Научные статьи

УДК 552.181:551.24(571.642) DOI: 10.31431/1816-5524-2019-3-43-5-25

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ И ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНО-САХАЛИНСКОГО ТЕРРЕЙНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ОБЛОМОЧНЫХ МИНЕРАЛОВ

© 2019 А.И. Малиновский

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

Рассматриваются полученные данные по содержанию, характеру распределения и составу тяжелых обломочных минералов из песчаных пород кайнозоя Западно-Сахалинского террейна. Показано, что породы содержат как минералы сиалической, гранитно-метаморфической, ассоциации, так и фемической, образованной продуктами разрушения вулканических пород. Обобщение и интерпретация полученных данных позволяют предполагать, что осадконакопление происходило на активной континентальной окраине в бассейне, связанном с крупными сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам. Область питания, поставлявшая обломочный материал в этот бассейн, объединяла континентальную окраину, сложенную гранитно-метаморфическими и осадочными породами, и зрелую глубоко расчлененную энсиалическую дугу, в которой эрозия вскрыла гранитоидные батолиты, подстилавшие вулканиты. Помимо того, в состав питающей провинции входили фрагменты аккреционных призм, в строении которых участвовали офиолиты. Проведенные U-Pb изотопные датировки детритовых цирконов позволили установить основные комплексы гранитоидов, поставлявших кластику в седиметационные бассейны террейна.

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

В последние годы, в результате проведения многочисленных биостратиграфических, геологосъемочных и поисковых работ, существенно увеличилась сумма знаний о геологическом строении и истории развития острова Сахалин и, в частности, входящего в его состав Западно-Сахалинского террейна. Появилось много новых данных по стратиграфии, тектонике, петрологии, чему способствовало появление новых аналитических методов и увеличение их точности (Гладенков и др., 2002; Голозубов и др., 2016; Гранник, 2008; Жаров, 2004; Зябрев и др., 2004; Опорный ..., 1987 и др.). На этом фоне заметно отстают, а в плане изучения вещественного состава пород практически отсутствуют, литологические исследования, особенно это касается кайнозойских отложений террейна. В результате палеотектонические реконструкции часто делаются на основе общих геологических представлений или с учетом только магматических образований, без учета вещественного состава терригенных пород, что нередко обнаруживает противоречия в их истолковании.

Изучение тяжелых обломочных минералов из терригенных пород различных типов седиментационных бассейнов привлекает к себе повышенное внимание, поскольку является важным инструментом познания условий их формирования и эволюции в геологическом времени, а также выяснению закономерностей образования и размещения ряда полезных ископаемых осадочного происхождения (Батурин, 1947; Бергер, 1986; Morton, Hallsworth, 1994). Проведенные российскими и зарубежными литологами исследования древних терригенных пород и современных осадков океанов и окраинных морей позволили установить, что определенные ассоциации тяжелых минералов, количе-

ственные соотношения между ними, а также микрохимический состав некоторых минералов могут служить надежными индикаторами типа и состава областей питания, геодинамических обстановок бассейнов седиментации, а также присущих им магматических процессов (Деркачев, 1996; Малиновский и др., 2006; Тучкова и др., 2003; Heavy..., 2007; Morton et al., 2011; Nechaev, Isphording, 1993; Uddin, Lundberg, 1998 и др.).

Результатам изучения особенностей состава и характера распределения тяжелых обломочных минералов в песчаных породах кайнозоя Западно-Сахалинского террейна, генетическая интерпретация которых позволяет определить состав областей питания бассейна седиментации и выяснить палеогеодинамические обстановки его формирования, посвящена данная публикация.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СТРОЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ

Западно-Сахалинский террейн входит в состав мезозойско-кайнозойского Сахалинско-Камчатского орогенного пояса и, в силу своей приуроченности к восточной границе Евразийской плиты, является одной из ключевых структур в плане понимания процессов эволюции зоны перехода от Тихого океана к Азиатскому континенту (Геодинамика ..., 2006).

Террейн представляет собой узкий (шириной до 70 км) тектонический блок, протягивающийся вдоль побережья Татарского пролива более чем на 650 км. Границами его служат две системы разломов — Западно-Сахалинская на западе и Тымь-Поронайская на востоке (рис. 1). Продолжением террейна на о. Хоккайдо является пояс Сорачи-Йезо (Жаров, 2004; Fournier et al., 1994). Изученные кайнозойские отложения общей мощностью до 12000 м представлены прибрежно-морскими и континентальными часто угленосными терригенными и вулканогенными породами: песчаниками, алевролитами, аргиллитами, гравелитами, конгломератами, туфами, туффитами, базальтами, углями. Породы в различной степени дислоцированы и с размывом, но без углового несогласия перекрывают нижележащие меловые отложения. Следует отметить, что отложения, расположенные к северу и югу от широты г. Углегорска (49° с.ш.), различаются по мощностям и фациальным обстановкам осадконакопления (Геология ..., 2004; Гладенков и др., 2002, Голозубов и др., 2016). Отложения южной части террейна имеют мощность до 12000 м и представлены преимущественно прибрежно-морскими терригенными и вулканогенно-осадочными образованиями, объединенными в снежинкинскую (палеоцен — средний эоцен), краснопольевскую (средний эоцен), такарадайскую (верхний эоцен), аракайскую (олигоцен), холмскую (верхний олигоцен), невельскую (нижний миоцен), верхнедуйскую (нижний миоцен), курасийскую (средний — верхний миоцен) и маруямскую (верхний миоцен — плиоцен) свиты (Геология ..., 2004; Гладенков и др., 2002; Захарова, 1973 и др.) (рис. 1). Терригенные отложения этих свит представлены горизонтами и линзами конгломератов, гравелитов, разнозернистых песчаников, алевролитов и аргиллитов, часто содержащих карбонатные конкреции и конкреционные прослои. В курасийской свите, помимо этого, отмечаются окремненные аргиллиты, опоки и диатомиты, а в снежинкинской и верхнедуйской свитах — пласты углей. Влияние синседиментационных вулканических процессов зафиксировано при накоплении отложений аракайской, невельской и, частично, холмской свит, содержащих горизонты туфов, туффитов и теффроидов. В районе г. Чехов (рис. 1), вулканогенно-осадочные отложения невельской свиты фациально замещаются вулканическими образованиями чеховской свитой, представленными потоками базальтов, пачками агломератовых и псефитовых туфов, туффитов.

В северной части террейна суммарная мощность кайнозойских отложений значительно сокращена (до 6000 м), а их накопление происходило как в мелководно-морских, так и континентальных обстановках. Залегающие в основании разреза эоценовые каменская и нижнедуйская свиты представлены континентальными преимущественно грубообломочными терригенными отложениями (конгломератами, гравелитами, песчаниками), содержащими в верхней половине разреза (нижнедуйская свита) многочисленные, часто большой мощности, пласты бурого угля. Олигоценовая геннойшинская свита, накопление которой происходило в обстановке относительно глубоководной части морского бассейна, сложена глинисто-алевритовыми породами с редкими прослоями песчаников и гравелитов. Хойнджинская свита (олигоцен — нижний миоцен), сменяющая расположенные южнее аракайскую, холмскую и чеховскую свиты, также формировалась в результате интенсивных проявлений синседиментационного базальтового вулканизма, сопровождавшегося излияниями потоков базальтов, накоплением горизонтов лавобрекчий, агломератовых и псефитовых туфов, туффитов. Угленосная верхнедуйская свита (нижний — средний миоцен) состоит из чередующихся горизонтов и линз конгломератов, песчаников, алевролитов и аргиллитов, содержащих многочисленные пласты угля. Венчают разрез северной части террейна мелководно-морские отложения сертунайской (средний миоцен)

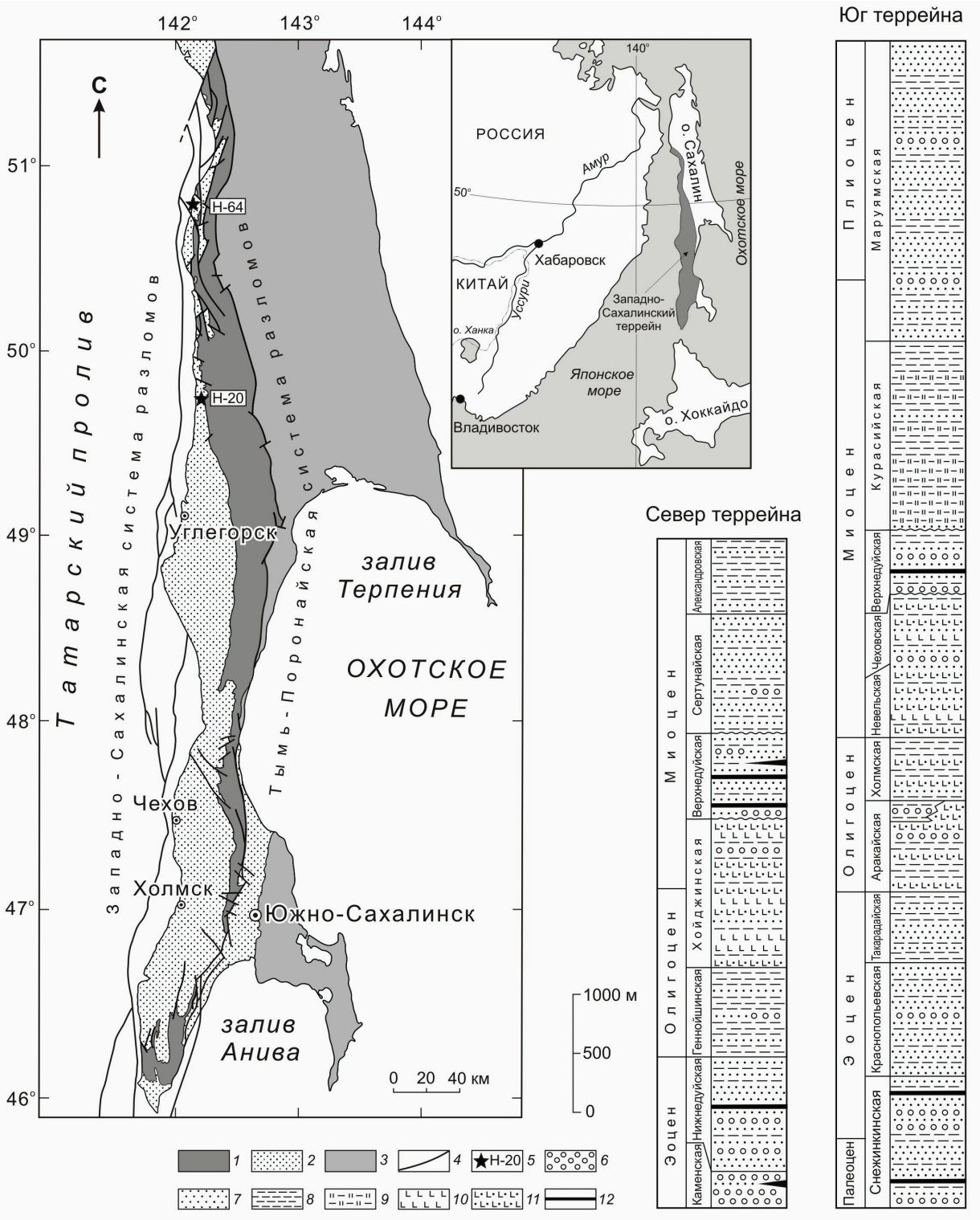

Рис. 1. Схематическая геологическая карта Западно-Сахалинского террейна и литолого-стратиграфические колонки кайнозойских отложений его южной и северной частей: *1* — меловые терригенные образования; *2* — палеоцен-плиоценовые терригенные и вулканогенные образования; *3* — террейны и перекрывающие комплексы Восточного Сахалина; *4* — разломы; *5* — места отбора проб на U–Pb изотопное датирование обломочных цирконов и их номера; *6* — конгломераты и гравелиты; *7* — песчаники; *8* — алевролиты и аргиллиты; *9* — кремнисто-глинистые породы; *10* — базальты; *11* — туфы и туффиты, *12* — угли.

