

УДК (552.5:552.181)(551.763:571.64)

## ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ, ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ НАКОПЛЕНИЯ МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНО-САХАЛИНСКОГО ТЕРРЕЙНА

© 2022 г. А. И. Малиновский\*

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН,  
просп. 100-летия Владивостока, 159, Владивосток, 690022 Россия

\*e-mail: malinovsky@fegi.ru

Поступила в редакцию 21.05.2021 г.

После доработки 05.07.2021 г.

Принята к публикации 28.12.2021 г.

Рассматриваются результаты изучения вещественного состава песчаных пород из меловых отложений Западно-Сахалинского террейна. Исследования проводились с целью реконструкции палеогеодинамических обстановок формирования отложений террейна, а также определения тектонического типа и состава пород источников питания. Установлено, что по минералого-геохимическим параметрам песчаники террейна соответствуют грауваккам, являясь петрогенными или породами первого цикла переотложения (“first cycle”). Они содержат в составе обломочной части продукты разрушения как основных и ультраосновных вулканических, так и гранитно-метаморфических пород. Отложения характеризуются невысокой степенью зрелости обломочного материала, образовавшегося преимущественно за счет механического разрушения пород источников питания, слабой литодинамической переработкой материала и высокой скоростью его захоронения. Палеогеодинамическая интерпретация полученных данных осуществлялась на основании их сравнения с составом 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 Евразийского континента. Область питания, поставлявшая обломочный материал в этот бассейн, объединяла сиалическую сушу, сложенную гранитно-метаморфическими и осадочными породами, зрелую глубоко расчлененную эсиалическую островную дугу, а также фрагменты аккреционных призм Сихотэ-Алиня, в строении которых участвовали офиолиты.

*Ключевые слова:* Западно-Сахалинский террейн, мел, песчаники, вещественный состав, источники питания, геодинамические обстановки.

**DOI:** 10.31857/S0024497X22030053

Изучение особенностей вещественного состава терригенных пород с целью идентификации тектонических типов и состава пород источников питания, а также реконструкции геодинамических обстановок формирования разновозрастных бассейнов седиментации в последние годы, и особенно с появлением современных высокоточных аналитических методов, приобрело широкое распространение [Летникова и др., 2011; Малиновский, 2018, 2021; Маслов и др., 2013, 2016; Тучкова и др., 2003; Garzanti, Ando, 2007; Markevich et al., 2007; Morton et al., 2011; Verma, Armstrong-Altrin, 2013 и др.]. Наиболее информативными в этом отношении являются состав и соотношение порообразующих компонентов и обломочных минералов тяжелой фракции песчаников, а также их геохимические особенности.

Меловой этап геологического развития восточной окраины Евразийского континента вызывает повышенный интерес, поскольку он является временем, во многом определившим облик современной структуры региона [Голозубов, 2006; Малиновский и др., 2005; Малиновский, Голозубов, 2012; Маркевич и др., 1997, 2000]. Этому этапу соответствует формирование террейнов самого различного типа: океанических, островодужных, связанных с режимом трансформного скольжения литосферных плит [Геодинамика ..., 2006]. Тектоническая типизация этих террейнов и выяснение палеогеодинамических обстановок формирования фрагментов осадочных бассейнов, установленных в них, крайне важны для понимания процессов эволюции всей зоны перехода от Тихого океана к Евразийскому континенту. Од-

ной из крупнейших тектонических структур этой зоны является Западно-Сахалинский террейн, образованный мощными, в различной степени дислоцированными толщами терригенных и вулканогенно-осадочных отложений [Зябрев, 1987; Меланхолина, 1988; Натальин, 1991; Парфенов, 1984 и др.]. В процессе многолетних исследований, но современного литологического исследования вещественного состава они до сих пор не получили.

В статье приведены результаты детального литологического изучения меловых отложений Западно-Сахалинского террейна. Рассмотрены строение отложений, петрографический и геохимический состав песчаных пород, содержание и соотношения в них породообразующих компонентов и тяжелых обломочных минералов. Интерпретация полученных данных позволила определить тип и состав пород областей питания бассейна седиментации, а также выяснить геодинамическую обстановку их формирования.

#### ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СТРОЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ

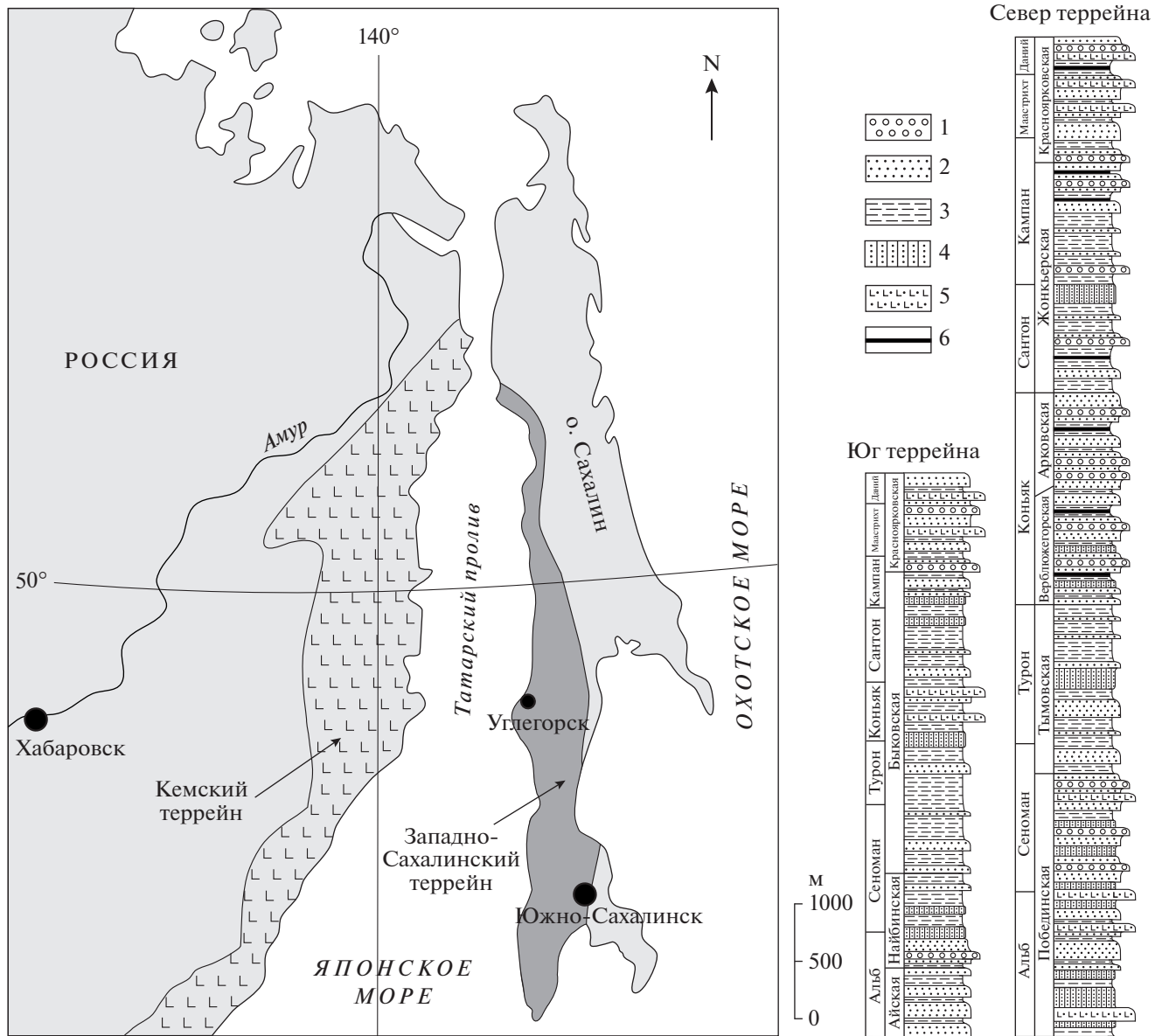
Западно-Сахалинский террейн, входящий в состав мезозойско-кайнозойского Сахалинско-Камчатского орогенного пояса, рассматривается как один из ключевых тектонических элементов, изучение которых позволяет правильно понять процесс геодинамического взаимодействия в меловое время Евразийского континента и прилегающей океанической плиты Иванаги [Геодинамика ..., 2006; Голозубов, 2006; Малиновский, 2018]. Террейн представляет собой крупный тектонический блок, вытянутый в субмеридиональном направлении вдоль побережья Татарского пролива на 650 км (рис. 1). От расположенных к востоку мел-палеогеновых субдукционно-аккреционных террейнов Восточного Сахалина он отделен Тымь-Поронайской системой разломов [Голозубов и др., 2016; Зябрев, 1992]. На западе террейн уходит под воды Татарского пролива, ограничиваясь Западно-Сахалинской системой разломов, а на юге продолжается в виде пояса Сорачи-Йезо (о. Хоккайдо, Япония) [Жаров, 2004; Fournier et al., 1994].

