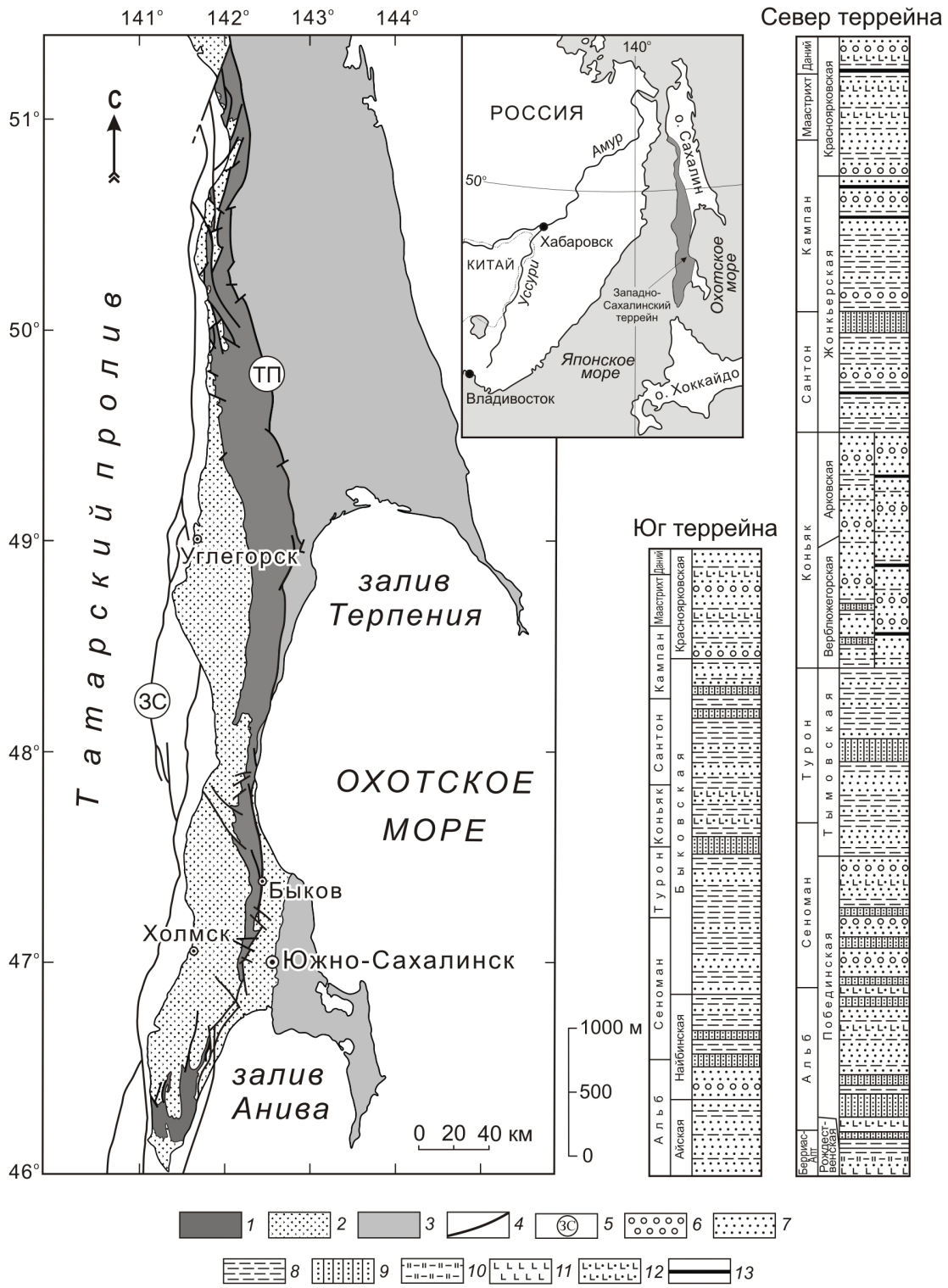

Рис. 1. Схематическая геологическая карта и сводные стратиграфические колонки меловых отложений южной и северной частей Западно-Сахалинского террейна: *1* — меловые терригенные образования; *2* — палеоцен–плиоценовые терригенные и вулканогенные образования; *3* — террейны и перекрывающие комплексы Восточного Сахалина; *4* — разломы; *5* — системы разломов: ЗС — Западно-Сахалинская, ТП — Тымь-Поронайская; *6* — конгломераты и гравелиты; *7* — песчаники; *8* — алевролиты и аргиллиты; *9* — ритмичное переслаивание песчаников и алевролитов; *10* — кремнистые и кремнисто-глинистые породы; *11* — базальты; *12* — туфы и туффиты; *13* — угли.

Fig. 1. Schematic geological map and summary stratigraphic columns of Cretaceous deposits of the southern and northern parts of the West Sakhalin terrane: *1* — Cretaceous terrigenous rocks; *2* — Paleocene–Pliocene terrigenous and volcanogenic rocks; *3* — terranes and overlying complexes of East Sakhalin; *4* — faults; *5* — fault systems: ЗС — West Sakhalin, ТП — Tym—Poronai; *6* — conglomerates and gravelstones; *7* — sandstones; *8* — siltstones and mudstones; *9* — rhythmic alternation of sandstones and siltstones; *10* — siliceous—clayey rocks; *11* — basalts; *12* — tuffs and tuffites; *13* — coals.

дробились до 0.25 мм, отмучивались в воде с целью удаления глинистой фракции и лишь затем с помощью бромоформа из них извлекались тяжелые минералы. Размерность и отсутствие вторичных преобразований в породах, которые могут сказываться на содержании и составе выделяющихся минералов, контролировались при петрографическом изучении пород в шлифах. Петрографический состав пород, а затем и минеральный состав их тяжелой фракции изучался на поляризационных микроскопах МИН-8 (ЛОМО, Россия) и Axioplan 2 imaging (Carl Zeiss, Германия). Для определения и подсчета тяжелых минералов в проходящем и поляризованном свете применялись иммерсионные жидкости. При изучении состава и количества минералов в подсчет включалось не менее 200 зерен, при этом учитывались лишь обломочные минералы, а аутигенные из подсчета исключались. Химический состав минералов исследовался на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100 (JEOL Ltd., Япония). При интерпретации процентного соотношения содержаний тяжелых минералов и их химического состава применялась разработанная в Дальневосточном геологическом институте (ДВГИ) ДВО РАН оригинальная методика, позволяющая распознавать в геологическом прошлом аналоги современных геодинамических обстановок и источников питания (Малиновский и др., 2006; Маркевич и др., 1987; Нечаев и др., 1996; Nechaev, Isphording, 1993 и др.). Все исследования выполнены в лабораториях аналитической химии и рентгеновских методов Аналитического центра (Центра коллективного пользования) ДВГИ ДВО РАН г. Владивосток, аналитики П.Д. Гасанова, Н.И. Екимова, Г.Б. Молчанова.

СОСТАВ ПЕСЧАНЫХ ПОРОД И ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В НИХ ТЯЖЕЛЫХ МИНЕРАЛОВ

Поскольку состав и соотношения тяжелых минералов в песчаниках во многом зависит от их петрографического состава, приведем его краткое описание. Изученные нами мелко- и среднезернистые песчаники (рис. 2), как правило, характеризуются средней и хорошей степенью сортировки обломочного материала. Зерна по форме обычно изометричные и удлиненные, угловатые и угловато-окатанные, реже окатанные. Иногда в песчаниках присутствуют мелкие бесформенные обрывки растительного детрита, а в рождественской толще — остатки скелетов радиолярий.

Все изученные песчаники мела Западно-Сахалинского террейна являются полимиктовыми и близки по составу и содержанию породообразующих компонентов. Обломочная часть составляет 60–80% их объема и состоит из кварца, полевых шпатов, обломков эффузивных, терригенных, кремнистых и, редко, метаморфических пород. По петрографической классификации В.Д. Шутова (1967), песчаники относятся к кварцево-полевошпатовым и лишь иногда к полевошпатово-кварцевым граувакам (рис. 3).

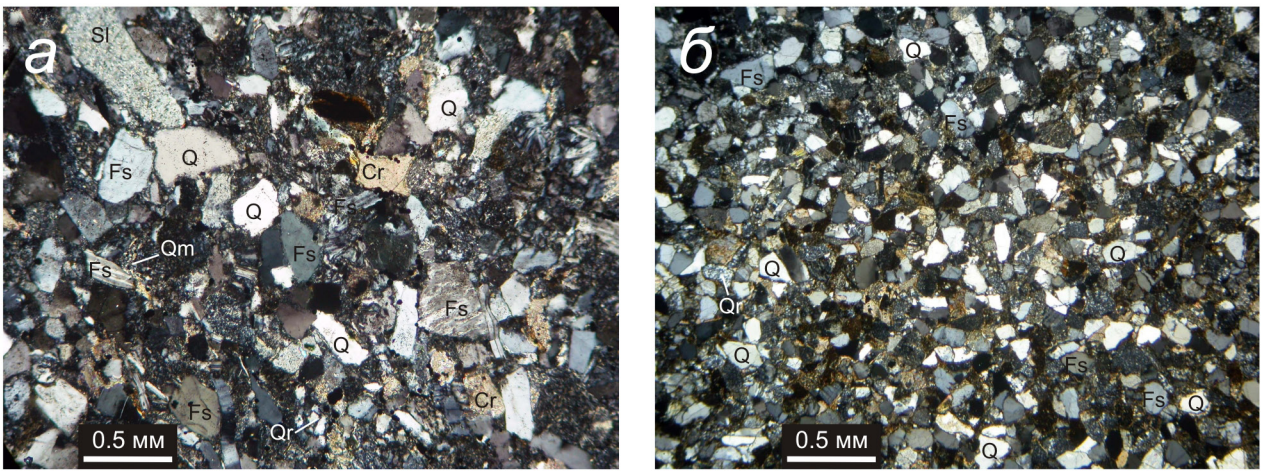

Рис. 2. Песчаные породы из меловых отложений Западно-Сахалинского террейна: *а* — песчаник среднезернистый (СХ-59, побединская свита); *б* — песчаник мелкозернистый (Н-94, краснояркoвская свита). Песчаники полимиктовые, состоящие из обломков кварца (Q), полевых шпатов (Fs), кварц-слюдяных сланцев (Qm), кварцитов (Qr), кремнистых (Sl), карбонатных (Cr), тонкозернистых обломочных и вулканических пород, чешуек биотита. Николи скрещены.