Fig. 1. Schematic geological map of the West Sakhalin terrane and lithostratigraphic columns of Cenozoic deposits its southern and northern parts: *1* — Cretaceous terrigenous rocks; *2* — Paleocene-Pliocene terrigenous and volcanogenic rocks; *3* — terranes and overlying complexes of East Sakhalin; *4* — faults; *5* — places of sampling on U–Pb isotopic dating of detrital zircons and their numbers; *6* — conglomerates and gravelstones; *7* — sandstones; *8* — siltstones and mudstones; *9* — siliceous–clayey rocks; *10* — basalts; *11* — tuffs and tuffites; *12* — coals.

и александровской (верхний миоцен) свит, представленные песчаниками и алевролитами, часто находящимися во взаимном переслаивании.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Настоящее исследование основано на обширном оригинальном материале, полученном при изучении содержаний, характера распределения и микрохимического состава тяжелых обломочных минералов в песчаных породах кайнозоя Западно-Сахалинского террейна. Каменный материал был собран в ходе полевых исследований 2007–2015 гг. Были опробованы все стратиграфические подразделения как северной, так и южной частей террейна, за исключением вулканогенных чеховской и хойнджинской свит. Пробы отбирались из естественных береговых обнажений вдоль побережья Татарского пролива, долин рек и ручьев, а также в придорожных обнажениях и карьерах. Для минералогических исследований использовались, главным образом, средне- и мелкозернистые песчаники, поскольку грубозернистые разности (0.5–2 мм) состоят в основном из обломков пород, а тяжелые минералы находятся в сростках и не выделяются. Размерность и отсутствие заметных вторичных преобразований в породах, что также сказывается на выходе тяжелой фракции, контролировалось петрографическими наблюдениями.

Тяжелые минералы из пород извлекались с помощью тяжелой жидкости (бромоформ) после их дробления до 0.25 мм и отмучивания в воде с целью выделить фракцию 0.01–0.25 мм. Петрографический состав песчаных пород, а затем и минеральный состав их тяжелой фракции изучался с помощью поляризационных микроскопов Axioplan 2 imaging (Carl Zeiss, Германия) и МИН-8 (ЛОМО, Россия). Определение и подсчет тяжелых минералов осуществлялся в проходящем и поляризованном свете с помощью иммерсионных жидкостей. При количественных определениях в подсчет включалось не менее 200 зерен тяжелых минералов, при этом учитывались лишь обломочные минералы, а аутигенные исключались с тем, чтобы максимально надежно выявить состав и относительную роль источников питания. Химический состав тяжелых минералов определялся на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100 (JEOL Ltd., Япония). Определение U-Pb изотопных возрастов обломочных цирконов из песчаных пород осуществлялось методом LA-ICP-MS на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7500c, комбинированном с приставкой для лазерной абляции NWR-213. Технические детали применяемой методики описаны в работе (Вовна и др., 2014). При интерпретации процентного соотношения и микрохимического состава тяжелых минералов 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 анализы выполнены в лабораториях региональной геологии и тектоники и рентгеновских методов исследований Аналитического центра (ЦКП) ДВГИ ДВО РАН г. Владивосток, аналитики П.Д. Гасанова, Н.И.Екимова, В.И. Киселев, Г.Б. Молчанова.

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЕСЧАНЫХ ПОРОД И ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В НИХ ТЯЖЕЛЫХ ОБЛОМОЧНЫХ МИНЕРАЛОВ

Поскольку содержание и характер распределения тяжелых обломочных минералов в песчаных породах во многом определяются их петрографическим составом, приведем краткое его описание. Как уже отмечалось, во всех свитах изучались мелко- и среднезернистые породы (рис. 2), для которых характерна средняя и хорошая степень сортированности материала. Зерна обычно изометричные и удлиненные, угловатые и угловато-окатанные, значительно реже окатанные. В песчаниках часто присутствуют мелкие бесформенные обрывки и тонкие линзочки растительного детрита.

Все изученные песчаники по составу породообразующих компонентов близки и относятся к полимиктовым. Обломочная составляющая, занимающая от 60% до 85% объема пород, представлена кварцем, полевыми шпатами, обломками кварцитов, магматических, терригенных и кремнистых пород. По основным породообразующим компонентам (Шутов, 1967) песчаники относятся, главным образом, к кварц-полевошпатовым и, реже, к полевошпатово-кварцевым граувакам. Содержания кварца в породах южной части террейна 16–32%, а в северной — 20–38%.

Кварц в основном монокристаллический, реже поликристаллический, изометричный либо слабо удлиненный. Количество полевых шпатов колеблется от 20% до 46%. Среди них преобладают (до 80–90% всех полевых шпатов) вытянутые, реже изометричные зерна кислых плагиоклазов. Основные и средние плагиоклазы, а также калиевые полевые шпаты присутствуют в небольших количествах. Обломки пород составляют 25–60% всех зерен и представлены, в основном, кремнистыми, терригенными и

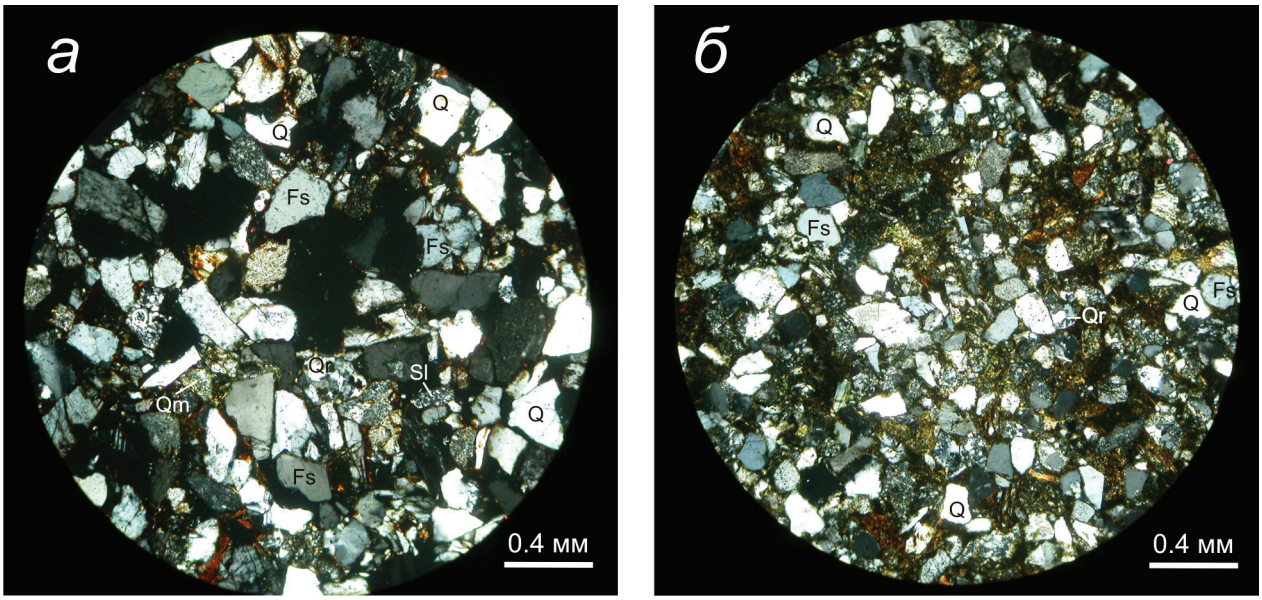

Рис. 2. Песчаные породы из кайнозойских отложений Западно-Сахалинского террейна: *а* — песчаник среднезернистый (сертунайская свита); *б* — песчаник мелкозернистый (такарадайская свита). Песчаники полимиктовые, состоят из обломков кварца (Q), полевых шпатов (Fs), кварц-слюдяных сланцев (Qm), кварцитов (Qr), кремнистых (Sl), тонкозернистых обломочных и вулканических пород, чешуек биотита. Николи скрещены.

Fig. 2. Sandstones rock from Cenozoic deposits of the West Sakhalin terrane. *a* — medium-grained sandstone (Sertunaiskaya formation), *б* — fine-grained sandstone (Takaradaiskaya formation). Sandstones are polymictic, consist of fragments of quartz (Q), field spars (Fs), quartz-mica slates (Qm), quartzites (Qr), siliceous (Sl), fine-grained detrital and volcanic rocks, biotite scales. In crossed by nicols.

эффузивными породами, значительно реже встречаются кислые магматические породы, кварциты и сланцы. Помимо этого, в породах аракайской, холмской и невельской свит часто присутствует примесь пирокластического материала: угловатые зерна плагиоклазов, бесформенные фрагменты эффузивов и вулканического стекла. Цемента в породах до 40% объема, по структуре он преимущественно поровый, реже базальный и пленочный, по составу глинистый, карбонатно-глинистый, хлоритово-глинистый. Глинистые минералы цемента представлены, главным образом, гидрослюдой, смешанослойными гидрослюда-смектитовыми минералами, и, в меньшей мере, смектитом и хлоритом (Захарова, 1973; Курносов, 1971).

Таким образом, петрографический состав песчаных пород позволяет предполагать, что главными источниками кластики были размывавшиеся древние осадочные, гранитно-метаморфические и вулканические породы. Важным фактором, оказывавшим заметное влияние на седиментацию, были синхронные вулканические процессы, поставлявшие в осадочные бассейны значительное количество пирокластики.

Для минералогической характеристики песчаных пород использованы средние значения содержаний тяжелых минералов, сгруппированные в соответствии с существующими стратиграфическими подразделениями. Выбор средних значений объясняется тем, что они наиболее полно отражают существующие минералогические особенности пород каждой стратиграфической группы, а также позволяют максимально объективно выявить геодинамические обстановки формирования и источники питания отложений террейна.

Для минералогической характеристики песчаных пород использовались средние содержания тяжелых обломочных минералов, сгруппированные в соответствии с существующими стратиграфическими подразделениями (рис. 3). Все минералы, с известной долей условности, можно разделить на две минералогические ассоциации. В первую, фемическую (вулканическую), входят типичные представители вулканокластики: орто- и клинопироксены, роговая обманка, хромит, магнетит и эпидот. Вторую, сиалическую (гранитно-метаморфическую), составляют минералы, происходящие из кислых изверженных и метаморфических пород: циркон, гранат, турмалин, апатит, сфен, рутил, анатаз, ильменит и лейкоксен.