Террейн сложен меловыми и кайнозойскими терригенными и, в меньшей степени, вулканогенными образованиями общей мощностью до 17000 м [Зябрев, 1992; Малиновский, 2018, 2021; Опорный ..., 1987]. Альб-датские образования террейна, имеющие мощность до 9000 м, представлены главным образом толщами терригенных пород — песчаников, алевролитов и аргиллитов, содержащих многочисленные пачки ритмичного переслаивания песчаников, алевролитов и аргиллитов, а также горизонты и линзы конгло-

мератов, гравелитов, значительно реже туфов, тефроидов, туффитов, углей [Геология ..., 2004; Зябрев, 1992; Малиновский, 2018; Опорный разрез ..., 1987]. Отложения в различной степени дислоцированы и с размывом, но без углового несогласия перекрываются кайнозойскими образованиями [Голозубов и др., 2016]. Севернее и южнее широты г. Углегорска отложения террейна, как установлено многочисленными исследованиями [Зябрев, 1987; Геология ..., 2004; Голозубов и др., 2016], отличаются по мощности и обстановкам осадконакопления.

На юге террейна разрез меловых отложений, имеющий суммарную мощность до 5050 м, расчленен на 4 согласно перекрывающих друг друга свиты (см. рис. 1). Их строение и состав следующие. Залегающая в основании видимого разреза айская свита (альб), мощностью до 600 м, сложена преимущественно алевролитами и аргиллитами, содержащими редкие тонкие прослои песчаников и туффитов. В основании вышележащей найбинской свиты (альб—сеноман) преобладают песчаники, содержащие тонкие прослои алевролитов и аргиллитов, редкие горизонты конгломератов и гравелитов, а также пачки ритмичного переслаивания песчаников и алевролитов. В верхней части свиты основная роль принадлежит алевролитам и аргиллитам с редкими прослоями песчаников и пачками ритмичного переслаивания песчаников, алевролитов и аргиллитов. Мощность свиты — от 600 до 850 м. Быковская свита (сеноман—кампан) представляет собой довольно монотонную толщу, сложенную алевролитами и аргиллитами, разделяемыми редкими маломощными пластами песчаников, туфов, а также пачками ритмичного переслаивания песчаников, алевролитов и аргиллитов. Мощность свиты изменяется от 1900 до 2700 м. Красноярковская свита (кампан—даний) в нижней части состоит из переслаивающихся песчаников и алевролитов, горизонтов и линз конгломератов и гравелитов. В верхней части преобладают песчаники и алевролиты, часто туфогенные, с горизонтами гравелитов, туфов и туффитов. Мощность свиты — до 900 м.

В северной части террейна суммарная мощность меловых отложений увеличивается до 10700 м. Здесь выделяются 6 свит. В основании разреза залегает альб—сеноманская побединская свита, в составе которой преобладают песчаники, иногда туфогенные, содержащие прослои алевролитов, аргиллитов, гравелитов и конгломератов, а также туфов и туффитов. В нижней и средней частях разреза свиты присутствует многочисленное пачки ритмичного переслаивания песчаников и алевролитов. Мощность свиты колеблется от 1500 до 2800 м. Тымовская свита (сеноман—турон) сложена в основном алевролитами и аргиллитами, содержащими прослои песчаников и пачки



**Рис. 1.** Схема расположения Западно-Сахалинского террейна в структуре юга Дальнего Востока России и объединенные стратиграфические колонки меловых отложений.