Fig. 2. Sandstones rock from Cretaceous deposits of the West Sakhalin terrane: *a* — medium-grained sandstone (CX-59, Pobedinka formation), *б* — fine-grained sandstone (H-94, Krasnoyarka formation). Polymictic sandstones, consisting of fragments of quartz (Q), field spars (Fs), quartz-mica slates (Qm), quartzites (Qr), siliceous (Sl), carbonate (Cr), fine-grained detrital and volcanic rocks, biotite scales. Crossed nicol.

Рис. 3. Классификационная диаграмма типов песчаных пород мела Западно-Сахалинского террейна (Шутов, 1967). Песчаники из южной (*1*) и северной (*2*) частей террейна. Поля типов песчаников: 1–4 — кварцевые песчаники: 1 — мономиктовые кварцевые, 2 — кремнекластито-кварцевые, 3 — полевошпатово-кварцевые, 4 — мезомиктовые кварцевые; 5 — чистые или собственно аркозы, 6 — грауваковые аркозы; 7 — кварцевые граувакки, 8 — полевошпатово-кварцевые граувакки, 9 — собственно граувакки, 10 — кварцево-полевошпатовые граувакки, 11 — полевошпатовые граувакки; 12 — кристаллотуфы.

Fig. 3. Classification diagram of the Cretaceous sandy rock types of the West Sakhalin Terrane (Shutov, 1967). Sandstones from the southern (*1*) and northern (*2*) parts of the terrane. Fields of sandstone types: 1 — monomictic–quartz; 2 — silicoclastic–quartz; 3 — feldspar–quartz; 4 — mesomictic–quartz; 5 — pure or properly arkose; 6 — graywacke arkoses; 7 — quartz graywackes; 8 — feldspar–quartz graywackes; 9 — properly graywackes; 10 — quartz–feldspar graywackes; 11 — feldspar graywackes; 12 — crystal tuffs. Sandstones from: 1 — southern and 2 — northern parts of the terrane.

Кварца в породах от 16–30% в краснояркoвской свите обеих частей террейна до 28–38% в арковской его северной части. Кварц в основном монокристаллический, редко поликристаллический, по форме изометричный либо слабо удлиненный. Содержание полевых шпатов колеблется от 27 до 51%. Преобладают (до 90% всех полевых шпатов) удлиненные, таблитчатые, реже изометричные зерна кислых плагиоклазов. Основные и средние плагиоклазы, а также калиевые полевые шпаты встречаются значительно реже. Обломки пород, составляющие от 26 до 50% всех зерен, представлены в основном кремнистыми, терригенными и эффузивными породами, при этом содержание каждой из групп колеблется от 30 до 65% всех обломков. Значительно реже встречаются кварциты и кварц-серицитовые сланцы. Кроме того, в песчаниках иногда отмечается примесь пирокластического материала: угловатых зерен полевых шпатов, основных и средних эффузивов, вулканического стекла. Таким образом, петрографический состав песчаных пород позволяет предполагать, что источниками кластики были древние осадочные, гранитно-метаморфические и вулканические породы. Помимо этого, на осадконакопление оказывали влияние и синхронные вулканические процессы, поставлявшие в седиментационные бассейны заметное количество пирокластики.

В песчаных породах террейна изучались общие содержания и соотношения между тяжелыми минералами, а также микрохимический состав некоторых их них. Для выявления наиболее характерных особенностей минералогического состава песчаников и получения достоверных результатов его геодинамической интерпретации, в дальнейшем были использованы средние содержания тяжелых минералов по каждой из изученных свит обеих частей террейна (рис. 4).

Все изученные тяжелые минералы Западно-Сахалинского террейна можно разделить на две минералогические ассоциации: сиалическую, минералы которой происходят из кислых изверженных и метаморфических пород и фемическую, связанную с основными и ультраосновными магматическими породами (Малиновский, Маркевич, 2007; Малиновский и др., 2006 и др.). Альб-датские песчаники южной и северной частей террейна характеризуются в целом близким набором и соотношением тяжелых минералов. В них преобладают (в обеих частях в среднем по 87%, а в некоторых свитах до 96%) минералы сиалической ассоциации. Содержание минералов фемической ассоциации невелико: среднее содержание по всем свитам составляет 13% и лишь в краснояркoвской свите обеих частей террейна, вероятно за счет примеси синседиментационной пирокластики, оно несколько выше (28% и 33%).

Среди тяжелых минералов сиалической ассоциации альб-датской части разреза доминирует циркон, его содержание в среднем по свитам на юге террейна составляет 39–45%, а на севере несколько выше — 36–66%, при этом в отдельных пробах достигает 91%. Циркон представлен в основном бесцветными или розоватыми короткопризматическими и дипирамидальными кристаллами, иногда содержащими мелкие газово-жидкие включения, что является типоморфным признаком цирконов гранитных пород

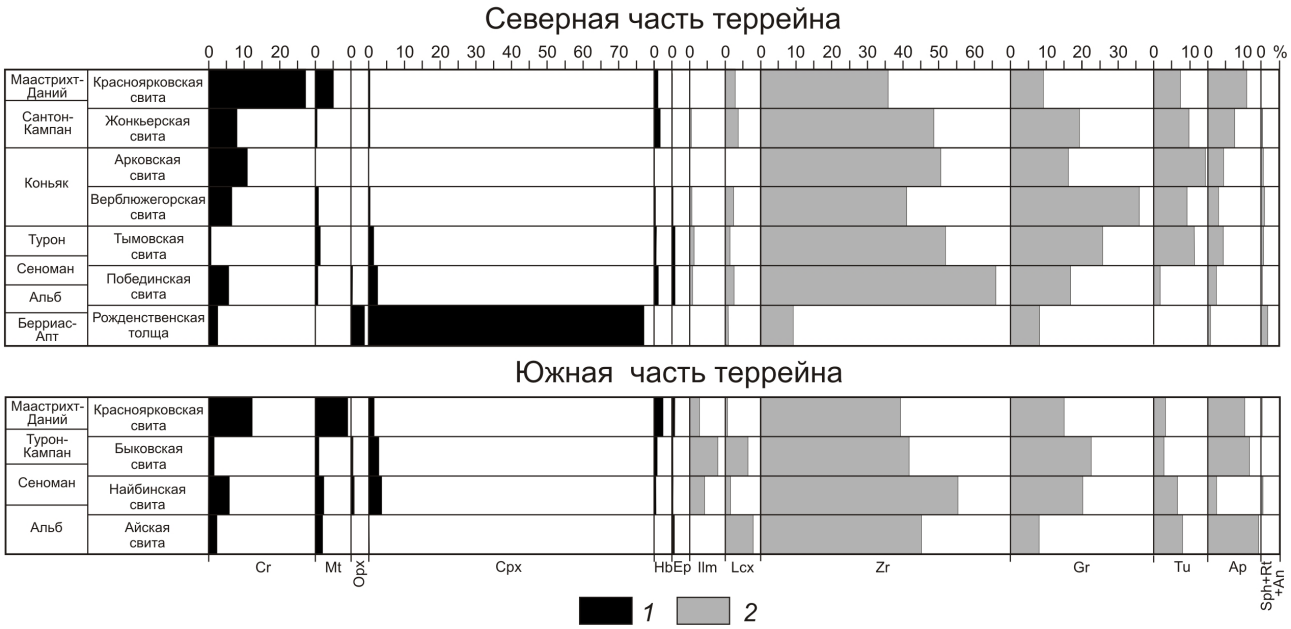

Рис. 4. Средние содержания и характер распределения тяжелых обломочных минералов в песчаниках мела Западно-Сахалинского террейна. *1–2* — ассоциации тяжелых минералов: 1 — фемическая; 2 — сиалическая. Минералы: Cr — хромит, Mt — магнетит, Opx — ортопироксен, Cpx — клинопироксен, Hb — амфибол, Ep — эпидот, Ilm — ильменит, Lcx — лейкоксен, Zr — циркон, Gr — гранат, Tu — турмалин, Ap — апатит, Sph — сфен, Rt — рутил, An — анатаз.

Fig. 4. Average contents and distribution patterns of heavy detrital minerals in Cretaceous sandstones rock of the West Sakhalin terrane. *1–2* — mineral assemblages: 1 — femic assemblage; 2 — sialic assemblage. Minerals: Cr — chromite, Mt — magnetite, Opx — ortho-pyroxene, Cpx — clino- pyroxene, Hb — hornblende, Ep — epidote, Ilm — ilmenite, Lcx — leucoxene, Zr — zircon, Gr — garnet, Tu — tourmaline, Ap — apatite, Sph — titanite, Rt — rutile, An — anatase.

(Ляхович, 1979). Кроме того, в этой ассоциации в заметных количествах присутствуют гранат (в среднем по свитам в южной части 8-22%, а в северной — 10–35%), турмалин (3–8% в южной части и несколько выше в северной — 2–17%), а также апатит (3–26% в южной и заметно ниже в северной — 3–11%). Помимо этого, в отложениях южной части террейна наблюдаются повышенные содержания ильменита и связанного с ним лейкоксена (в сумме до 15% в быковской свите), количество которых в отложениях северной части террейна незначительно. Во вторую, фемическую, ассоциацию входят хромит, магнетит, орто- и клинопироксены, роговая обманка, эпидот. Основной минерал этой ассоциации — хромит, среднее содержание которого составляет на юге 6%, а на севере 10%, при этом содержание его постепенно увеличивается вверх по разрезу, достигая максимума в породах красноярковской свиты (13% на юге и 27% на севере). Вторым по значимости минералом ассоциации является магнетит (на юге в среднем 4%, на севере — 2%), содержание которого также увеличивается вверх по разрезу (в красноярковской свите 10 и 5% соответственно). В ассоциации с хромитом и магнетитом находятся типичные минералы островодужной вулканокластики — роговая обманка, орто- и клинопироксены. Содержания этих минералов очень малы: больше всего клинопироксена отмечается в найбинской и побединской свитах (в среднем, соответственно, 3 и 2%), а роговой обманки — в красноярковской юга террейна (3%).