По содержанию и характеру распределения тяжелых минералов в породах южной и северной частей террейна наблюдаются как сходства, так и определенные различия. В обеих его частях резко преобладают минералы сиалической ассоциации, при этом их несколько больше в породах северной части (в среднем по свитам от

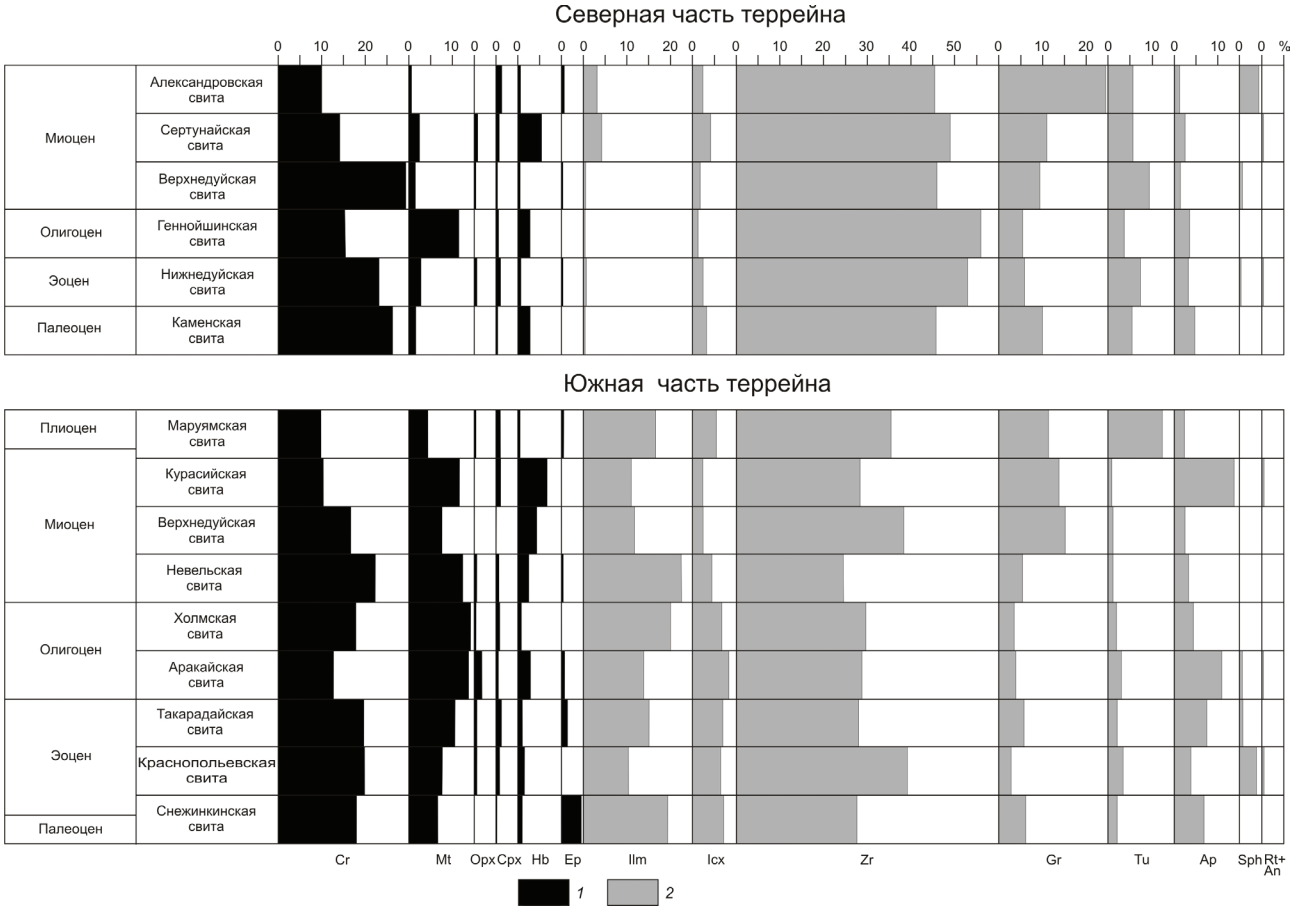

Рис. 3. Средние содержания и характер распределения тяжелых обломочных минералов в песчаных породах кайнозоя Западно-Сахалинского террейна: *1–2* — ассоциации минералов: 1 — фемическая; 2 — сиалическая. Минералы: Cr — хромит, Mt — магнетит, Opx — ортопироксен, Cpx — клинопироксен, Hb — амфибол, Ep — эпидот, Ilm — ильменит, Lcx — лейкоксен, Zr — циркон, Gr — гранат, Tu — турмалин, Ap — апатит, Sph — сфен, Rt — рутил, An — анатаз.

Fig. 3. Average contents and distribution patterns of heavy detrital minerals in Cenozoic 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.

68.5 до 87.1%) по сравнению с южной (от 61.4 до 83.6%). Основной минерал ассоциации — циркон, содержание которого также больше в северной части террейна (в среднем по свитам от 45.3 до 55.9%, а в некоторых пробах до 70–80%). На юге его заметно меньше (24.5–35.2%) хотя и здесь в некоторых пробах его содержание достигает 50–60%. Помимо циркона, в сиалической ассоциации северной части террейна в заметных количествах присутствуют гранат (в среднем 5.2–11%, а в александровской свите до 24.8%) и турмалин (4–9.6%), содержания же остальных минералов не превышает 5%. В южной части террейна содержания граната и турмалина, в среднем, несколько ниже (2.9–6.1% и 1–3.5 соответственно) и лишь на миоцен-плиоценовом уровне разреза, также как и в северной части террейна, их содержания резко увеличиваются (граната до 15.1% — верхнедуйская свита, а турмалина до 12.4% — маруямская свита). Вместе с тем, в этой части террейна наблюдаются повышенные содержания апатита (в среднем от 2.3 до 13.8%), а также ильменита и связанного с ним лейкоксена (10.2–22.6% и 2.3–8.3% соответственно), количество которых в отложениях северной части террейна незначительны. Фемическая ассоциация в обеих частях террейна играет подчиненную роль — больше всего ее минералов обнаруживается в породах невельской свиты (38.6%), а меньше — александровской (12.9%). Основными минералами ассоциации являются хромит и магнетит, при этом если хромит преобладает в северной его части (10–29.7% — север, 9.9–22.3% — юг), то магнетит в — южной (1–11.5% и 4.4–14.2% соответственно). Следует отметить увеличение содержаний хромита на палеоцен-эоценовом и раннемиоценовом уровнях разреза и соответственное уменьшение на этих же временных интервалах магнетита. С хромитом и магнетитом ассоциируются типичные представители остро-

водужной вулканокластики — роговая обманка, орто- и клинопироксены, содержания которых, в прочем, невелики: максимальное содержание роговой обманки наблюдается в курасийской свите (6.8%), а клинопироксена в такарадайской и александровской свитах (1.2%).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Интерпретация полученных минералогических данных базировалась на актуалистическом подходе: сравнении результатов изучения древних терригенных пород и современных осадков, поскольку известно, что различным тектоническим обстановкам седиментации свойственны определенные ассоциации тяжелых обломочных минералов (Малиновский и др., 2006; Маркевич и др., 1987; Nechaev., 1991; Nechaev, Isphording, 1993 и др.). Палеогеодинамические реконструкции осуществлялись при помощи разработанных В.П. Нечаевым диаграмм (Nechaev, 1991; Nechaev, Isphording, 1993), в основу которых положен ряд минералов-индикаторов, различные соотношения между которыми наиболее полно отражают состав областей питания и тектонические обстановки формирования бассейнов седиментации. Геодинамические обстановки формирования бассейнов седиментации достаточно надежно устанавливаются на диаграмме MF–MT–GM (рис. 4*а*), где MF — типичные фемические минералы вулканических пород (клино- и ортопироксены, оливин и буро-зеленая роговая обманка), MT — характерные минералы зеленых сланцев и амфиболитов (эпидот, гранат, бледно-окрашенные амфиболы), GM — продукты разрушения гранитно-метаморфических комплексов (циркон, турмалин, ставролит, андалузит, дистен, силлиманит и другие более редкие минералы). Индикатором, позволяющим распознавать тектонические обстановки происхождения вулканокластики, является соотношение Cpx–Opx–Hb, где главная роль принадлежит роговой обманке (рис. 4*б*). Анализ соотношения ассоциаций тяжелых минералов в песчаниках Западно-Сахалинского террейна на приведенных диаграммах показывает, что накопление отложений происходило в бассейне, связанном с обстановкой активной континентальной окраины, которая включает в себя, в понимании ряда авторов (Bhatia, 1983; Maynard et al., 1982; Roser, Korsch, 1986), и бассейны трансформных границ плит, примером которых являются бассейны Калифорнийской окраины. Область же питания, исходя из состава и соотношения тяжелых минералов, сочетала в себе гранитно-метаморфические породы континентальной окраины и

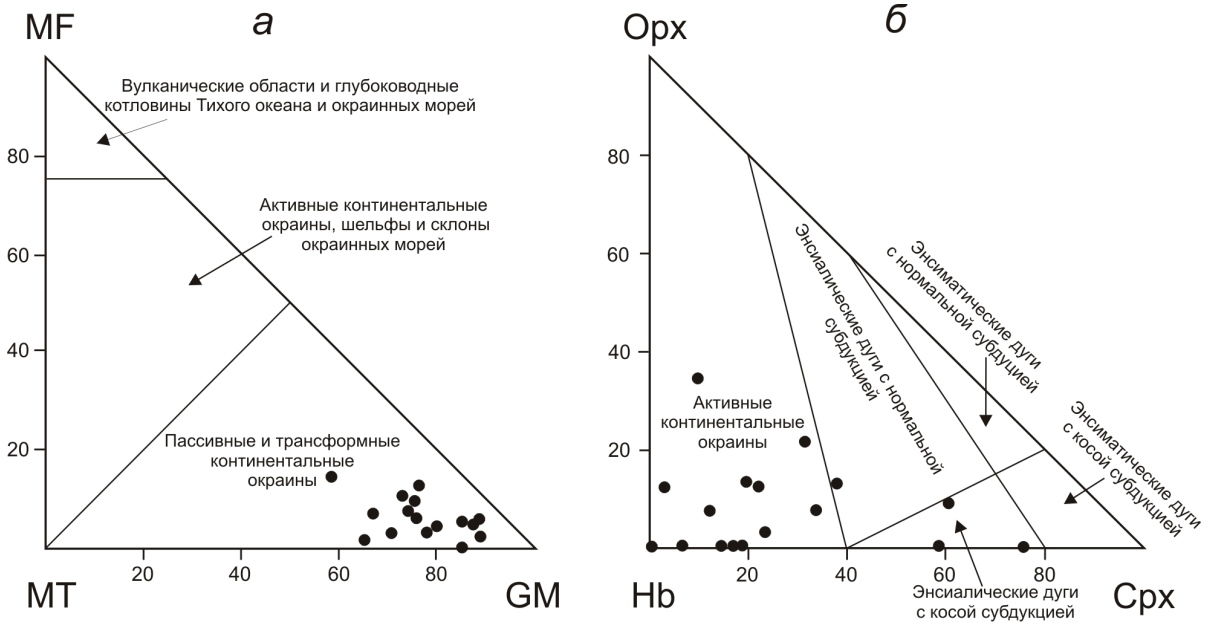

Рис. 4. Сравнение соотношения тяжелых обломочных минералов из песчаников кайнозоя Западно-Сахалинского террейна с современными осадками из различных геодинамических обстановок (Nechaev., 1991; Nechaev, Isphording, 1993) на диаграммах: *а* — MF–MT–GM и *б* — Opx–Hb–Cpx. Суммы содержаний: MF — оливина, орто- и клинопироксенов, зеленой роговой обманки; MT — эпидота, граната, сине-зеленых амфиболов; GM — циркона, турмалина, ставролита, дистена, силлиманита и андалузита. Opx — ортопироксен, Hb — роговая обманка, Cpx — клинопироксен.