1 – конгломераты и гравелиты; 2 – песчаники; 3 – алевролиты и аргиллиты; 4 – ритмичное переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитов; 5 – туфы и туффиты; 6 – угли.

ритмичного переслаивания песчаников и алевролитов. Мощность свиты – до 2700 м. Верблюжгорская свита (коньяк) состоит в основном из песчаников, содержащих прослои и линзы алевролитов, аргиллитов, конгломератов и гравелитов. Редко встречаются пачки грубого ритмичного переслаивания песчаников и алевролитов. Мощность свиты – до 1800 м. На самом севере террейна возрастным аналогом верблюжгорской свиты является локально распространенная угленосная арковская свита, в строении которой доминируют грубозернистые песчаники, содержащие прослои алевролитов, гравелитов и конгло-

мератов, а также пласты каменного угля. Общая мощность свиты изменяется от 500 до 2000 м. В нижней части сантон-кампанской жонкьерской свиты преобладают алевролиты и аргиллиты с прослоями песчаников и пластами углей. Выше по разрезу появляются пачки ритмичного переслаивания песчаников и алевролитов, горизонты гравелитов и конгломератов. Верхняя же часть свиты состоит из песчаников с редкими прослоями и линзами алевролитов, конгломератов и гравелитов, а также пластами угля. Общая мощность свиты – от 1000 до 2200 м. Красноярокская свита (кампан-даний) этой части террейна имеет мощ-

ность до 1200 м и сложена преимущественно чередующимися песчаниками и алевролитами, часто туфогенными, содержащими горизонты конгломератов, гравелитов, туфов и туффитов, а в верхней части пласты угля. Влияние на осадконакопление обеих частей террейна синхронного андезитового и базальтового вулканизма было незначительным и устанавливается в основном в сенманское и маастрихт-датское время, при накоплении отложений побединской и красноярковской свит [Голозубов и др., 2016; Малиновский, 2018].

Особенности строения и состава меловых отложений террейна свидетельствуют о накоплении осадков в морских обстановках – как глубоководных, так и значительно более мелководных. О мелководности обстановок, характерных для отложений арковской, жонкьерской и красноярковской свит, свидетельствуют их текстурные особенности, присутствие грубообломочных пород, остатки мелководной фауны, обильный растительный детрит, а также наблюдаемые переходы в континентальные угленосные отложения [Малиновский, 2018]. Среди глубоководных отложений выделяются толщи илов, накапливавшихся в условиях бассейновой равнины и нижней части континентального склона, и турбидитов, формировавшихся в обстановках подводного континентального склона и его подножья [Зябрев, 1992]. Основными агентами транспортировки и отложения обломочного материала были гравитационные потоки различной плотности, состава и происхождения. По данным работы [Зябрев, 1992], перемещение обломочного материала происходило в восточном направлении.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования были песчаные породы из меловых отложений Западно-Сахалинского террейна. В ходе полевых работ 2007–2015 гг. изучены и опробованы 32 разреза и большое количество отдельных точек, представляющих все стратиграфические подразделения северной и южной частей террейна и расположенных в береговых обнажениях рек и ручьев, на побережье Татарского пролива, а также в карьерах и придорожных выемках. В качестве основного объекта изучения выбраны песчаные породы, поскольку они наиболее информативны при определении состава источников питания и геодинамической природы бассейнов седиментации.

Изучение петрографического состава пород, контроль отсутствия вторичных преобразований в породах, которые могут в дальнейшем сказаться на полученных аналитических данных, а также определение и подсчет содержания основных породообразующих компонентов и тяжелых обломочных минералов осуществлялись при помощи

поляризационных микроскопов МИН-8 и Axio-plan 2 imaging. Методика минералого-петрографических исследований традиционная, многократно апробированная, ее детали приведены в целом ряде публикаций [Малиновский и др., 2005, 2006; Маркевич и др., 1987 и др.]. Химический состав тяжелых минералов исследовался на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100. Содержание петрогенных элементов определялось методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500 Duo. Концентрации редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) устанавливались методом плазменной спектроскопии (ICP-MS) на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500с. Все исследования выполнены в лабораториях аналитической химии и рентгеновских методов Аналитического центра (ЦКП) ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток).

#### ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ПОРОД

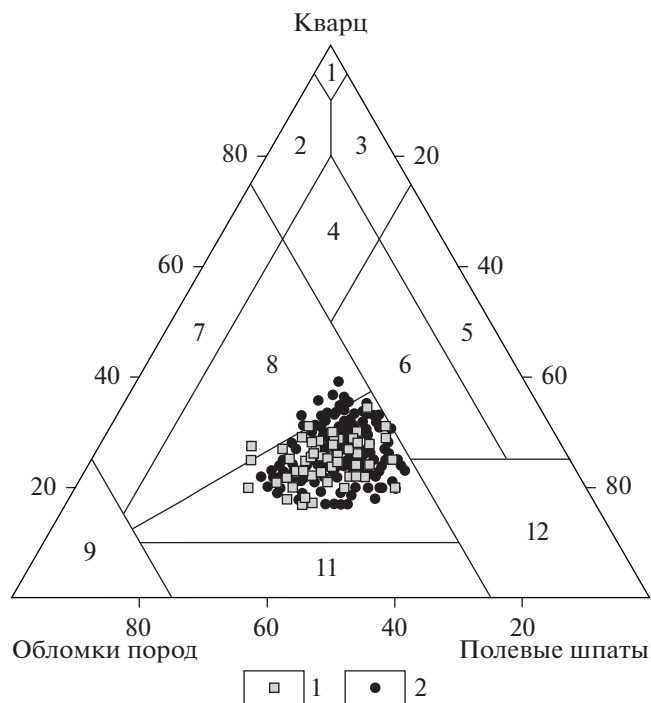
Для определения тектонического типа и состава пород областей питания, а также выяснения палеогеодинамических обстановок формирования меловых отложений Западно-Сахалинского террейна, изучен вещественный состав песчаных пород: состав и содержание породообразующих компонентов и тяжелых обломочных минералов, химический состав некоторых из них, а также геохимические особенности пород в целом. Использовались средние, сгруппированные по свитам, значения некоторых из перечисленных параметров вещественного состава, что позволило установить наиболее общие закономерности их распределения, а также получить максимально объективные результаты геодинамической интерпретации.

Песчаные породы во всех изученных свитах изменяются от мелко- до крупнозернистых и даже гравелистых, иногда они неравномернозернистые. Сортировка средняя и хорошая, которая с увеличением размерности часто ухудшается. Зерна обычно угловатые и угловато-окатанные, реже окатанные, изометричные и удлиненные. Наиболее хорошо окатаны зерна кварцитов, кремнистых и терригенных пород, а наименее – вулканических. Иногда в песчаниках присутствуют рассеянные по всему объему породы мелкие (до 2 см) бесформенные обрывки алевролитов и обугленный растительный детрит.

По соотношению породообразующих компонентов меловые песчаники Западно-Сахалинского террейна однотипны и относятся к полимиктовым. Обломочная часть песчаников, занимающая 60–80% объема породы, состоит из кварца, полевых шпатов, а также обломков кварцитов, эффузивных, терригенных и кремнистых пород. На классификационной диаграмме В.Д. Шу-