Совершенно иное содержание и соотношение между минералами наблюдаются в песчаных породах берриас-альбской вулканогенно-кремнистой рождественской толщи северной части террейна. Здесь преобладают минералы фемической ассоциации (в сумме 81%, а в некоторых пробах до 100%), среди которых ведущая роль принадлежит клинопироксену (в среднем 77%), значительно меньше ортопироксена и хромита (в среднем, соответственно, 4 и 2%), остальные минералы находятся в знаковых количествах. Общее количество сиалических минералов в песчаниках толщи невелико (в среднем 19%) и только в одной пробе содержание циркона достигает 27%, а граната — 24%.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные в последние десятилетия исследования ассоциаций тяжелых обломочных минералов в современных осадках океанов и окраинных морей, а также в терригенных породах континентов, формировавшихся

в различных тектонических обстановках, показали что состав, содержания, определенные соотношения между ними, а также химический состав некоторых минералов позволяют судить о типе и составе питающих провинций, а также геодинамических обстановках формирования отложений (Деркачев, 1996; Малиновский и др. 2006; Garzanti, Ando, 2007; Markevich et al., 2007; Morton et al., 2011; Nechaev, Isphording, 1993 и др.).

Интерпретация полученных результатов осуществлялась при помощи диаграмм, построенных на основании соотношения некоторых минералов-индикаторов и их сумм, что позволило их авторам выделить ряд полей, характеризующих различные типы областей питания и тектонические обстановки формирования осадочных бассейнов (Garzanti, Ando, 2007; Nechaev, 1991; Nechaev, Isphording, 1993). Диаграмма MF–MT–GM (рис. 5*а*), предложенная В.П. Нечаевым (Nechaev, 1991; Nechaev, Isphording, 1993), позволяет установить геодинамические обстановки формирования бассейнов седиментации. Анализ соотношений тяжелых минералов меловых песчаников Западно-Сахалинского террейна на этой диаграмме свидетельствует об их формировании в двух резко контрастных геодинамических обстановках. Сочетание компонентов MF-MT-GM в отложениях берриас-альбской рождественской толщи севера террейна наиболее характерно для глубоководных котловин и окраинных морей Тихого океана. Соотношение же этих ассоциаций в песчаниках всех остальных свит указывает на накопление отложений в бассейне, связанном с обстановкой трансформного скольжения литосферных плит, примером которого могут служить бассейны Калифорнийской окраины (Christie-Blick, Biddle, 1985).

Основным источником обломочного вещества для песчаников рождественской толщи, судя по соотношению ассоциаций тяжелых минералов на диаграммах Cpx–Opx–Hb и A-&-POS (рис. 5*б*, 5*в*) (Garzanti, Ando, 2007; Nechaev, 1991; Nechaev, Isphording, 1993), предназначенных для распознавания различных типов питающих провинций, были вулканические породы неэродированной, скорее всего энсиматической (внутриокеанической) островной дуги. Второстепенным источником терригенного вещества являлась кластика, поступавшая с континента. Область питания для отложений альб-датской части разреза также сочетала в себе два контрастных источника обломочного вещества. Основным источником, формировавшим сиалическую ассоциацию минералов, служили гранитно-метаморфические породы, слагавшие блоки зрелой континентальной коры (кратоны и краевые части рифтов) (см. рис. 5*б*, 5*в*), участвовавшие в строении восточной окраины Азии (Геодинамика..., 2006). Дополнительным источником этой ассоциации минералов мог быть и фундамент энсиалической (окраинно-континентальной) магматической дуги, аналогом которой являются Японские острова. Смещение части точек на диаграмме Cpx–Opx–Hb в область энсиматических дуг вероятно можно объяснить заметной примесью синседиментационной пирокластики. Вторым, подчиненным, источником кластики, поставлявшим в бассейн осадконакопления минералы фемической ассоциации, были собственно размывавшиеся вулканические образования энсиалической дуги.

Микрохимические особенности некоторых тяжелых минералов позволяют определить состав материнских пород областей питания, а также установить их тектонический тип (Малиновский и др., 2006; Morton, 1991; Morton, Hallsworth, 1994 и др.). Наиболее информативны в этом отношении клинопироксены, роговые обманки, гранаты и хромиты, результаты изучения состава которых приведены в таблице. Клинопироксены из меловых песчаников Западно-Сахалинского террейна представлены в основном диопсидом и авгитом, значительно меньше распространен салит. Дискриминантная диаграмма Е. Нисбета и Дж. Пирса (Nisbet, Pearce, 1977) (рис. 6*а*) позволяет установить их магматические источники. На диаграмме большинство минералов попадают в поля соответствующие клинопироксенам базальтов островных вулканических дуг, базальтов океанического дна и, частично, внутриплитных базальтов, которые вероятно участвовали в строении основания этих дуг. Базальты с внутриплитными характеристиками устанавливаются в составе берриас-альбской вулканогенно-кремнистой рождественской толщи (Зябрев, 1992; Зябрев, Пересторонин, 2004), обнажающейся в северной части террейна. На этой же диаграмме хорошо видна близость клинопироксенов Западного Сахалина к подобным минералам из раннемеловых песчаников и базальтов Кемского террейна Восточного Сихотэ-Алиня, который является фрагментом задугового бассейна раннемеловой энсиалической Монероно-Самаргинской островной дуги (Малиновский и др., 2005). Такое сходство позволяет рассматривать эту дугу в качестве основного источника фемической кластики для седиментационных бассейнов Западно-Сахалинского террейна. Положение точек состава обломочных амфиболов из меловых песчаников на диаграмме Fe–Al–10Ti (Nechaev, 1991) (рис. 6*б*), благодаря низким суммарным содержаниям Cr_2O_3 и TiO_2, также свидетельствует, что их источником были вулканические породы островной дуги и, частично, метаморфические и ультраосновные интрузивные породы офиолитов, участвовавшие

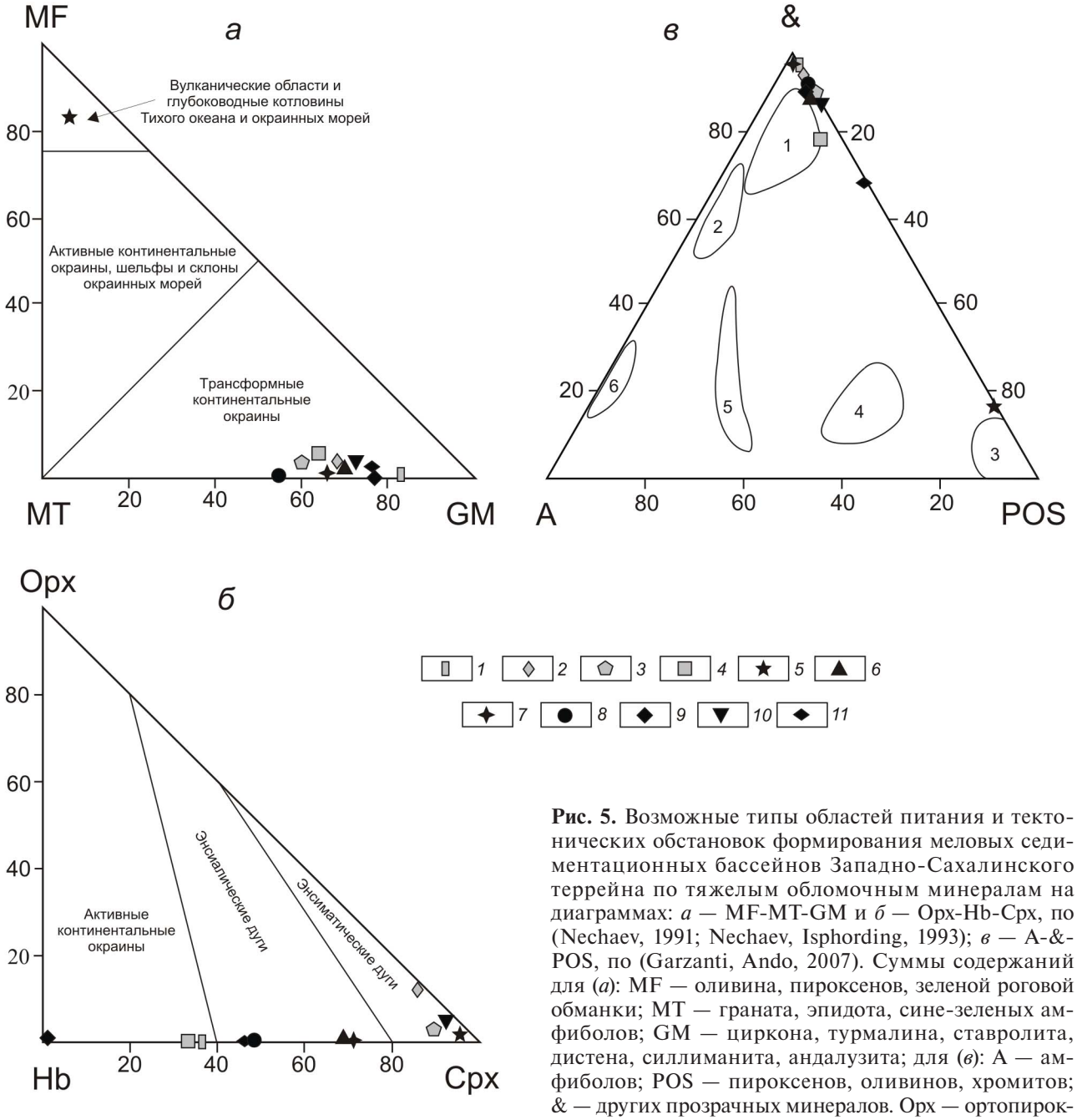

Рис. 5. Возможные типы областей питания и тектонических обстановок формирования меловых седиментационных бассейнов Западно-Сахалинского террейна по тяжелым обломочным минералам на диаграммах: *а* — MF-MT-GM и *б* — Opx-Hb-Cpx, по (Nechaev, 1991; Nechaev, Isphording, 1993); *в* — A-&-POS, по (Garzanti, Ando, 2007). Суммы содержаний для (*а*): MF — оливина, пироксенов, зеленой роговой обманки; MT — граната, эпидота, сине-зеленых амфиболов; GM — циркона, турмалина, ставролита, дистена, силлиманита, андалузита; для (*в*): A — амфиболов; POS — пироксенов, оливинов, хромитов; & — других прозрачных минералов. Opx — ортопироксен, Hb — роговая обманка, Cpx — клинопироксен. Типы питающих провинций: *1* — континентальные блоки (кратоны и краевые части рифтов); *2* — коллизионные орогены; *3–6* — магматические дуги: *3* — неэродированные, *4* — переходные слабоэродированные, *5* — переходные эродированные, *6* — сильноэродированные. *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.