Fig. 4. Comparison of the ratio of heavy detrital minerals from Cenozoic sandstones of the West Sakhalin terrane and from modern sediments in different geodynamic settings (Nechaev., 1991; Nechaev, Isphording, 1993) in the diagrams: *a* — MF–MT–GM and *б* — Opx–Hb–Cpx. Total contents: MF — olivine, pyroxenes, green hornblende; MT — epidote, garnet, blue-green amphiboles; GM — zircon, tourmaline, staurolite, disthene, sillimanite and andalusite. Opx — orthopyroxene, Hb — hornblende, Cpx — clinopyroxene.

(или) фундамента зрелой энсиалической дуги (примером которой являются Японские острова), поставлявшие в бассейн седиментации минералы сиалической ассоциации, и собственно вулканические образования этой дуги, формировавшие их фемическую ассоциацию.

Микрохимический состав некоторых тяжелых минералов (клинопироксена, роговой обманки, хромита и граната) содержит важную информацию, позволяющую определить геологическую природу питающих провинций, а также состав слагающих их вулканических пород (Малиновский и др., 2006; Heavy ..., 2007; Morton, Hallsworth 1994 и др.). Результаты изучения химического состава этих минералов приведены в таблице 1. Клинопироксены из песчаников Западно-Сахалинского террейна по составу соответствуют диопсиду и авгиту. На дискриминационной диаграмме Е. Нисбета и Дж. Пирса (Nisbet, Pearce, 1977) (рис. 5*а*) большинство минералов соответствуют клинопироксенам базальтов островной вулканической дуги и, частично, базальтов океанического дна, вероятно входивших в состав основания этой дуги. Следует отметить их близость клинопироксенам из песчаников и базальтов Кемского террейна Сихотэ-Алиня — фрагмента задугового бассейна энсиалической Монероно-Самаргинской островной дуги (Малиновский и др., 2005, 2006). На существование островодужного источника кластики указывает также состав амфиболов, которые на диаграмме 10Ti–Al–Fe (Nechaev, 1991) (рис. 5*б*), благодаря низким суммарным содержаниям хрома и титана, наиболее соответствуют

Таблица 1. Химический состав тяжелых минералов из песчаных пород кайнозоя Западно-Сахалинского террейна (вес. %).

Table 1. Chemical composition of heavy minerals from the Cenozoic sandstones rocks 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 Снежинкинская свита											
С-22	51.09	0.41	3.00	0.66	5.18	-	16.96	21.15	0.16	-	98.61
С-31	52.47	0.47	5.81	0.23	5.41	0.08	14.35	22.04	0.78	0.01	101.65
С-33	50.07	0.25	6.19	0.32	7.07	0.25	14.66	23.26	0.15		102.22
Такарадайская свита											
С-2	53.23	0.40	1.31	-	9.48	-	15.27	20.55	-	-	100.24
С-42	51.40	0.27	2.07	-	9.28	0.44	17.03	17.99	-	-	98.48
Аракайская свита											
С-3	49.76	0.74	1.90	-	10.18	0.33	15.59	20.65	-	-	99.15
С-3	51.43	0.46	1.67	-	9.39	0.67	15.22	19.42	-	-	98.26
Г-31	48.68	0.58	6.19	-	6.93	-	14.04	22.45	-	-	98.87
Г-31	48.14	0.76	5.83	-	7.15	-	15.01	22.96	-	-	99.85
Г-31	51.06	0.78	5.24	-	7.13	-	15.50	22.89	-	-	102.60
Г-32	52.20	0.43	3.15	-	6.01	-	17.46	19.76	-	-	99.52
Холмская свита											
С-7/1	50.79	-	2.92	-	6.90	-	15.92	21.15	-	-	97.68
С-7/1	51.56	0.37	3.53	0.65	5.36	-	18.21	21.67	-	-	101.35
С-7/4	51.14	0.42	3.19	0.45	6.90	-	15.61	21.38	-	-	99.09
С-7/4	52.13	0.31	2.54	0.59	6.14	-	15.78	20.85	-	-	98.34
С-7/5	50.63	0.64	2.83	-	7.77	-	16.38	20.72	-	-	98.97
С-7/5	50.50	0.61	2.57	-	8.24	-	15.68	21.00	-	-	98.60
Г-8	52.54	0.32	2.53	0.54	6.77	-	17.21	19.61	-	-	99.52
Г-8	52.45	0.33	2.39	0.47	5.11	-	17.20	21.88	-	-	99.83
Невельская свита											
Г-19	49.24	0.92	2.73	-	9.11	0.47	15.23	21.71	0.40	-	99.81
Г-19	49.79	0.45	1.35	-	11.28	0.90	15.40	19.13	0.48	-	98.78
Г-26	51.26	0.73	2.45	-	9.06	-	15.39	19.94	-	-	98.83

Таблица 1. Продолжение
Table 1. Continued

Г-26	50.94	0.68	1.82	-	9.73	-	15.30	19.86	-	-	98.33
Г-27	51.14	0.79	2.19	-	10.18	-	15.22	19.60	0.52	-	99.64
Г-27	51.35	0.65	2.72	-	8.59	0.30	16.01	20.16	-	-	99.78
Г-28	50.25	0.57	5.11	-	6.41	-	16.26	20.97	0.45	-	100.02
Г-28	52.12	0.74	1.69	-	9.24	0.39	16.02	19.57	0.53	-	100.30
Г-34	52.85	-	3.89	-	6.48	0.59	15.88	18.21	-	-	97.90
Курасийская свита											
Г-11	52.47	0.30	1.58	-	7.67	-	15.23	21.71	-	-	98.96
Г-13	50.75	0.30	4.02	-	7.19	0.19	15.67	22.18	0.12	0.01	100.43
Г-16	54.00	0.36	3.30	0.36	4.80	0.13	17.21	21.38	0.15	-	101.69
Северная часть террейна Каменская свита											
Н-20	52.32	0.39	1.84	-	8.56	0.27	16.45	18.04	-	-	97.87
Н-20	51.78	0.35	2.85	-	8.49	0.30	15.09	18.25	-	-	97.11
Нижнедуйская свита											
Н-110	51.07	0.48	4.12	-	9.12	-	15.25	18.49	-	-	98.53
Н-115	45.35	0.59	4.43	-	5.93	-	14.06	19.10	-	-	97.89
Верхнедуйская свита											
Н-42	51.13	-	3.38	-	7.32	-	17.88	18.64	-	-	98.35
Н-51	51.46	-	3.14	-	13.72	0.69	16.07	13.74	-	0.22	99.04
Н-63	53.84	0.26	2.36	0.22	4.42	0.14	17.07	23.21	0.12	-	101.64
Н-68	50.95	0.52	2.64	-	8.93	0.34	16.33	18.67	-	-	98.38
Н-71	51.96	0.29	3.20	0.21	6.53	0.28	16.16	22.48	0.11	0.01	101.23
Амфиболы Южная часть террейна Аракайская свита											
Г-35	40.64	2.45	12.00	0.02	19.19	0.24	9.30	11.75	2.15	2.40	100.14
Г-42	39.65	2.70	12.35	0.01	19.14	0.52	9.35	11.79	2.05	2.33	99.89
Холмская свита											
С-7/4	47.27	1.41	6.88	-	17.43	1.09	12.91	9.90	1.96	0.61	99.46
С-7/5	45.69	2.87	10.13	-	13.50	0.30	12.65	10.46	2.28	0.47	98.35
С-7/5	47.43	1.09	8.40	-	16.46	0.63	12.22	10.19	1.49	0.34	98.25
С-13	43.79	3.11	9.82	-	11.52	0.52	15.47	10.72	2.85	0.40	98.20
С-13	44.05	2.04	11.66	-	12.20	0.62	14.95	10.87	1.88	-	98.27
С-13/1	42.41	3.26	13.47	-	14.51	0.47	12.95	10.32	2.06	0.37	99.82
С-13/1	46.27	2.03	11.77	-	11.75	-	15.04	10.9	1.82	0.20	99.78
С-15	46.84	1.64	7.20	-	17.25	0.35	12.20	10.73	1.57	0.51	98.29
С-15	46.95	1.48	7.29	-	14.39	0.84	15.29	10.14	1.77	0.21	98.36
С-15/1	44.36	1.32	14.39	-	8.97	-	16.80	11.37	2.54	0.54	100.29
Г-1	43.20	2.08	12.71	-	12.37	-	13.89	11.37	2.19	0.68	98.49
Г-1	46.27	2.81	10.68	-	12.95	0.35	13.00	10.66	1.79	0.40	98.91
Г-8	45.81	2.52	10.32	-	11.81	0.32	14.68	10.83	2.19	0.49	98.97
Г-10	45.14	2.54	10.67	-	11.08	0.35	14.83	11.29	2.33	0.51	98.74
Г-10	47.24	1.14	8.57	-	13.75	0.53	15.76	10.55	1.34	0.35	99.23
Г-10	45.27	2.09	11.56	-	13.97	-	12.74	10.30	2.09	0.55	98.57