Fig. 5. Possible types of source areas and tectonic settings for the formation of Cretaceous sedimentary basins of the West Sakhalin terrane based on heavy clastic minerals in the diagrams: *a* — MF-MT-GM and *б* — Opx-Hb-Cpx (Nechaev, 1991; Nechaev, Isphording, 1993); *в* — A-&-POS (Garzanti, Ando, 2007). Total contents for (*a*): MF — olivine, pyroxenes, green hornblende; MT — garnet, epidote, blue-green amphiboles; GM — zircon, tourmaline, staurolite, disthene, sillimanite, andalusite; for (*в*): A — amphiboles; POS — pyroxenes, olivines, chromites; & — other transparent minerals. Opx — orthopyroxene, Hb — hornblende, Cpx — clinopyroxene. Types of source provinces: *1* — continental blocks (cratons and marginal parts of rifts); *2* — collision orogens; *3–6* — island arcs: *3* — uneroded, *4* — transitional weakly eroded, *5* — transitional eroded, *6* — strongly eroded. *1–11* — formations: *1–4* — southern part of the terrane: *1* — Ai, *2* — Naiba, *3* — Bykov, *4* — Krasnoyarka; *5–11* — northern part of the terrane: *5* — Rozhdestvenka sequence, *6* — Pobedinka, *7* — Tymovsk, *8* — Verblyuzh'ya gora, *9* — Arkovo, *10* — Zhonk'er, *11* — Krasnoyarka.

Химический состав тяжелых минералов из песчаников мела Западно-Сахалинского террейна (вес. %)
Chemical composition of the heavy minerals from the Cretaceous sandstones of the West Sakhalin terrane (wt %)

Проба	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Сумма
Клинопироксены Южная часть террейна Найбинская свита											
CX-112	51.89	0.53	2.92	0.10	11.45	0.11	14.45	19.56	0.17	-	101.18
CX-112	52.04	0.21	3.50	0.24	7.04	0.41	16.62	20.68	0.12	-	100.86
CX-115	53.32	0.22	2.90	0.29	5.30	0.27	17.09	21.55	0.14	0.04	101.12
CX-115	53.16	0.10	2.36	0.40	5.15	0.11	17.37	22.44	0.16	-	101.25
CX-115	50.23	0.83	4.09	0.14	6.41	0.24	15.34	22.05	-	-	99.33
CX-115	50.01	0.82	4.07	0.19	6.29	-	15.35	21.84	0.33	-	98.90
CX-117	53.40	0.31	1.93	-	8.15	0.11	16.88	21.11	0.21	0.01	102.11
CX-117	52.52	0.19	1.90	0.29	8.87	0.17	17.37	20.76	0.10	0.01	102.18
CX-117	53.54	0.26	3.06	0.57	4.24	0.18	16.91	23.75	0.09	0.02	102.62
CX-117	51.00	0.39	0.26	2.02	8.91	0.19	16.41	19.11	0.3	-	98.59
CX-120	52.63	0.24	3.18	-	7.40	0.18	15.79	22.65	0.11	-	102.18
CX-120	52.52	0.44	3.56	0.10	8.21	0.09	15.27	21.44	0.24	-	101.87
CX-120	51.10	0.52	3.50	-	8.66	0.29	15.22	21.92	0.25	0.01	101.47
CX-120	50.16	0.23	2.75	0.67	5.69	-	15.59	22.71	0.16	-	97.96
CX-120	48.35	0.64	4.59	-	8.98	0.27	14.87	20.81	0.33	-	98.84
CX-122	48.99	1.05	6.01	0.37	7.39	0.17	14.58	21.01	0.25	-	99.82
Быковская свита											
CX-106	51.47	0.51	2.18	-	9.47	0.42	15.19	20.24	-	-	99.48
CX-106	50.45	0.31	1.25	-	12.81	0.66	13.78	19.21	0.24	-	98.71
Красноярковская свита											
CX-99	50.75	0.30	4.02	-	7.19	0.19	15.67	22.18	0.12	0.01	100.43
CX-99	54.00	0.36	3.30	0.36	4.80	0.13	17.21	21.38	0.15	-	101.69
CX-99	51.74	0.19	2.22	0.36	4.97	-	17.35	21.36	0.24	-	98.43
CX-99	51.85	0.24	2.22	0.26	5.43	-	17.27	21.03	0.15	-	98.45
CX-99	47.95	0.49	4.54	-	8.33	-	14.39	21.27	0.28	-	97.25
CX-99	48.19	0.40	4.69	-	8.33	-	14.33	21.35	0.35	-	97.64
C-32	48.98	0.57	5.17	-	6.96	-	14.43	21.55	0.44	-	98.10
Северная часть террейна Рождественская толща											
CX-4	52.72	0.41	3.65	-	8.38	0.37	15.36	21.47	0.19	0.01	102.56
CX-4	52.94	0.29	1.24	0.06	11.91	0.24	14.07	19.62	0.21	-	100.58
CX-4	53.19	0.30	1.30	0.05	9.39	0.37	14.46	21.51	0.18	0.02	100.77
CX-4	53.83	0.36	1.60	0.05	10.49	0.49	14.32	21.46	0.26	0.01	102.87
CX-4	50.63	0.40	1.82	-	12.71	0.52	14.34	18.48	0.38	-	99.28
CX-4	50.80	0.40	1.41	-	13.47	0.64	13.34	19.13	0.29	-	99.48
CX-5	53.07	0.36	3.28	0.13	6.16	0.38	16.36	22.93	0.09	0.03	102.79
CX-5	52.05	0.44	3.60	0.25	6.52	0.32	16.47	21.95	0.13	-	101.73
CX-5	52.73	0.32	2.35	0.16	6.35	0.19	16.90	21.92	0.18	-	101.10
CX-5	51.6	0.28	2.59	0.18	6.35	-	16.78	20.84	0.16	-	98.78
CX-8	50.75	0.56	3.93	-	7.41	0.32	15.38	22.32	0.08	-	100.75
CX-8	52.20	0.47	3.48	0.07	6.19	0.03	16.23	21.62	0.14	0.03	100.46

Таблица. Продолжение

Table. Continued

Проба	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Сумма
СХ-8	53.77	0.43	3.48	0.08	8.36	0.03	15.97	20.97	0.17	-	103.26
СХ-8	53.69	0.14	2.06	0.75	4.41	0.28	17.88	22.47	0.08	-	101.76
СХ-8	53.62	0.24	2.97	0.17	4.62	0.30	16.48	23.08	0.03	-	101.51
СХ-8	51.14	0.47	2.48	-	6.27	0.15	16.44	20.94	0.24	-	98.13
Побединская свита											
СХ-13	53.00	0.25	3.04	0.18	7.06	0.25	16.90	21.42	0.10	0.01	102.21
СХ-13	51.45	0.28	2.80	-	6.24	0.29	16.62	21.19	0.30	-	99.16
СХ-22	52.67	0.25	2.60	0.72	4.59	0.06	16.90	23.42	0.19	0.01	101.41
СХ-22	53.31	0.25	2.85	0.45	5.19	0.24	17.46	22.30	0.09	0.04	102.18
СХ-22	50.56	0.31	2.53	0.23	5.01	0.15	16.41	22.6	0.24	-	98.04
СХ-37	53.84	0.26	2.36	0.22	4.42	0.14	17.07	23.21	0.12	-	101.64
СХ-37	51.96	0.29	3.20	0.21	6.53	0.28	16.16	22.48	0.11	0.01	101.23
СХ-37	51.09	0.41	3.00	0.66	5.18	-	16.96	21.15	0.16	-	98.61
СХ-61	53.88	0.20	2.64	-	6.47	0.11	16.89	21.38	0.07	-	101.64
СХ-61	54.33	0.15	1.56	-	6.29	0.29	17.59	21.28	0.10	-	101.59
СХ-61	51.26	0.36	2.33	0.16	6.60	-	16.76	20.67	0.16	-	98.30
СХ-61	51.56	0.28	2.85	0.25	5.35	-	16.64	21.72	-	-	98.65
СХ-73	52.47	0.47	5.81	0.23	5.41	0.08	14.35	22.04	0.78	0.01	101.65
СХ-73	50.07	0.25	6.19	0.32	7.07	0.25	14.66	23.26	0.15	-	102.22
СХ-73	51.40	0.27	2.07	-	9.28	0.44	17.03	17.99	-	-	98.48
Жонкьерская свита											
Н-75	51.13	-	3.38	-	7.32	-	17.88	18.64	-	-	98.35
Н-76	51.46	-	3.14	-	13.72	0.69	16.07	13.74	-	0.22	99.04
Красноярковская свита											
Н-88	52.85	-	3.89	-	6.48	0.59	15.88	18.21	-	-	97.90
Н-92	52.20	0.43	3.15	-	6.01	-	17.46	19.76	-	-	99.52
Амфиболы Южная часть террейна Найбинская свита											
СХ-120	40.64	2.45	12.00	0.02	19.19	0.24	9.30	11.75	2.15	2.40	100.14
СХ-120	39.65	2.70	12.35	0.01	19.14	0.52	9.35	11.79	2.05	2.33	99.89
Красноярковская свита											
С-37	43.57	1.91	13.15	-	11.08	-	16.00	11.70	2.90	0.44	100.75
С-39	43.20	2.08	12.71	-	12.37	-	14.89	11.37	2.19	0.68	99.49
Северная часть террейна Рождественская толща											
СХ-4	50.35	1.05	6.08	0.08	12.77	0.54	16.09	11.50	0.70	0.18	99.34
СХ-4	48.62	1.22	6.58	0.31	12.32	0.63	15.16	11.48	0.95	0.23	97.50
Побединская свита											
Н-3	43.67	0.60	10.07	-	19.74	0.59	9.33	11.68	1.57	0.99	98.23
Жонкьерская свита											
Н-99	44.19	1.48	11.15	-	12.24	-	13.82	11.71	1.69	0.93	97.21
Н-101	44.05	2.04	11.66	-	12.20	0.62	14.95	10.87	1.88	-	98.27