Таблица 1. Продолжение
Table 1. Continued

Невельская свита											
С-10	43.87	0.74	15.61	-	13.36	-	13.44	10.68	1.67	0.33	99.70
С-51	44.20	2.13	12.82	-	11.55	0.76	14.84	10.30	2.03	0.36	98.99
С-51	48.17	2.16	8.36	-	11.63	0.34	16.74	11.02	2.21	0.35	100.98
Г-19	40.51	2.58	12.17	-	16.85	0.39	12.17	10.90	2.11	0.37	98.05
Г-19	43.98	2.86	10.33	-	15.81	0.42	12.72	10.37	2.60	0.48	99.57
Г-19	41.09	2.50	11.89	-	16.14	-	13.15	10.89	2.29	0.41	98.36
Г-23	44.19	1.48	11.15	-	12.24	-	13.82	11.71	1.69	0.93	97.21
Хромиты Южная часть террейна Снежинкинская свита											
С-25	-	0.28	31.71	34.46	16.20	-	17.55	-	-	-	100.20
Аракайская свита											
Г-31	-	0.66	12.12	45.02	29.53	0.57	9.29	-	-	-	97.19
Г-31	-	0.45	39.51	25.75	15.73	-	17.74	-	-	-	99.18
Проба	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Сумма
Г-31	-	-	21.63	46.49	13.60	-	16.84	-	-	-	98.56
Холмская свита											
С-8	-	5.69	10.51	38.39	34.12	-	10.30	-	-	-	99.01
Невельская свита											
Г-22	-	-	11.29	59.95	19.73	-	10.49	-	-	-	101.46
Г-29	-	-	7.05	60.53	24.70	0.90	8.24	-	-	-	101.42
Северная часть террейна Каменская свита											
Н-20	-	-	4.97	56.58	34.12	0.71	5.94	-	-	-	102.32
Н-20	-	-	27.33	36.17	20.54	-	15.22	-	-	-	99.25
Н-23	-	0.45	28.38	32.62	23.23	-	14.63	-	-	-	99.30
Н-23	-	1.70	17.63	41.88	27.28	-	13.57	-	-	-	102.06
Н-25	-	-	18.43	45.54	28.52	0.56	8.51	-	0.39	-	101.95
Нижнедуйская свита											
Н-7	-	2.11	17.16	33.99	38.49	1.03	5.68	-	-	-	98.46
Н-7	-	0.31	29.59	36.58	20.93	0.51	16.48	-	-	-	104.41
Н-7	-	0.41	27.46	33.69	23.43	-	13.29	-	-	-	98.29
Н-9	-	0.40	28.65	34.14	22.28	-	13.91	-	-	-	99.39
Н-9	-	-	34.29	29.50	19.57	-	14.76	-	-	-	98.12
Н-9	-	-	34.01	29.96	19.97	-	14.39	-	-	-	98.33
Н-13	-	0.90	12.78	46.20	31.67	0.73	9.31	-	-	-	101.59
Н-13	-	0.34	31.21	30.63	23.09	-	14.33	-	-	-	99.61
Н-110	-	-	19.20	39.70	24.86	-	14.66	-	-	-	98.42
Н-110	-	0.32	23.91	43.24	14.46	-	16.89	-	-	-	98.83
Н-112	-	1.35	20.51	34.48	31.46	0.56	11.65	-	-	-	100.02
Н-112	-	-	22.59	38.88	25.69	0.51	10.53	-	-	-	98.20
Н-112	-	0.42	16.53	45.22	26.23	0.50	9.55	-	-	-	98.44
Н-114	-	1.40	14.05	48.26	23.38	-	12.81	-	-	-	99.89
Н-114	-	0.31	11.12	46.26	30.91	0.62	9.62	-	-	-	98.84

Таблица 1. Продолжение

Table 1. Continued

Н-115	-	0.36	8.96	49.07	31.10	0.72	9.35	-	-	-	99.56
Н-115	-	0.69	18.24	44.24	19.18	0.53	15.89	-	-	-	98.08
Н-115	-	0.32	17.94	42.46	20.30	0.59	16.52	-	-	-	98.13
Геннойшинская свита											
Н-16	-	0.50	31.86	30.53	23.31	0.57	15.45	-	-	-	102.22
Н-16	-	0.16	23.72	43.35	17.33	0.54	15.92	-	-	-	101.03
Верхнедуйская свита											
Н-43	-	0.36	27.59	36.83	20.56	-	15.25	-	-	-	100.59
Н-43	-	0.73	31.42	24.86	30.58	0.55	13.70	-	-	-	101.83
Н-43	-	0.59	20.60	40.48	26.69	-	12.55	-	-	-	100.90
Н-45	-	-	15.17	50.46	27.42	0.66	8.30	-	-	-	102.01
Н-45	-	0.34	14.55	44.43	31.05	0.66	8.01	-	-	-	99.05
Н-45	-	0.30	18.20	41.11	25.70	-	12.97	-	-	-	98.28
Н-53	-	3.00	11.16	45.18	25.94	0.61	13.06	-	-	-	98.95
Н-53	-	2.32	9.73	47.12	28.38	-	10.39	-	-	-	97.94
Н-55	-	1.53	19.06	40.70	23.40	-	14.12	-	-	-	98.44
Н-55	-	1.68	22.90	28.15	36.01	0.51	10.35	-	-	-	99.60
Н-58	-	0.44	29.19	31.88	23.12	-	14.09	-	-	-	98.72
Н-58	-	0.38	12.61	55.07	19.19	-	13.20	-	-	-	100.45
Н-58	-	0.52	30.45	30.58	23.38	0.46	14.24	-	-	-	99.62
Н-60	-	0.31	24.55	41.73	13.41	-	17.46	-	-	-	97.46
Н-62	-	2.8	14.75	38.01	30.98	0.59	11.59	-	-	-	98.72
Н-62	-	0.32	32.13	31.54	15.86	-	17.11	-	-	-	96.96
Н-62	-	0.67	35.65	27.33	19.38	-	15.78	-	-	-	98.81
Н-64	-	-	14.87	49.97	28.37	0.56	6.87	-	-	-	100.64
Н-64	-	0.43	22.15	36.01	26.72	-	12.16	-	-	-	97.47
Н-66	-	2.07	24.00	36.52	25.90	-	11.45	-	-	-	99.94
Н-68	-	0.28	14.03	48.83	24.05	-	10.36	-	-	-	97.55
Н-68	-	0.69	25.96	32.45	26.87	-	12.22	-	-	-	98.19
Гранаты Южная часть террейна Снежинкинская свита											
С-25	35.29	-	19.86	-	36.05	3.79	0.53	2.22	-	-	97.74
С-25	36.11	0.42	19.32	-	33.92	2.55	1.36	5.30	-	-	98.98
С-25	36.28	0.53	19.80	-	33.11	2.53	1.39	5.29	-	-	98.93
Такарадайская свита											
С-2	36.50	0.30	20.27	-	31.24	2.59	5.79	1.97	-	-	98.66
Аракайская свита											
С-3	36.73	-	20.32	-	32.66	2.81	4.34	2.00	-	-	98.86
Г-31	36.78	-	21.01	-	31.78	4.90	4.74	0.79	-	-	100.00
Холмская свита											
С-7/5	35.33	-	19.85	-	30.10	9.66	1.12	1.96	-	-	98.02
С-8	36.46	-	20.71	-	31.29	5.51	4.76	1.09	-	-	99.82
С-10	36.21	0.33	19.63	-	33.03	1.41	2.57	5.07	-	-	98.25
С-13	36.09	-	20.13	-	34.78	2.91	2.63	2.13	-	-	98.67

Таблица 1. Окончание
Table 1. Continued

С-13/1	36.88	0.31	20.76	-	33.00	2.95	1.03	4.79	-	-	99.72
С-15	36.63	-	20.19	-	34.50	2.72	1.79	3.09	-	-	98.92
С-15/1	36.09	0.38	20.92	-	34.01	1.84	1.66	3.88	-	-	98.78
Г-8	36.56	0.44	19.80	-	34.88	1.83	1.64	4.02	-	-	99.17
Г-8	35.89	-	20.15	-	30.43	10.42	1.06	1.83	-	-	99.78
Г-10	35.93	-	20.24	-	30.65	10.31	0.97	1.84	-	-	99.94
Невельская свита											
Г-19	35.85	-	20.22	-	35.32	2.75	3.44	1.86	-	-	99.44
Г-19	36.09	-	20.69	-	28.63	2.60	4.60	6.36	-	-	98.97
Г-24	36.97	-	20.07	-	31.78	3.90	2.25	3.61	-	-	98.58
Г-29	38.27	-	21.48	-	35.56	2.26	2.90	2.20	-	-	102.67
Курасийская свита											
Г-11	35.78	-	20.06	-	18.91	23.22	0.92	0.92	-	-	99.81
Северная часть террейна Каменская свита											
Н-20	35.46	-	19.83	-	16.88	25.16	0.88	0.33	-	-	98.54
Н-23	39.46	-	22.89	-	30.13	0.74	3.83	2.85	-	-	99.90
Н-25	35.29	-	19.62	-	28.73	9.45	1.98	3.50	-	-	98.57
Н-84	37.05	-	21.17	-	32.16	2.80	3.14	3.54	-	-	99.86
Н-108	34.75	-	19.95	-	17.94	24.48	1.01	0.47	-	-	98.60
Н-108	34.88	-	19.86	-	28.24	7.82	0.99	6.68	-	-	98.47
Нижнедуйская свита											
Н-110	35.98	-	19.57	-	24.59	15.89	1.98	0.67	-	-	98.68
Н-112	35.71	-	20.57	-	25.79	15.62	1.88	0.64	-	-	100.22
Н-112	35.88	-	20.48	-	22.77	13.10	1.75	3.14	-	-	97.11
Н-114	35.08	-	20.42	-	29.47	11.90	0.55	0.47	-	-	97.89
Н-115	39.21	-	22.05	-	21.10	10.76	1.20	2.99	-	-	97.32
Верхнедуйская свита											
Н-38	35.40	-	21.11	-	34.49	5.54	0.71	0.92	-	-	98.17
Н-41/2	36.37	-	20.41	-	29.85	4.77	4.27	1.61	-	-	97.28
Н-43	34.61	-	19.27	-	32.16	7.98	2.00	2.29	-	-	98.31
Н-43	35.19	-	19.32	-	32.61	6.19	2.10	2.57	-	-	97.98
Н-45	35.41	-	20.83	-	32.24	4.06	2.24	4.09	-	-	98.87
Н-58	35.25	-	20.92	-	30.83	5.41	4.52	1.25	-	-	98.18
Н-55	35.16	-	19.94	-	31.99	2.26	3.71	4.30	-	-	97.36
Н-53	38.40	-	22.28	-	28.90	0.66	8.73	2.28	-	-	101.27
Н-53	35.95	-	19.70	-	32.78	8.02	0.50	0.71	-	-	97.66
Н-53	36.67	-	20.70	-	25.82	15.31	0.62	1.25	-	-	100.36
Н-68	37.56	-	21.45	-	31.06	3.14	2.80	2.64	-	-	98.65
Н-66	40.24	-	23.77	-	21.82	-	11.79	0.65	-	-	98.27
Н-64	36.76	-	20.83	-	18.76	21.92	0.94	0.98	-	-	100.19
Н-62	35.36	-	20.66	-	31.70	8.82	2.20	0.74	-	-	99.49

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

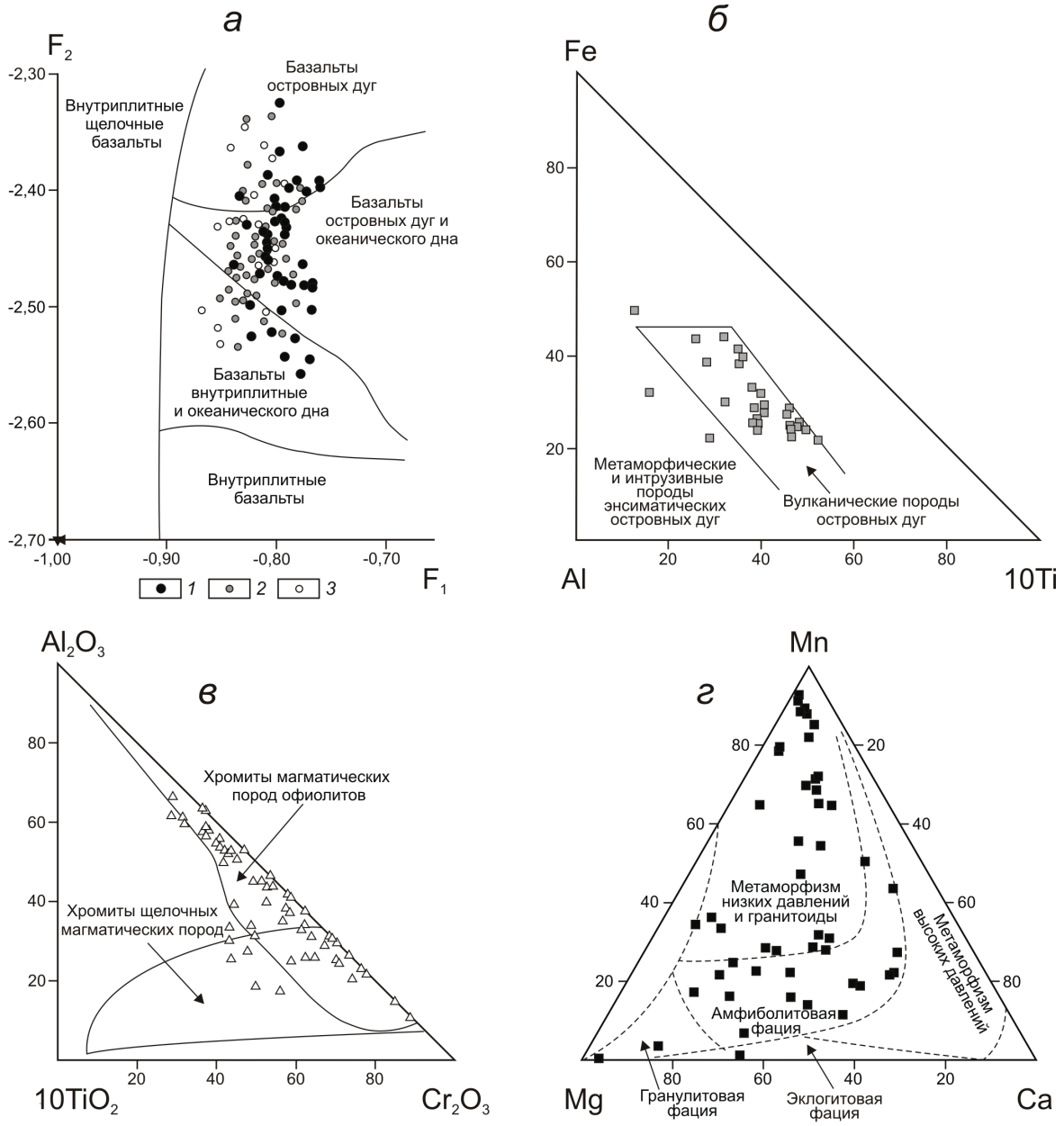

Рис. 5. Диаграммы составов тяжелых обломочных минералов из кайнозойских песчаников Западно-Сахалинского террейна и их вероятных вулканических источников: *а* — для клинопироксенов, по (Nisbet, Pearce, 1987): F_1= -0.012 × SiO_2 − 0.0807 × TiO_2 + 0.0026 × Al_2O_3 − 0.0012 × FeO − 0.0026 × MnO + 0.0087 × MgO − 0.0128 × CaO − 0.0419 × Na_2O; F_2= -0.0496 × SiO_2 − 0.0818 × TiO_2 − 0.02126 × Al_2O_3 − 0.0041 × FeO − 0.1435 × MnO − 0.0029 × MgO − 0.0085 × CaO + 0.0160 × Na_2O. *1–3* — клинопироксены из: *1* — песчаников Западно-Сахалинского террейна, *2* — песчаников и *3* — базальтов Кемского террейна Сихотэ-Алиня; *б* — для амфиболов, по (Nechaev, 1991); *в* — для хромитов, по (Щека, Вржосек, 1983); *г* — для гранатов, по (Teraoka, 2003).

Fig. 5. Compositional diagrams of the heavy detrital minerals from Cenozoic sandstones in the West Sakhalin terrane and their probable volcanic sources: *a* — for clinopyroxenes (Nisbet, Pearce, 1987): F_1= -0,012 × SiO_2 − 0,0807 × TiO_2 + 0,0026 × Al_2O_3 − 0,0012 × FeO − 0,0026 × MnO + 0,0087 × MgO − 0,0128 × CaO − 0,0419 × Na_2O; F_2= -0,0496 × × SiO_2 − 0,0818 × TiO_2 − 0,02126 × Al_2O_3 − 0,0041 × FeO − 0,1435 × MnO − 0,0029 × MgO − 0,0085 × CaO + 0,0160 × × Na_2O. *1-3* — clinopyroxenes from: *1* — sandstones of the West Sakhalin terrane, *2* — sandstones and *3* — basalts from the Kema terrane in Sikhote Alin; *б* — for amphiboles (Nechaev, 1991); *в* — for chromites (Shcheka, Vrzhosek, 1983); *г* — for garnets (Teraoka, 2003).

амфиболам из основных и средних вулканитов островных дуг. Присутствие в тяжелой фракции хромитов обычно указывает на участие в составе питающей провинции ультраосновных и основных интрузивных и вулканических пород. Хромиты по содержанию титана разделяются на два типа (Щека, Вржосек, 1983) (рис. 5*в*): низкотитанистые (с содержанием TiO_2 меньше 1%), источником которых, вероятно, были магматические породы офиолитов, и высокотитанистые

(TiO_2 больше 1.5%), происходящие, вероятно, из щелочных внутриплитных базальтов. Почти все изученные гранаты относятся к группе альмандина (Al_2O_3 — 19.27–23.77%, $FeO+Fe_2O_3$ — 16.88–36.05%) и лишь иногда содержат гроссуляровую либо спессартиновую составляющую. Судя по расположению фигуративных точек на диаграмме Mg–Mn–Ca (Teraoka, 2003) (рис. 5*г*), их источниками были, главным образом, размывавшиеся кислые интрузивные породы и амфиболиты и, реже, метаморфические породы гранулитовой и эклогитовой фаций. Вероятными источниками гранатов были зрелая континентальная земная кора либо основание окраинно-континентальной магматической дуги, в строении которых участвовали гранитоиды и метаморфические породы.

С целью получения наиболее достоверных данных о вероятных источниках сноса обломочного материала было проведено U–Pb датирование детритовых (обломочных) цирконов из песчаных пород нижней (каменская свита) и верхней (верхнедуйская свита) частей разреза кайнозоя северной части Западно-Сахалинского террейна.

Выделенные зерна циркона представлены в основном бесцветными или слабоокрашенными кристаллами с короткопризматическими и дипирамидальными очертаниями. В катодолюминесцентном изображении (рис. 6) у большинства зерен наблюдается хорошо выраженная тонкая концентрическая зональность. В некоторых зернах присутствуют мелкие газово-жидкие включения. Описанная группа цирконов имеет в основном мезо-кайнозойский возраст. Более древние зерна, как правило, средне- или хорошо окатаны и не имеют четко выраженной зональности.

Результаты U–Pb датирования приведены в таблице 2. Из 19 изученных детритовых цирконов песчаников эоценовой каменской свиты (обр. Н-20) конкордантными оказались датировки лишь 14 зерен (дискордантность D ⩽ 10%). Из них 50% имеет палеоцен-эоценовый (47–65 млн лет) и 36% меловой (69–99 млн лет) возраст. В резко подчиненном количестве (по одному зерну) встречаются цирконы юрского (166 млн лет) и позднедокембрийского (1375 млн лет) возраста (рис. 7*а*). Обращает на себя внимание, что возраст самых «молодых» цирконов (47–54 млн лет) хорошо согласуется с биостратиграфическим возрастом свиты (Гладенков и др., 2002). Среди 58 детритовых цирконов из песчаников миоценовой верхнедуйской свиты (обр. Н-64) конкордантными оказались 44 зерна. Большая часть из них также имеет (рис. 7*б*) палеоцен-эоценовый (46–64 млн лет, 25%) и меловой (69–106 млн лет, 30%) возраст. Кроме того, часть зерен циркона характеризуются юрским (155–199 млн лет, 11%), триасовым (203–216 млн лет, 7%), пермским (265–288 млн лет, 7%) и силурийским (412–423 млн лет, 4%) возрастами. Остальные

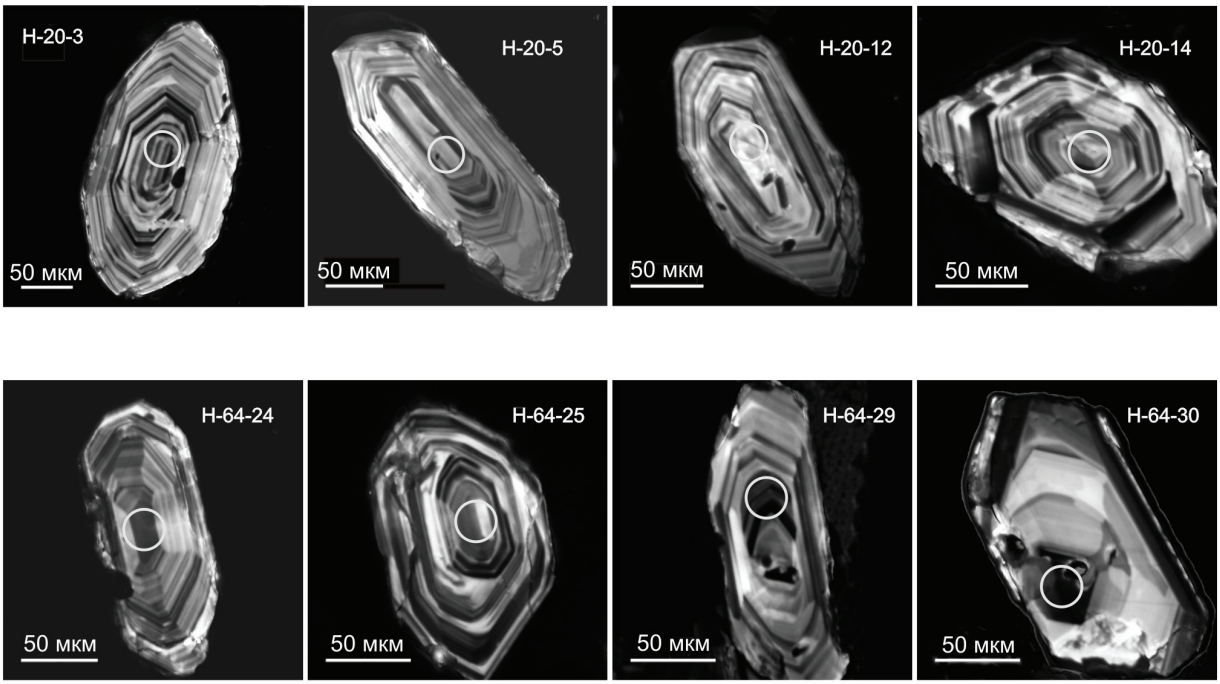

Рис. 6. Катодолюминесцентные изображения обломочных цирконов с конкордантными U–Pb возрастами из песчаников каменской (проба Н-20) и верхнедуйской (проба Н-64) свит

Fig. 6. Cathodoluminescence images of detrital zircons with the concordant U–Pb age from the sandstones of the Kamenskaya (sample H-20) and Verhneduiskaya (sample H-64) suits.