Таблица. Продолжение

Table. Continued

Проба	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Сумма
Красноярковская свита											
Н-92	44.97	2.07	10.28	-	12.63	0.46	14.76	10.88	2.01	0.44	98.50
Н-93	44.20	2.13	12.82	-	11.55	0.76	14.84	10.30	2.03	0.36	98.99
Хромиты Южная часть террейна Айская свита											
С-25	-	0.35	6.48	57.82	24.06	0.70	8.18	-	-	-	97.59
Найбинская свита											
СХ-115	-	1.39	15.40	44.70	27.02	-	11.36	-	-	-	99.87
СХ-115	-	0.56	10.17	49.84	31.59	0.61	5.52	-	-	-	98.29
СХ-118	-	4.77	11.73	30.45	42.24	0.11	9.49	-	-	-	98.79
СХ-118	-	0.62	16.01	41.52	31.33	0.57	8.68	-	-	-	98.73
СХ-120	-	0.30	9.05	55.75	21.97	0.05	12.18	-	-	-	99.30
СХ-120	-	0.49	19.66	38.36	27.93	0.71	10.91	-	-	-	98.06
СХ-122	-	2.25	13.08	35.96	35.67	0.73	10.87	-	-	-	98.56
Быковская свита											
СХ-106	-	2.24	9.03	50.11	26.02	-	11.09	-	-	-	98.49
СХ-109	-	0.37	14.55	46.30	26.89	0.77	10.59	-	-	-	99.47
СХ-109	-	-	8.74	61.67	19.58	0.67	9.34	-	-	-	100.00
Северная часть террейна Побединская свита											
СХ-42	-	0.80	22.35	29.53	37.65	0.17	9.46	-	-	-	99.96
СХ-42	-	0.33	21.86	44.97	16.73	0.11	15.01	-	-	-	99.01
СХ-42	-	-	28.40	36.87	17.33	-	16.77	-	-	-	99.37
СХ-42	-	0.33	25.74	39.57	16.46	0.29	15.77	-	-	-	98.16
Н-3	-	1.60	9.98	38.52	50.43	1.27	0.74	-	-	-	102.84
Н-3	-	0.66	34.30	31.38	16.31	-	16.32	-	-	-	98.97
Тымовская свита											
СХ-94	-	1.81	11.21	44.44	40.07	0.98	1.07	-	-	-	99.58
Верблюжегорская свита											
СХ-71	-	0.23	12.19	50.21	29.72	0.32	5.89	-	-	-	98.56
СХ-71	-	1.53	23.92	35.91	22.72	-	14.29	-	-	-	98.37
СХ-71	-	0.39	10.52	54.07	25.07	-	9.39	-	-	-	99.44
СХ-73	-	1.17	19.77	39.15	28.93	-	10.72	-	-	-	99.74
СХ-73	-	-	15.76	46.38	27.22	0.79	8.51	-	-	-	98.66
Жонкьерская свита											
Н-75	-	-	9.31	49.34	29.83	0.62	8.51	-	-	-	97.61
Н-76	-	0.47	27.43	36.64	18.72	-	16.24	-	-	-	99.50
Н-77	-	1.79	13.46	44.65	26.15	-	12.89	-	-	-	98.94
Н-95	-	0.54	35.83	25.48	22.51	-	16.30	-	-	-	100.12
Н-95	-	0.62	35.02	24.86	22.23	-	16.12	-	-	-	98.85
Н-99	-	0.83	13.99	44.76	30.83	0.6	11.44	-	-	-	102.55

Таблица. Продолжение

Table. Continued

Проба	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Сумма
Красноярковская свита											
Н-72	-	-	2.21	46.06	47.57	-	1.02	-	-	-	100.82
Н-73	-	0.70	22.00	40.68	21.25	-	-	-	-	-	99.87
Н-86	-	0.50	25.65	32.93	28.19	-	-	-	-	-	98.27
Н-87	-	0.30	27.49	37.66	18.62	-	-	-	-	-	99.94
Н-88	-	-	14.15	47.64	27.66	-	-	-	-	-	98.25
Н-88	-	0.46	27.45	38.44	22.14	-	1.20	-	-	-	102.85
Гранаты Южная часть террейна Айская свита											
С-43/1	37.61	-	21.32	-	32.67	1.95	3.28	4.24	-	-	101.07
С-44	36.75	-	20.80	-	39.06	4.08	0.50	0.40	-	-	101.59
Найбинская свита											
СХ-113	38.39	0.06	21.43	0.11	30.83	3.51	2.24	4.74	0.01	-	101.32
СХ-113	38.03	0.50	20.54	0.02	31.76	3.89	1.64	5.37	-	0.04	101.79
СХ-113	35.86	0.13	21.10	0.09	13.55	25.75	1.04	2.81	-	0.02	100.35
СХ-113	36.85	-	20.99	-	36.13	0.70	2.41	4.14	-	-	101.22
СХ-113	36.48	-	20.54	-	33.00	5.05	1.35	4.53	-	-	100.95
СХ-115	38.13	0.13	21.72	0.02	29.36	1.52	5.08	6.82	-	-	102.78
СХ-115	35.36	0.02	21.81	0.19	28.55	1.34	5.39	6.60	0.01	-	99.27
СХ-115	36.39	0.01	21.69	0.03	28.10	1.05	5.20	6.75	-	-	99.22
СХ-115	35.65	0.04	21.58	0.02	28.41	1.09	5.47	7.02	0.01	0.03	99.32
СХ-115	36.44	-	21.03	-	32.92	4.33	3.29	3.00	-	-	101.01
СХ-117	36.09	0.01	22.05	-	31.77	3.17	4.17	3.17	0.03	-	100.46
СХ-117	34.61	0.22	21.47	-	31.22	5.88	1.48	5.30	0.05	-	100.23
СХ-117	38.32	-	22.56	-	29.23	0.46	9.91	1.05	-	-	101.53
СХ-118	36.64	0.02	21.08	-	36.72	3.60	0.81	2.25	-	-	101.12
СХ-118	38.82	0.18	21.87	0.04	30.20	2.13	4.12	4.58	-	0.06	102.00
СХ-118	39.61	0.08	21.30	0.05	29.59	2.62	4.11	4.53	0.03	0.01	101.93
СХ-118	38.04	0.54	21.67	-	26.56	1.29	5.48	7.38	-	-	100.96
СХ-120	37.75	0.01	22.25	0.21	31.57	1.83	6.49	1.16	-	-	101.27
СХ-120	35.59	0.09	21.45	-	34.58	3.30	1.15	3.70	0.04	0.01	99.91
СХ-120	37.68	-	21.32	-	31.32	0.66	8.29	1.21	-	-	100.48
СХ-120	37.66	-	21.71	-	31.30	0.48	7.93	1.20	-	-	100.28
СХ-122	35.02	0.01	21.79	-	35.39	1.60	3.34	2.19	0.02	0.05	99.41
СХ-122	37.82	0.16	21.27	-	35.08	3.30	1.11	3.55	-	-	102.29
СХ-122	37.52	0.06	21.73	-	34.24	3.71	1.27	3.76	-	0.03	102.32
СХ-122	35.79	0.07	21.50	0.23	33.92	3.46	1.37	3.61	-	-	99.95
СХ-122	37.70	-	21.32	-	30.41	1.17	8.25	1.29	-	-	100.14
СХ-122	37.28	-	21.41	-	31.99	0.65	7.14	1.39	-	-	99.86
Быковская свита											
СХ-109	35.66	0.33	19.39	-	19.40	23.81	1.57	0.43	-	-	100.59
СХ-109	35.49	0.19	20.45	-	33.58	4.30	2.15	3.60	0.04	0.01	99.81
С-42/1	36.34	-	20.48	-	34.02	1.51	1.59	5.18	-	-	99.12

Таблица. Продолжение

Table. Continued

Проба	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Сумма
Краснояркoвская свита											
CX-99	37.17	0.36	20.70	-	31.89	1.37	3.98	5.51	-	-	100.98
CX-100	38.68	0.01	22.28	0.23	30.34	0.48	8.38	1.13	0.03	-	101.56
CX-100	38.04	0.09	22.86	0.02	31.17	0.67	8.61	1.07	-	0.03	102.56
CX-100	36.15	-	20.71	-	32.48	0.63	6.24	2.24	-	-	98.45
CX-100	36.46	0.30	20.44	-	31.93	2.01	2.68	6.04	-	-	99.86
Северная часть террейна Рождественская толща											
CX-12	37.87	0.37	21.61	-	29.80	1.45	3.94	7.13	-	0.01	102.18
CX-12	38.21	0.44	21.44	-	30.10	1.29	3.35	7.34	0.04	-	102.21
CX-12	37.56	0.05	21.95	0.04	35.82	0.93	4.68	1.68	0.03	-	102.74
CX-12	37.16	0.13	21.68	-	33.45	0.73	5.04	1.73	0.05	0.03	100.00
CX-12	36.74	0.11	20.25	-	18.95	16.92	3.05	4.65	-	-	100.67
Побединская свита											
CX-42	37.53	0.01	21.66	0.11	33.86	1.60	5.35	1.02	0.01	-	101.15
CX-42	36.53	-	20.07	-	31.91	2.99	0.68	7.89	-	-	100.07
CX-42	37.45	-	20.85	-	27.73	0.97	6.21	5.8	-	-	99.01
CX-61	37.54	-	21.08	-	30.55	1.71	3.98	5.97	-	-	100.83
CX-61	35.03	-	19.28	-	18.02	24.28	0.78	1.57	-	-	98.96
H-3	34.47	-	18.87	-	20.14	24.01	-	0.49	-	-	97.98
H-3	36.95	-	20.61	-	26.40	15.94	-	1.18	-	-	101.08
H-1	34.30	-	20.43	-	25.39	16.07	-	1.57	-	-	97.76
Верблюжегорская свита											
CX-71	33.99	0.13	23.11	0.05	34.59	0.89	6.36	1.10	-	0.01	100.23
CX-71	34.25	0.01	22.81	0.02	33.02	0.61	8.57	1.10	0.07	-	100.46
CX-71	33.11	0.67	21.18	0.08	31.68	2.08	4.00	5.94	-	-	98.74
CX-71	33.80	0.63	20.89	-	31.37	1.90	3.62	6.38	-	-	98.59
CX-71	39.10	0.06	21.79	-	24.43	9.05	2.44	5.21	0.03	-	102.11
CX-71	39.42	0.14	21.23	0.12	24.94	8.41	2.42	6.04	-	0.02	102.74
CX-71	35.99	0.29	20.00	-	33.74	1.29	1.72	6.14	-	-	99.17
CX-71/1	37.14	0.22	21.34	-	33.21	1.40	5.26	3.65	0.02	0.01	102.25
CX-71/1	38.02	0.14	20.94	0.05	33.11	1.50	4.81	3.73	-	0.05	102.35
CX-71/1	38.97	0.20	21.64	-	31.29	1.73	5.03	3.34	0.04	-	102.24
CX-71/1	39.52	0.28	21.20	-	31.00	1.63	4.71	3.65	-	0.02	102.01
CX-71/1	37.70	0.04	20.96	-	32.73	10.55	0.14	0.18	0.07	0.06	102.43
CX-71/1	36.27	0.03	21.20	-	32.03	11.32	0.17	0.13	0.06	0.01	101.22
CX-72	35.47	0.01	18.70	-	21.47	16.80	-	6.34	-	-	98.79
CX-72	35.89	0.36	19.83	-	33.10	3.24	1.63	5.61	-	-	99.66
CX-73	35.79	0.01	21.25	0.10	34.00	7.69	1.02	0.36	0.03	0.01	100.26
CX-73	37.46	0.01	21.57	-	33.39	8.17	0.92	0.36	0.11	0.03	102.02
CX-73	33.50	0.52	21.75	-	31.28	2.01	3.70	6.48	-	0.04	99.28
CX-73	37.91	0.56	21.28	-	28.38	2.04	3.53	5.82	-	-	99.52
CX-73	35.58	-	20.66	-	31.36	12.29	1.10	0.36	-	-	101.35
CX-73	35.35	-	20.35	-	38.41	2.38	2.10	0.76	-	-	99.35

Таблица. Окончание

Table. Continued

Проба	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Сумма
Жонкьерская свита											
Н-77	41.10	-	24.40	-	26.89	8.14	2.73	-	-	-	103.28
Н-77	38.42	0.14	22.23	-	25.94	8.41	2.42	56.04	-	0.02	102.62
Н-77	38.50	-	20.90	-	22.54	16.12	3.54	1.26	-	-	102.87
Н-95	38.87	-	21.29	-	29.98	-	1.07	6.27	-	-	97.48
Н-99	35.16	-	19.89	-	30.56	5.02	3.82	3.86	-	-	98.31
Н-106	34.53	-	19.58	-	34.70	1.94	2.08	2.76	-	-	95.58
Красноярковская свита											
Н-72	36.24	-	20.47	-	36.33	1.76	1.50	2.95	-	-	99.25
Н-92	34.63	-	19.84	-	32.60	10.82	-	0.20	-	-	98.10

Примечание. FeO* — общее железо. Прочерк — компонент не обнаружен.
Note. FeO* is total iron. A dash denotes that the elements were not found.

в строении ее основания. На участие в строении области питания ультраосновных и основных интрузивных и вулканических пород также указывают довольно многочисленные зерна хромита, обнаруженные в тяжелой фракции песчаников. По содержанию титана хромиты разделяются на два типа (Щека, Вржосек, 1983) (рис. 6*г*): низкотитанистые (TiO_2<1.5%), источником которых были магматические породы офиолитов, и высокотитанистые (TiO_2>1.5%), происходящие, вероятно, из щелочных внутриплитных базальтов. аналогом которых являются базальты рождественской свиты. Большинство гранатов, изученных в песчаниках Западного Сахалина, относятся к группе альмандина (Al_2O_3 — 18.70–23.11%, FeO+Fe_2O_3 — 13.55–39.06%) и лишь иногда содержат небольшую гроссуляровую либо спессартиновую составляющую. По составу они соответствуют гранатам метаморфических пород гранулитовой и амфиболитовой фаций, а также кислых интрузивных пород и пород низких стадий метаморфизма (Teraoka, 2003) (рис. 6*в*). Их источниками, очевидно, были зрелая континентальная земная кора и (или) основание окраинно-континентальной магматической дуги, в строении которых участвовали гранитоиды и метаморфические породы различных степеней метаморфизма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для выяснения геодинамической обстановки формирования меловых отложений Западно-Сахалинского террейна и установления тектонических типов и состава материнских пород вероятных источников питания бассейнов седиментации были изучены состав и содержания тяжелых обломочных минералов в песчаниках террейна, количественные соотношения между ними, а также микрохимический состав некоторых минералов.

В результате проведенных минералого-петрографических исследований было установлено: 1) по своим петрографическим параметрам песчаные породы террейна соответствуют грауваккам, формировавшимся преимущественно за счет разрушения вулканических и гранитно-метаморфических пород; 2) все тяжелые минералы песчаников разделяются на две минералогические ассоциации: сиалическую, происходящую из кислых изверженных и метаморфических пород, и фемическую, связанную с разрушением основных и ультраосновных магматических пород.

Палеогеодинамическая интерпретация полученных данных по соотношению ассоциаций тяжелых минералов в песчаных породах террейна, а также их микрохимическому составу указывает на существование нескольких контрастных источников питания. Доминирующим источником вещества, поставлявшим обломочный материал в седиментационные бассейны террейна на протяжении берриасдатского времени, судя по преобладанию в песчаниках минералов сиалической ассоциации, а также микрохимическому составу гранатов, была сиалическая суша, сложенная гранитно-метаморфическими и древними осадочными породами.

Вторым по значению источником обломочного вещества была зрелая глубоко расчлененная энсиалическая островная дуга, поставлявшая в бассейн минералы как фемической, так и сиалической ассоциаций. Источником фемической ассоциации, судя по набору типично островодужных минералов, а также микрохимическому составу обломочных клинопи-

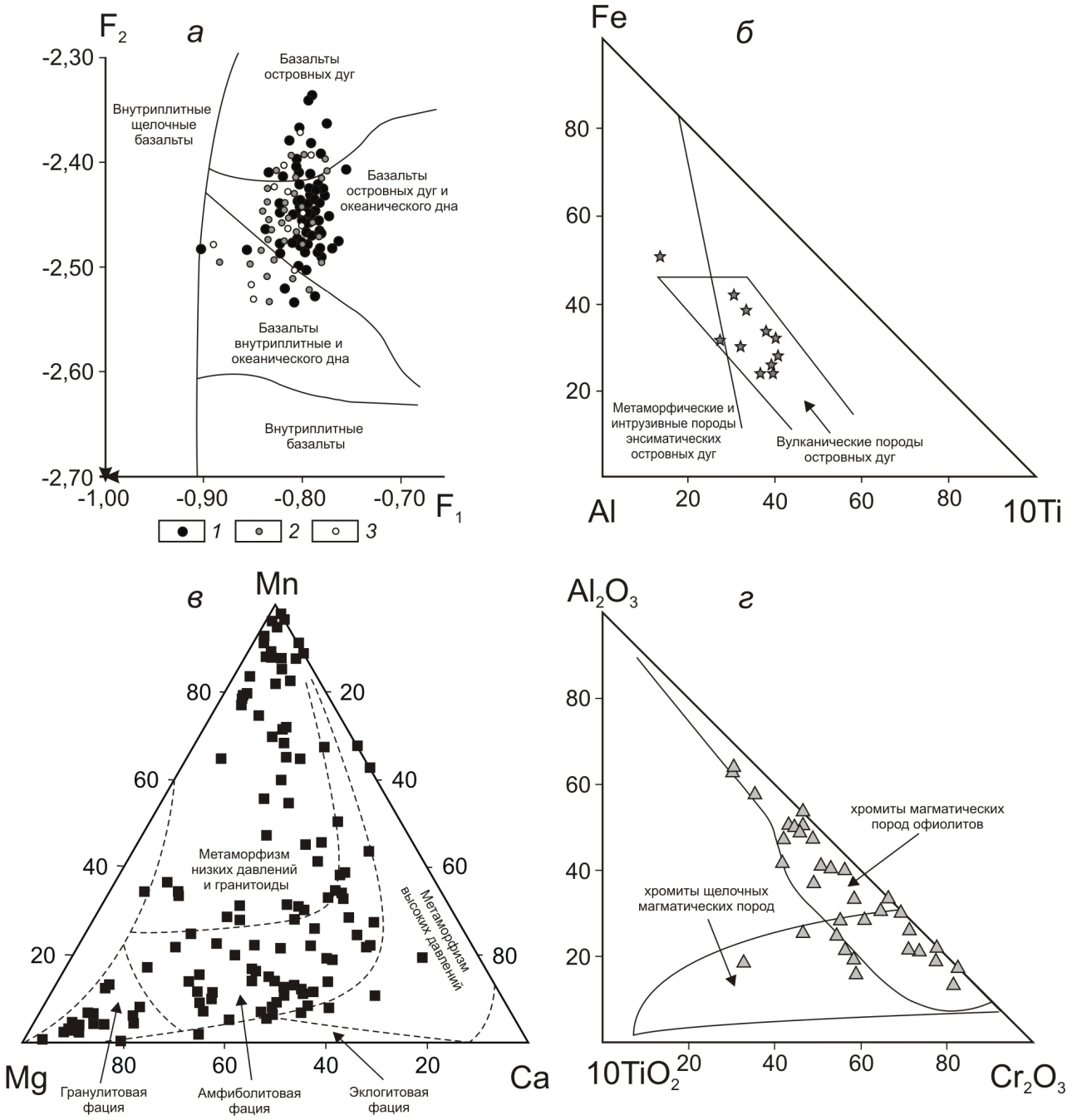

Рис. 6. Диаграммы составов тяжелых обломочных минералов из песчаников мела Западно-Сахалинского террейна и их вероятных вулканических источников: *а* — для клинопироксенов, по (Nisbet, Pearce, 1987): $F_1 = -0.012\times SiO_2 - 0.0807\times TiO_2 + 0.0026\times Al_2O_3 - 0.0012\times FeO - 0.0026\times MnO + 0.0087\times MgO - 0.0128\times CaO - 0.0419\times Na_2O$; $F_2 = -0.0496\times SiO_2 - 0.0818\times TiO_2 - 0.02126\times Al_2O_3 - 0.0041\times FeO - 0.1435\times MnO - 0.0029\times MgO - 0.0085\times CaO + 0.0160\times Na_2O$; *б* — для амфиболов, по (Nechaev, 1991); *в* — для гранатов, по (Teraoka, 2003); *г* — для хромитов, по (Щека, Вржосек, 1983). *1–3* — клинопироксены из: *1* — песчаников мела Западно-Сахалинского террейна, *2* — песчаников и *3* — базальтов Кемского террейна Восточного Сихотэ-Алиня.