Таблица 2. Изотопные U–Pb данные для обломочных цирконов из песчаных пород кайнозоя Западно-Сахалинского террейна.

Table 2. U–Pb isotopic data for detrital zircon from the Cenozoic sandstones rocks of the West Sakhalin terrane.

Номер точки анализа	Изотопные отношения ± 1σ		Возраст, млн лет± 1σ		Дискордантность D, %
	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{206}Pb/^{238}U$	
Каменская свита, обр. Н-20					
1	0.0613±0.0057	0.0085±0.0003	60±5	54±2	9.93
2	0.0594±0.0032	0.0089±0.0002	59±3	57±1	2.90
3	0.0594±0.0047	0.0086±0.0003	59±4	55±2	5.47
4	0.0762±0.0044	0.0116±0.0003	75±4	74±2	0.27
5	0.0706±0.0039	0.0095±0.0002	69±4	63±1	9.25
6	0.0695±0.0071	0.0094±0.0004	68±7	60±3	11.44
7	3.4286±0.0968	0.2186±0.0036	1511±22	1375±19	9.03
8	0.1358±0.0134	0.0122±0.0006	129±12	78±4	39.75
9	0.0664±0.0043	0.0102±0.0003	65±4	65±2	-0.15
10	0.0718±0.0044	0.0099±0.0003	70±4	64±2	9.52
11	0.0714±0.0036	0.0074±0.0002	70±3	47±1	32.29
12	0.1019±0.0060	0.0154±0.0004	99±6	99±2	-0.30
13	0.0758±0.0048	0.0077±0.0002	74±5	50±1	33.15
14	0.0774±0.0045	0.0107±0.0003	76±4	69±2	9.25
15	0.1210±0.0098	0.0132±0.0005	116±9	85±3	26.89
16	0.0763±0.0036	0.0110±0.0002	75±3	70±1	6.02
17	0.0733±0.0042	0.0100±0.0002	71±4	65±2	9.54
18	0.2027±0.0136	0.0251±0.0007	183±12	166±4	9.76
19	0.0975±0.0073	0.0131±0.0004	94±7	85±3	9.99
Верхнедуйская свита, обр. Н-64					
21	0.2974±0.0175	0.0426±0.0011	264±14	269±7	-1.70
22	4.8120±0.1683	0.3091±0.0057	1787±29	1736±28	2.84
23	0.0668±0.0039	0.0095±0.0002	66±4	61±2	6.71
24	0.0711±0.0057	0.0111±0.0004	70±5	71±2	-2.15
25	0.2307±0.0111	0.0333±0.000	211±9	211±4	-0.09
26	0.0562±0.0067	0.0086±0.0003	56±6	55±2	0.54
27	0.1677±0.0150	0.0243±0.0008	157±13	155±5	1.52
28	0.0555±0.0047	0.0084±0.0003	55±5	54±2	2.01
29	0.0799±0.0054	0.0117±0.0003	78±5	75±2	4.23
30	0.0607±0.0107	0.0108±0.0006	65±10	69±4	-6.48
31	0.4144±0.0189	0.0420±0.0009	352±14	265±6	24.72
32	0.0792±0.0065	0.0122±0.0003	77±6	78±2	-1.29
33	0.0653±0.0041	0.0100±0.0003	64±4	64±2	0
34	0.0892±0.0059	0.0115±0.0003	87±6	74±2	14.75
35	5.5873±0.2510	0.3460±0.0072	1914±29	1916±35	-0.08
36	0.1343±0.0070	0.0164±0.0004	114±6	105±2	7.81
37	0.0680±0.0051	0.0088±0.0003	67±5	57±2	15.42
38	0.0692±0.0092	0.0107±0.0004	68±9	69±3	-1.03

Таблица 2. Окончание.
Table 2. Continued

Номер точки анализа	Изотопные отношения ± 1σ		Возраст, млн лет± 1σ		Дискордантность D, %
	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{206}Pb/^{238}U$	
39	0.2874±0.0272	0.0419±0.0015	257±21	265±9	-3.16
40	0.0649±0.0059	0.0099±0.0003	64±6	64±2	0.47
41	0.0589±0.0050	0.0090±0.0003	58±5	58±2	0.52
42	0.1839±0.0121	0.0264±0.0007	171±10	168±4	1.98
43	0.1030±0.0068	0.0145±0.0004	100±6	93±3	6.73
44	0.0509±0.0040	0.0075±0.0002	50±4	48±1	4.76
45	0.0891±0.0050	0.0135±0.0003	87±5	87±2	0.12
46	0.1144±0.0096	0.0161±0.0005	110±9	103±3	6.27
47	0.1130±0.0127	0.0166±0.0007	109±12	106±4	2.39
48	10.1889±0.2671	0.4557±0.0068	2452±24	2420±30	1.29
49	5.6662±0.1622	0.3530±0.0057	1926±25	1949±27	-1.17
50	0.1843±0.0102	0.0154±0.0004	144±9	99±3	31.32
51	0.1994±0.0104	0.0278±0.0006	185±9	177±4	4.33
52	0.5203±0.0190	0.0659±0.0012	425±13	412±7	3.22
53	0.0873±0.0054	0.0134±0.0003	85±5	86±2	-0.82
54	0.1386±0.020	0.0171±0.0010	132±18	110±6	16.92
55	0.3280±0.0381	0.0457±0.0021	288±29	288±13	0
56	0.1968±0.0170	0.0285±0.0010	182±14	181±6	0.82
57	0.0582±0.0060	0.0079±0.0003	58±6	51±2	12.17
58	0.1061±0.0103	0.0143±0.0006	102±9	91±4	10.74
59	0.0944±0.0104	0.0142±0.0006	92±10	91±4	0.87
60	0.2748±0.0125	0.0288±0.0006	247±10	183±4	25.80
61	0.2365±0.0095	0.0341±0.0006	216±8	216±4	-0.14
63	5.9308±0.1572	0.3559±0.0061	1966±23	1963±29	0.15
64	0.4057±0.0381	0.0353±0.0027	346±33	224±17	35.34
65	0.4022±0.0154	0.0173±0.0005	203±11	110±3	45.75
66	0.0464±0.0027	0.0072±0.0002	46±3	46±1	-0.65
67	0.2383±0.0372	0.0211±0.0014	217±31	135±9	38.02
68	3.4381±0.0822	0.2090±0.0030	1353±19	1224±16	9.58
69	0.1916±0.0109	0.0160±0.0005	178±9	102±3	42.53
70	0.3114±0.0106	0.0331±0.0006	275±8	210±4	23.72
71	0.3263±0.0112	0.0332±0.0006	287±9	211±4	26.47
72	0.0694±0.0067	0.0095±0.0004	68±6	61±2	10.03
73	4.3016±0.1333	0.2596±0.0048	1644±26	1488±24	9.49
74	0.0737±0.0051	0.0108±0.0003	72±5	69±2	4.16
75	0.2627±0.0161	0.0320±0.0009	217±13	203±6	6.46
76	0.0523±0.0031	0.0078±0.0002	52±3	50±1	3.28
77	0.2624±0.1399	0.0313±0.0009	217±13	199±5	8.26
79	0.0605±0.0062	0.0089±0.0003	60±6	57±2	3.86
80	0.7491±0.2611	0.1309±0.0073	568±30	793±21	-39.65
81	0.5300±0.0196	0.0679±0.0013	432±13	423±8	1.95

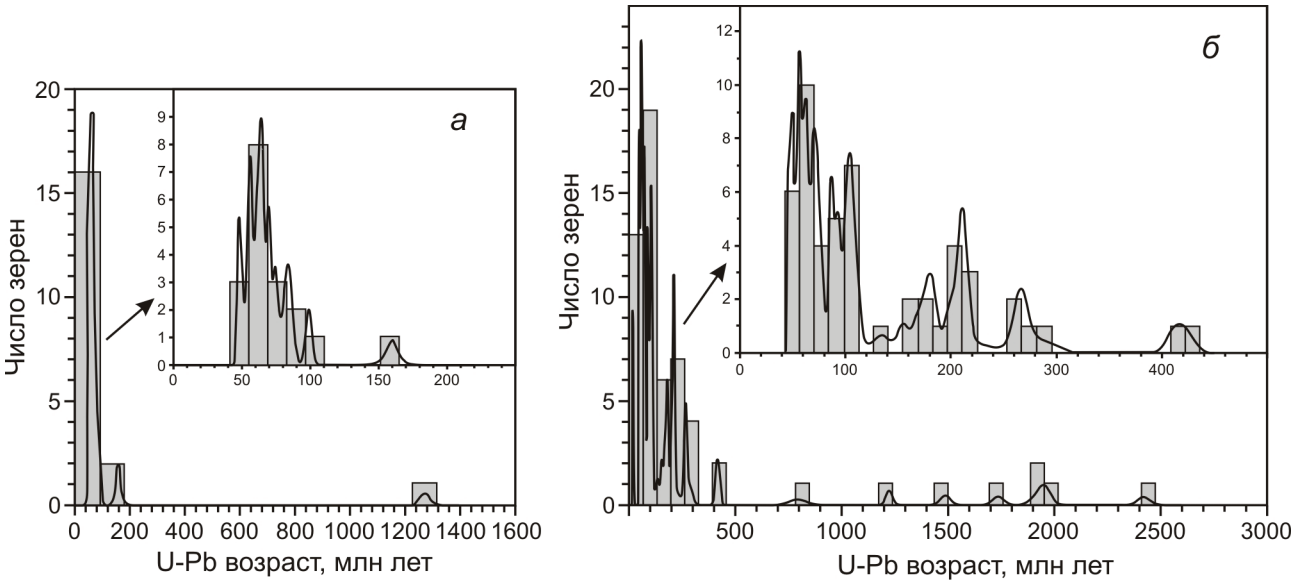

Рис. 7. Гистограммы и графики плотности вероятности распределения U–Pb изотопных возрастов обломочных цирконов из песчаных пород: *а* — каменской (проба Н-20) и *б* — верхнедуйской (проба Н-64) свит.

Fig. 7. Histograms and probability density plots of distribution of U–Pb of isotopic age of detrital zircons from the sandstones rock: *а* — Kamenskaya (sample H-20) and *б* — Verhneduiskaya (sample H-64) formations.

зерна образуют популяцию, имеющую широкий диапазон докембрийских возрастов (1224–2420 млн лет, 16%). Следует отметить, что очень близкие результаты были получены при U–Pb исследованиях возрастов цирконов из миоценовых отложений южной части Западно-Сахалинского террейна (Zhao et al., 2017). В обоих случаях на диаграммах вероятности распределения U–Pb изотопных возрастов цирконы образуют сходные возрастные популяции, характеризующиеся преобладанием палеогеновой и меловой возрастных групп и подчиненными пермско-юрской, раннепалеозойской и докембрийской группами.