Fig. 6. Compositional diagrams of the heavy detrital minerals from Cretaceous sandstones of the West Sakhalin terrane and their probable volcanic sources: *a* — for clinopyroxenes (Nisbet, Pearce, 1987): $F_1 = -0.012\times SiO_2 - 0.0807\times TiO_2 + 0.0026\times Al_2O_3 - 0.0012\times FeO - 0.0026\times MnO + 0.0087\times MgO - 0.0128\times CaO - 0.0419\times Na_2O$; $F_2 = -0.0496\times SiO_2 - 0.0818\times TiO_2 - 0.02126\times Al_2O_3 - 0.0041\times FeO - 0.1435\times MnO - 0.0029\times MgO - 0.0085\times CaO + 0.0160\times Na_2O$. *б* — for amphiboles (Nechaev, 1991); *в* — for garnets (Teraoka, 2003); *г* — for chromites (Shcheka, Vrzhosek, 1983). *1–3* — clinopyroxenes from: *1* — Cretaceous sandstones of the West Sakhalin terrane, *2* — sandstones and *3* — basalts of the Kema terrane of East Sikhote Alin.

роксенов, роговых обманок и части хромитов, имеющих островодужные характеристики, были вулканические образования дуги. Вскрытые же эрозией гранитно-метаморфические породы основания дуги служили еще одним, дополнительным, источником сиалической кластики. Дугой, образующей этот источник, скорее всего, была раннемеловая Монероно-Самаргинская островная дуга, фрагменты которой известны в хребте Сихотэ-Алинь в виде Кемского террейна (Малиновский и др., 2005). Это предположение подтверждается, в частности, химическим составом клинопироксенов, идентичных клинопироксенам из песчаников и базальтов Кемского террейна.

И, наконец, источником хромитов, магнетитов, пироксенов и амфиболов, обладающих внутриплитными характеристиками, был еще один, второстепенный источник, представлявший собой размывавшиеся фрагменты юрско-раннемеловых аккреционных призм Сихотэ-Алиня, в строении которых участвовали океанические комплексы, в том числе офиолиты. К началу накопления в берриасе терригенных отложений эти комплексы были выведены эрозией на поверхность и в дальнейшем их влияние на процессы осадконакопления, как источника вещества, судя по нарастанию вверх по разрезу содержания указанных минералов, и особенно хромита, заметно увеличивалось, достигая своего максимума в кайнозойских отложениях террейна (Малиновский, 2019).

Таким образом, область питания для меловых отложений Западно-Сахалинского террейна была гетерогенной. Основными источниками обломочного вещества являлись гранитно-метаморфические и древние осадочные породы, слагавшие размывавшуюся сиалическую континентальную сушу, к которым примешивалась вулканокластика и продукты разрушения сиалического фундамента раннемеловой окраинно-континентальной Монероно-Самаргинской островной дуги, а также основных и ультраосновных магматических пород офиолитов, участвовавших в строении аккреционных призм Сихотэ-Алиня.

Генетическая интерпретация всей совокупности полученных данных по тяжелым обломочным минералам из песчаных пород Западно-Сахалинского террейна подтверждает полученные ранее выводы (Голозубов, 2006; Малиновский, 2018) о том, что в альб-датское время седиментация происходила вдоль границы континент-океан в бассейне, связанном с крупномасштабными левосторонними трансформными скольжениями плиты Изанаги относительно Евразиатского континента. Главным и наиболее характерным признаком седиментации в обстановке трансформного скольжения плит является «смешанный» состав кластики, свидетельствующий о том, что область питания сочетала в себе как краевые части сиалической суши, так и аккретированные к ней фрагменты островных дуг и участков океанической коры. Примеры бассейнов подобного типа известны вдоль Калифорнийской окраины Америки, а также в Центральном Сихотэ-Алине — Журавлевский синсдвиговый террейн (Малиновский, Голозубов, 2011; Christie-Blick, Biddle, 1985). Вместе с тем, преобладание в берриас-аптской вулканогенно-кремнистой рождественской толще фемической ассоциации тяжелых минералов (рис. 4), среди которых резко преобладает клинопироксен, наиболее характерно для отложений, формирование которых происходило в глубоководных впадинах Тихого океана и его окраинных морей, где основным источником обломочного вещества были вулканические породы энсиматической островной дуги, к которым примешивался материал океанических комплексов и сиалическая кластика континентальной окраины.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-05-00119).

Список литературы [References]

Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 1–572 [Geodinamics, Magmatism and Metallogeny of the Russian East. Ed. A.I. Khanchuk, Vladivostok: Dalnauka, 2006. Book 1. P. 1–572 (in Russian)].

Геология, геодинамика и перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Татарского пролива / Ред. Г.Л. Кириллова. Владивосток: ДВО РАН, 2004. 220 с. [Geology, Geodynamics, and Possible Petroleum Potential of Sedimentary Basins in the Tatar Strait, Ed. G.L. Kirillova. Vladivostok: Dalnauka, 2004. 220 p. (in Russian)].

Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 239 с. [*Golozubov V.V.* Tectonics of the jurassic and lower cretaceous complexes of the north-western framing of the Pacific ocean. Vladivostok: Dalnauka, 2006. 239 p. (in Russian)].

Голозубов В.В., Касаткин С.А., Малиновский А.И. и др. Дислокации меловых и кайнозойских комплексов северной части Западно-Сахалинского террейна // Геотектоника. 2016. № 4. С. 105–120. https://doi.org/10.7868/S0016853X16040032 [*Golozubov V.V., Kasatkin S.A., Malinovskii A.I. et al.* Dislocations of the cretaceous and cenozoic complexes of the northern part of the West Sakhalin Terrane // Geotectonics. 2016. V. 50. Iss. 4. P. 439–452. https://doi.org/10.1134/S0016852116040038].

Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000. Издание третье,

Дальневосточная серия. М-54 (Александровск-Сахалинский). СПб: ВСЕГЕИ, 2001. https://www.geokniga.org/maps/17222 [State Geologic Map of Russian Federation, Scale 1:1000000, 3-rd ed., Far East Series. Sheet M-54 (Alexanderovsk-Sakhalinsky). St. Petersburg: VSEGEI, 2001. (in Russian)].

Деркачев А.Н. Минералогические особенности окраинно-морского седиментогенеза (на примере Японского моря). Владивосток: Дальнаука, 1996. 226 с. [*Derkachev A.N.* Mineralogical peculiarities of marginal sea sedimentogenesis (Japan Sea as an example). Vladivostok: Dalnauka, 1996. 226 p. (in Russian)].

Жаров А.Э. Геологическое строение и мел-палеогеновая геодинамика Юго-Восточного Сахалина. Южно- Сахалинск: Сахалинское областное книжное изд-во, 2004. 192 с. [*Zharov A.E.* Geological Structure and Cretaceous-Paleogene Geodynamics in Southwestern Sakhalin. Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalin. Oblastn. Knizhn. Izd-vo, 2004. 192 p. (in Russian)].

Зябрев С.В. Глубоководные отложения, палеогеография и палеотектоника Западно-Сахалинского прогиба: Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 1992. 25 с. [*Zyabrev S.V.* Glubokovodnye otlozheniya, paleogeographiya i paleotektonika Zapadno-Sakhalinskogo progiba. Avtoref. dis. kand. geol.-min. nauk. Khabarovsk, 1992. 25 p. (in Russian)].

Зябрев С.В., Пересторонин А.Н., Жаров А.Э. Начало терригенной седиментации в Западно-Сахалинском преддуговом прогибе – деталь ранней истории аккреционной системы Сахалина и Хоккайдо // Тихоокеан. геология. 2004. № 1. С. 53–61 [*Zyabrev S.V., Perestoronin A.N., Zharov A.E.* Commencement of siliciclastic sedimentation in the West Sakhalin forearc: an aspect of the early history of the Sakhalin-Hokkaido accretionary system // Tikhookeanskaya Geologia. 2004. №. 1. P. 53–61 (in Russian)].

Ляхович В.В. Акцессорные минералы горных пород. М.: Недра, 1979. 296 с. [*Lyakhovich V.V.* Aksesornye mineraly gornykh porod. Moscow: Nedra, 1979. 296 c. (in Russian)].

Летникова Е.Ф., Вещева С.В., Прошенкин А.И. и др. Неопротерозойские терригенные отложения Тувино-Монгольского массива: геохимическая корреляция, источники сноса, геодинамическая реконструкция // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 12. С. 2110-2121 [*Letnikova E.F., Veshcheva S.V., Proshenkin A.I. et al.* Neoproterozoic terrigenous deposits of the Tuva–Mongolian massif: geochemical correlation, sourcelands, and geodynamic reconstruction // Russian Geol. and Geophysics. 2011. V. 52. Iss. 12. C. 1662–1671. https://doi.org/10.1016/j.rgg.2011.11.013].

Малиновский А.И. Геохимические особенности и геодинамические обстановки формирования меловых терригенных отложений Западно-Сахалинского террейна // Литология и полезные ископаемые. 2018. № 2. С. 152–170. https://doi.org/10.7868/S0024497X18020040 [*Malinovsky A.I.* Geochemical features and geodynamic settings of the formation of Cretaceous trrrigenous rocks of the West Sakhalin terrane // Lithology and Mineral Resources. 2018. V. 53. Iss. 2. P. 140–158. https://doi.org/10.1134/S0024490218010066].

Малиновский А.И. Источники питания и обстановки формирования кайнозойских отложений Западно-Сахалинского террейна по результатам изучения тяжелых обломочных минералов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2019. Вып. 43. № 3 С. 5–25. https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-3-43-5-25 [*Malinovsky A.I.* Source areas and geodynamic settings of Cenozoic deposits in the West Sakhalin terrane based on the results of study of heavy detrital minerals // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2019. №. 3(43). P. 5–25 (in Russian)].

Малиновский А.И., Голозубов В.В., Симаненко В.П. Состав и обстановки накопления нижнемеловых терригенных пород бассейна р. Кемы (Восточный Сихотэ-Алинь) // Литология и полезные ископаемые. 2005. Т. 40. № 5. С. 495–514 [*Malinovsky A.I., Golozubov V.V., Simanenko V.P.* Composition and depositional settings of lower cretaceous terrigenous rocks of the Kema River Basin, Eastern Sikhote Alin // Lithology and Mineral Resources. 2005. V. 40. Iss. 5. P. 429–447. https://doi.org/10.1007/s10987-005-0041-9].

Малиновский А.И., Маркевич П.В. Тяжелые обломочные минералы островодужных комплексов Дальнего Востока // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26. № 1. С. 81–93 [*Malinovsky A.I., Markevich P.V.* Heavy clastic minerals from the Far East island-arc complexes // Russian Journal of Pacific Geology. 2007. V. 1. Iss. 1. P. 71–81. https://doi.org/10.1134/S1819714007010083].

Малиновский А.И., Маркевич П.В., Тучкова М.И. Тяжелые обломочные минералы терригенных пород как индикаторы геодинамических обстановок в палеобассейнах орогенных областей Востока Азии // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. Вып. 8. № 2. С. 97–111 [*Malinovsky A.I., Markevich P.V., Tuchkova M.I.* Clastic heavy minerals of terrigenous rocks as indicators of geodynamic environments in paleobasins of the East Asia orogenic belts // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2006. № 2(8). P. 97–111 (in Russian)].

Малиновский А.И., Голозубов В.В. Литология и обстановки формирования терригеннных отложений вдоль трансформных границ плит на примере раннемелового Журавлевского террейна (южный Сихотэ-Алинь) // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30. № 5. С. 35–52 [*Malinovsky A.I., Golozubov V.V.* Lithology and Depositional Settings of the Terrigenous Sediments along Transform Plate Boundaries: Evidence from the Early Cretaceous Zhuravlevka Terrane in Southern Sikhote Alin // Russian Journal of Pacific Geology. 2011. V. 5. Iss. 5. P. 400–417. https://doi.org/10.1134/S1819714011050058].

Маркевич П.В., Филиппов А.Н., Малиновский А.И. и др. Геосинклинальный литогенез на границе континент-океан. М.: Наука, 1987. 177 с. [*Markevich P.V., Filippov A.N., Malinovsky A.I. et al.* Geosynclinal lithogenesis at the continent-ocean boundary, Moscow: Nauka, 1987. 177 p. (in Russian)].

Маслов А.В., Подковыров В.Н., Мизенс Г.А. и др. Дискриминантные палеогеодинамические диаграммы для терригенных пород: опыт сопостав-

ления // Геохимия. 2016. № 7. С. 579–595. https://doi.org/10.7868/S0016752516060030 [*Maslov A.V., Podkovyrov V.N., Mizens G.A. et al.* Tectonic setting discrimination diagrams for terrigenous rocks: a comparison // Geochemistry International. 2016. V. 54. Iss. 7. C. 569–583. https://doi.org/10.1134/S0016702916060033].

Натальин Б.А. Мезозойская аккреционная и коллизионная тектоника юга Дальнего Востока России // Тихоокеан. геология. 1991. № 5. С. 3–23 [*Natal'in B.A.* Mesozoic accretion and collisional tectonics of the south of the Far East of Russia // Tikhookeanskaya Geologia. 1991. № 5. C. 3–23 (in Russian)].

Нечаев В.П., Маркевич П.В., Малиновский А.И. и др. Геодинамические обстановки накопления меловых отложений Нижнего Приамурья по ассоциациям тяжелых минералов // Тихоокеан. геология. 1996. Т. 15. № 3. С. 14–24 [*Nechaev V.P., Markevich P.V., Malinovsky A.I. et al.* Geodynamic setting for accumulation of Cretaceous deposits in the Lower Amur region based on heavy mineral assemblages // Tikhookeanskaya Geologia. 1996. № 3. P. 14–24 (in Russian)].

Опорный разрез меловых отложений Сахалина (Найбинский разрез) / Под ред. З.Н. Пояркова. Л.: Наука, 1987. 196 с. [Reference section of Cretaceous deposits in Sakhalin. Ed. Z.N. Poyarkov. Leningrad: Nauka, 1987. 196 p. (in Russian)].

Сальников Б.А., Туренко Т.В., Сальникова Н.Б. Нижнемеловые отложения Сахалина // Тихоокеан. геология. 1984. № 5. С. 34–37 [*Sal'nikov B.A., Turenko T.V., Sal'nikova N.B.* Lower Cretaceous deposits of Sakhalin // Tikhookeanskaya Geologia. 1984. № 5. P. 34–37 (in Russian)].

Тучкова М.И., Маркевич П.В., Крылов К.А. и др. Минералого-петрографический состав и геодинамические условия накопления меловых отложений Пенжинской губы // Литология и полезные ископаемые. 2003. Т. 38. № 3. С. 197–208 [*Tuchkova M.I., Markevich P.V., Krylov K.A. et al.* Cretaceous kocks of the Penzhina bay: mineralogy, petrography, and geodynamic sedimentation conditions // Litologia i Poleznye Iskopaemye. 2003. V. 38. № 3. P. 197–208 (in Russian)].

Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д. и др. Геология и полезные ископаемые Приморского края: очерк. Владивосток: Дальнаука, 1995. 82 с. [*Khanchuk A.I., Ratkin V.V., Ryazantseva M.D. et al.* Geology and Mineral Resources of Primorye: an Overview. Vladivostok: Dalnauka, 1995. 82 p. (in Russian)].

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)].

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 comatiites // Volcanology and Seismology. 1983. № 2. P. 3–16 (in Russian)].

Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical compositions of sandstones // Journal of Geology. 1983. V. 91. P. 611–627. https://doi.org/10.1086/628815.

Christie-Blick N., Biddle K.T. Deformation and basin formation along strike-slip faults // Strike-slip deformation, basin formation, and sedimentation: Society of economic paleontologists and mineralogists special publication / Edited by K.T. Biddle and N. Christie-Blick. 1985. V. 37. P. 1–34. https://doi.org/10.2110/pec.85.37.0001.

Dickinson W.R., Suczek C.A. Plate tectonics and sandstone composition // The American Association of Petroleum Geologist Bulletin. 1979. V. 63. № 12. P. 2164–2182. https://doi.org/10.1306/2F9188FB-16CE-11D7-8645000102C1865D/.

Fournier M., Jolivet L., Huchon P. et al. Neogene strike-slip faulting in Sakhalin and the Japan Sea opening // JGR. 1994. V. 99. Iss. B2. P. 2701–2725. https://doi.org/10.1029/93JB02026.

Garzanti E., Ando S. Plate tectonics and heavy mineral suites of modern sands // Heavy minerals in use. Developments in sedimentology / Edited by M.A. Mange, D.T. Wright. Amsterdam: Elsevier, 2007. P. 741-764. https://doi.org/10.1016/S0070-4571(07)58029-5.

Heavy minerals in use. Developments in sedimentology / Edited by M.A. Mange, D.T. Wright. Amsterdam: Elsevier, 2007. 1283 p.

Markevich P.V., Malinovsky A.I., Tuchkova M.I. et al. The use of heavy minerals in determining the provenance and tectonic evolution of Mesozoic and Cenozoic sedimentary basins in the continent – Pacific Ocean transition zone: examples from Sikhote-Alin and Koryak-Kamchatka Regions (Russian Far-East) and Western Pacific // Heavy minerals in use. Developments in sedimentology / Edited by M.A. Mange, D.T. Wright. Amsterdam: Elsevier, 2007. P. 741–764. https://doi.org/10.1016/S0070-4571(07)58031-3.

Maynard J.B., Valloni R., Yu H.S. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins // Trench-Forearc Geology. Sedimentation and tectonics of modern and ancient plate margins. Oxford, London, Edinburgh, Melbourne, 1982. P. 551–561.

Morton A.C. Geochemical studies of detrital heavy minerals and their application to provenance research // Developments in Sedimentary Provenance Studies. Geological Society Special Publication / Edited by A.C. Morton, S.P. Todd, P.D.W. Haughton. 1991. V. 57. P. 31–45. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1991.057.01.04.

Morton A.C., Hallsworth C. Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones // Sedimentary Geology. 1994. V. 90. Iss. 3/4. P. 241–256. https://doi.org/10.1016/0037-0738(94)90041-8.

Morton A.C., Meinhold G., Howard J.P. et al. A heavy mineral study of sandstones from the eastern Murzuq Basin, Libya: constraints on provenance and stratigraphic correlation // Journal of African Earth Sciences. 2011. V. 61. Iss. 4. P. 308–330. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2011.08.005.

Nechaev V.P. Evolution of the Philippine and Japan Seas from the clastic sediment record // Marine Geology. 1991. V. 97. Iss. 1–2. P. 167–190. https://doi.org/10.1016/0025-3227(91)90025-Y.

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. Iss. 6. P. 1110-1117. https://doi.org/10.1306/D4267CB7-2B26-11D7-8648000102C1865D.

Nisbet E.G., Pearce J.A. Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1977. V. 63. Iss. 2. P. 149–160. https://doi.org/10.1007/BF00398776.

Teraoka Y. Detrital garnets from Paleozoic to Tertiary sandstones in Southwest Japan // Bulletin of Geological Survey of Japan. 2003. V. 54. Iss. 5–6. P. 171–192. https://doi.org/10.9795/bullgsj.54.171.

Roser B.P., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO2 content and K_2O/Na_2O ratio // Journal of Geology. 1986. V. 94. Iss. 5. P. 635–650. https://www.jstor.org/stable/30078330.

HEAVY CLASTIC MINERALS AS AN INDICATOR OF GEODYNAMIC SETTINGS OF ACCUMULATION AND PROVENANCE OF CRETACEOUS SEDIMENTS OF THE WEST SAKHALIN TERRANE

A.I. Malinovsky

Far East Geological Institute, FEB RAS; Vladivostok, Russia, 690022; e-mail: malinovsky@fegi.ru

The article discusses the results of studying heavy clastic minerals from the Cretaceous sandy rocks of the West Sakhalin Terrane, and also presents their paleogeodynamic interpretation. It is shown that in terms of mineralogical and petrographic parameters, the terrane sandstones correspond to typical graywackes and are petrogenic rocks formed mainly by destruction of igneous rocks of the source areas. The sediments were found to contain both sialic, granite-metamorphic association minerals, and femic, formed by products of the destruction of basic and ultrabasic volcanic rocks. The interpretation of the entire set of data on the content, distribution and microchemical composition of heavy minerals was carried out by comparing them with minerals from older rocks and modern sediments accumulated in known geodynamic settings. The results obtained indicate that during the Cretaceous, sedimentation occurred along the continent-ocean boundary in a basin associated with large-scale left-lateral transform movements of the Izanagi Plate relative to the Eurasian continent. The source area that supplied clastic material to that basin combined a sialic landmass composed of granite-metamorphic and sedimentary rocks, a mature deeply dissected ensialic island arc, and fragments of accretion prisms, in the structure of which involved ophiolites.

Keywords: West Sakhalin terrane, Cretaceous, sandstones, heavy minerals, power sources, geodynamic settings.

Поступила в редакцию 26.12.2020 г.
После доработки 01.03.2021 г.
Принято в печать 28.03.2021 г.