Таким образов, обобщение и интерпретация полученных данных по составу и характеру распределения тяжелых обломочных минералов в песчаных породах Западно-Сахалинского террейна свидетельствуют, что область питания, поставлявшая обломочный материал в седиментационный бассейн террейна, вероятно сочетала в себе несколько источников. Преобладание в тяжелой фракции минералов сиалической ассоциации (циркон, гранат, турмалин, апатит, сфен, рутил, ильменит, лейкоксен) указывает на главенствующую роль размывавшейся зрелой континентальной окраины, сложенной гранитно-метаморфическими породами, что подтверждается микрохимическим составом гранатов. Результаты U–Pb датирования детритовых цирконов позволяют установить какие конкретно комплексы гранитоидов послужили источниками обломочного материала. Источниками двух самых многочисленных популяций цирконов (48–60 и 64–106 млн лет) вероятно послужили соответственно лейкоксеновые гранитоиды богопольского и магнетитовые гранитоиды приморского и татибинского комплексов, широко распространенных в южном Сихотэ-Алине. Вероятно материал этих источников поступал, главным образом, в седиментационные бассейны южной части террейна что объясняет повышенные содержания здесь лейкоксена, ильменита и магнетита. В качестве источников цирконов с возрастом 155–423 млн лет могут рассматриваться многочисленные раннепалеозойские-раннемезозойские гранитные массивы Ханкайского террейна Приморья, а наиболее древних (1224–2420 млн лет) — гранитно-метаморфические комплексы Сино-Корейского щита, либо Сибирского кратона, вынос материала с которого мог осуществляться Палео-Амуром.

Следующим по важности источником обломочного материала была зрелая глубоко расчлененная энсиалическая островная дуга, в которой эрозия вскрыла полнокристаллические батолиты, подстилающие вулканиты. Исходя из состава и соотношения тяжелых минералов в песчаниках, этот источник сочетал в себе как гранитно-метаморфические породы фундамента дуги, так и собственно ее вулканические образования. Гранитно-метаморфические породы были еще одним, дополнительным, поставщиком сиалических минералов. Вулканические же образования формировали фемическую ассоциацию. На островодужный характер кластики указывает и микрохимический состав обломочных клинопироксенов и амфиболов, соответствующих базальтам островных дуг. Дугой, образующей этот источник питания, вероятно была аккретирован-

ная к моменту заложения седиментационного бассейна раннемеловая Монероно-Самаргинская энсиалическая островная дуга, фрагментом задугового бассейна которой является Кемский террейн Сихотэ-Алиня (Малиновский и др., 2005, 2006). Вполне вероятно, что какая-то часть домеловых цирконов могла поступать из размывавшегося фундамента именно этой дуги (Диденко и др., 2018).

И, наконец, еще одним, второстепенным, источником вещества были фрагменты ранее причлененных к Азиатскому континенту океанических комплексов, слагающие широко распространенные в Сихотэ-Алине юрские аккреционные призмы, в строении которых участвовали офиолиты. Свидетельством этому является присутствие в составе минералов тяжелой фракции хромитов и пироксенов, обладающих внутриплитными характеристиками.

Соотношение ассоциаций тяжелых минералов в песчаниках террейна, микрохимический состав некоторых из них, а также полученные данные о возрасте обломочных цирконов и их вероятных источниках, подтверждают полученные ранее выводы (Голозубов, 2006; Малиновский, 2018; Zhao et al., 2017) о формировании кайнозойских отложений Западно-Сахалинского террейна непосредственно вдоль края Азиатского континента в бассейне, связанном с крупномасштабными сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам. Главным же, и вероятно наиболее характерным признаком седиментации в бассейнах подобного типа, является «смешанный» состав кластики, когда в область размыва попадают как краевые части континентов, так и ранее аккретированные к ним фрагменты активных окраин. Примерами бассейнов подобного типа являются бассейны Калифорнийской окраины, а также Журавлевский синсдвиговый террейн Сихотэ-Алиня (Малиновский, Голозубов, 2011).

ВЫВОДЫ

В ходе исследований обломочных минералов в песчаных породах из кайнозойских отложений Западно-Сахалинского террейна установлено, что тяжелые минералы террейна разделяются на две минералогические ассоциации: фемическую, в которую входят типичные представители вулканокластики, и сиалическую, формирующуюся в результате размыва гранитно-метаморфических пород.

Обобщение и интерпретация полученных данных подтверждают существующее мнение о накоплении кайнозойских отложений террейна в бассейне, связанном с активной континентальной окраиной, осложненной крупномасштабными сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам типа Калифорнийского залива. Область питания, поставлявшая обломочный материал в седиментационный бассейн террейна, вероятно сочетала в себе континентальную окраину, сложенную гранитно-метаморфическими и осадочными породами, и зрелую глубоко расчлененную окраинно-континентальную дугу, в которой эрозия вскрыла гранитоидные батолиты, подстилавшие вулканиты. Фрагменты этой раннемеловой Монероно-Самаргинской дуги известны в структуре хребта Сихотэ-Алинь в виде Кемского островодужного террейна. Кроме того, в состав питающей провинции также входили фрагменты аккреционных призм, в строении которых участвовали офиолиты. Проведенные U-Pb датировки детритовых цирконов позволили установить основные гранитоидные комплексы, поставлявших кластику в седиметационные бассейны террейна.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-05-00857) и Президиума ДВО РАН (проект № 15-I-2-001о).

Список литературы [References]

Батурин В.П. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М.: Изд-во АН СССР, 1947. 339 с. [*Baturin V.P.* Petrographic analysis of the geological past from terrigenous components. Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1947. 339 p. (in Russian)].

Бергер М.Г. Терригенная минералогия. М.: Недра, 1986. 226 с. [*Berger V.P.* Terrigennaya mineralogya. Moskow: Nedra, 1986 p. (in Russian)].

Вовна Г.М., Киселев В.И., Сахно В.Г. и др. Первые данные по локальному изотопному U-Pb-датированию цирконов (метод LA-ICP-MS) гиперстеновых плагиогнейсов Джугджурского блока (юго-восток Алданского щита) // ДАН. 2014. Т. 459. № 2. С. 189–193. https://doi.org/10.7868/S0869565214320218 [*Vovna G.M., Kiselyov V.I., Sakhno V.G. et al.* The first data on local U-Pb isotope dating of zircons from hypersthene plagiogneisses of the Dzhugdhur block, southeastern Aldan Shield // Doklady Earth Sciences. 2014. V. 459. Iss. 1. P. 1328–1332. https://doi.org/10.1134/S1028334X14110178].

Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 981 с. [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)].

Гладенков Ю.Б., Баженова О.К., Гречин В.И. и др. Кайнозой Сахалина и его нефтегазоносность. М.: ГЕОС, 2002. 225 с. [*Gladenkov Yu.B., Bazhenova O.K., Grechin V.I. et al.* The Cenozoic geology and gas presence in Sakhalin. Moskow: GEOS, 2002, 225 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].

Гранник В.М. Геология и геодинамика южной части Охотоморского региона в мезозое и кайнозое. Владивосток: Дальнаука, 2008. 297 с. [*Grannik V.M.* Geology and geodynamics of the Okhotsk sea region Southern part. Vladivostok: Dalnauka, 2008. 297 p. (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)].

Диденко А.Н., Ото Ш., Голозубов В.В. и др. Геохронология детритовых цирконов альбских песчаников силасинской и кемской свит Сихотэ-Алиньского орогена: геодинамические следствия // ДАН. 2018. Т. 481. № 4. С. 418–421. https://doi.org/10.31857/S086956520001822-7 [*Didenko A.N., Otoh S., Golozubov V.V. et al.* Geochronology of Detrital Zircons of the Albian Sandstones of the Silasinsky and Kemsky Suites of the Sikhote-Alinsky Orogen: Geodynamic Consequences // Doklady Earth Sciences. V. 481. Iss. 4. P. 418–421].

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)].

Захарова М.А. Литология палеогеновых отложений Сахалина и условия их образования. Новосибирск: Наука, 1973. 108 с. [*Zakharova M.A.* Lithology of the Paleogenic strata of Sakhalin and depositional environment. Novosibirsk: Nauka, 1973. 108 p. (in Russian)].

Курносов В.Б. Глинистые минералы палеогеновых отложений о. Сахалин: Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. Владивосток, 1971. 27 с. [*Kurnosov V.B.* Glinistye mineraly paleogenovykh otlozheniy o. Sakhalin. Avtoref. dis. kand. geol.-min. nauk. Vladivostok, 1971. 27 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)].

Малиновский А.И. Геохимия и палеогеодинамические обстановки формирования кайнозойских отложений Западно-Сахалинского террейна // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. отд. геол. 2018. Т. 93. №. 2. С. 54–70. [*Malinovsky A.I.* Geochemistry and paleogeodynamic settings of the formation of Cenozoic deposits of the West Sakhalin Terrane // Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series. 2018. V. 93. №. 2. P. 54–70 (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 полез. 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., 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)].

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)].

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)].

Шутов В.Д. Классификация песчаников // Литология и полез. 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.

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.

Heavy Minerals in Use. Developments in Sedimentology / Edited by M.A. Mange, D.T. Wright. Amsterdam: Elsevier, 2007. 1283 p.

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., 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. P. 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.

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.

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.

Uddin A., Lundberg N. Unroofing history of the eastern Himalaya and the Indo-Burman Ranges: Heavy-mineral study of Cenozoic sediments from the Bengal basin, Bangladesh // Journal of Sedimentary Research. 1998. V. 68. Iss. 3. P. 465–472. https://doi.org/10.2110/jsr.68.465.

Zhao P., Li J.-j., Alexandrov I. et al. Involvement of old crustal materials during formation of the Sakhalin Island (Russian Far East) and its paleogeographic implication: Constraints from detrital zircon ages of modern river sand and Miocene sandstone // Journal of Asian Earth Sciences. 2017. V. 146. P. 412–430. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.06.031.

SOURCE AREAS AND GEODYNAMIC SETTINGS OF CENOZOIC DEPOSITS IN THE WEST SAKHALIN TERRANE BASED ON THE RESULTS OF STUDY OF HEAVY DETRITAL MINERALS

A.I. Malinovsky

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

The paper describes the obtained data on content, the nature of distribution and composition of heavy detrital minerals from Cenozoic sandstones rocks in the West Sakhalin terrane. It shows that sandstones contain both the minerals of sialic (granitic–metamorphic) assemblage and the femic assemblage formed by products of volcanic rock destruction. Generalization and interpretation of the obtained data allow assuming that sedimentation occurred on the active continental margins in that basin relates to the large-scale strike-slip dislocations on transform faults. The source area, which supplied the detrital material into this basin, united the continental margins shaped by granite-metamorphic and sedimentary rocks and deeply dissected mature ensialic island arc, erosion of which recovered granitoid batholiths underlying the volcanic rocks. Besides, the source area included the fragments of accretionary prisms formed by ophiolites. The conducted U-Pb datings of detrital zircons allowed us to identify the main complexes of granitoids that were supplying clastic into the terrane's sedimentary basins.

Keywords: West Sakhalin terrane, Cenozoic, sandstones, heavy minerals, geodynamic settings.