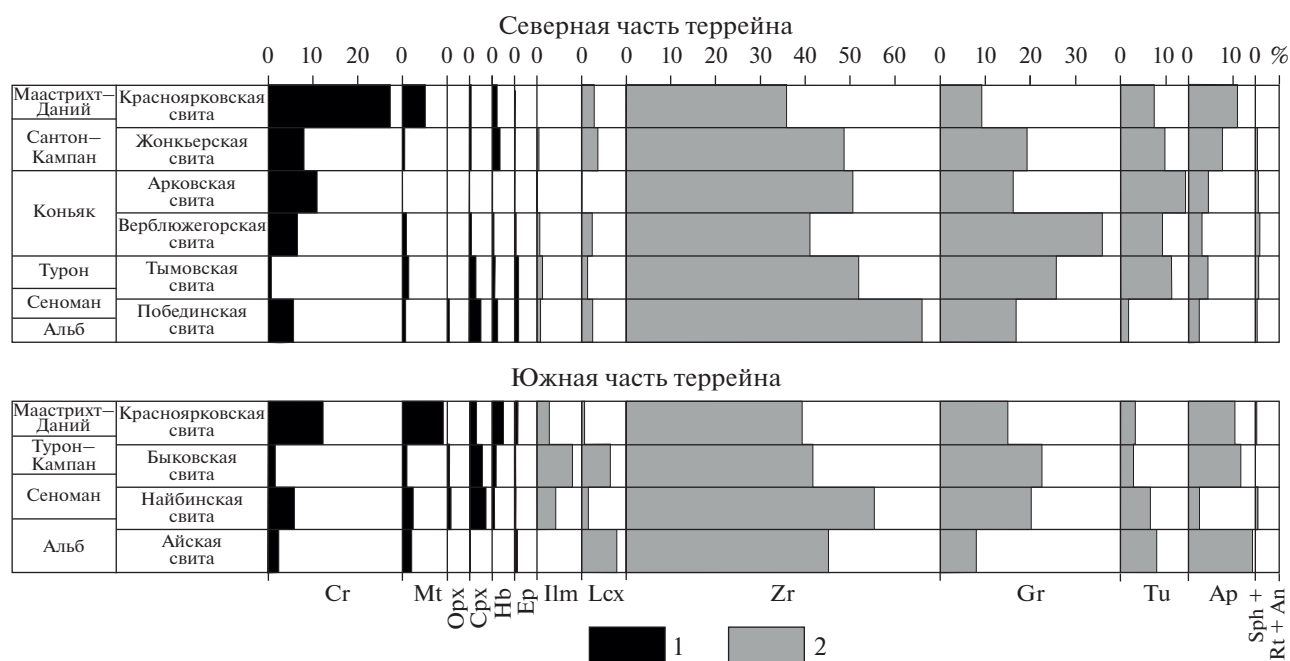
това [1967] (рис. 2) песчаники образуют единое поле и относятся, главным образом, к кварц-полевошпатовым и, реже, полевошпатово-кварцевым грауваккам. Содержание кварца в песчаниках колеблется от 16 до 40%. Наибольшее его количество отмечается в породах арковской свиты северной части террейна, а наименьшее — в вулканогенных отложениях красноярковской свиты его обеих частей. Кварц в основном монокристаллический, остроугольный, изометричный либо слабо удлиненный, часто с волнистым погасанием, что характерно для кварца из эффузивных пород [Симанович, 1978]. Поликристаллический кварц редок. Полевых шпатов в песчаниках от 27 до 51%. Это преимущественно (до 90% всех полевых шпатов) удлиненные, таблитчатые, реже изометричные зерна кислых плагиоклазов — альбита и олигоклаза. Основные и средние плагиоклазы, а также калиевые полевые шпаты встречаются значительно реже (не более 8%). Обломки пород, составляющие в сумме 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 более редки кислые интрузивные породы, кварциты и кварцсерицитовые сланцы. Кроме того, в песчаниках некоторых уровней разреза присутствует незначительная примесь пирокластики: остроугольных зерен полевых шпатов, основных и средних эффузивов, вулканического стекла. Таким образом, петрографический состав песчаных пород позволяет предполагать, что источниками обломочного материала были древние осадочные, гранитно-метаморфические и вулканические породы. Кроме того, на осадконакопление определенное влияние оказывали и синседиментационные вулканические процессы, поставившие в бассейн основную-среднюю пирокластику.

В песчаниках террейна изучены состав тяжелой фракции песчаников, общее содержание в ней тяжелых обломочных минералов, соотношения их ассоциаций и химический состав некоторых из них. Тяжелая фракция составляет 0.01–1.0% всего объема породы, редко достигая 2%. На рис. 3 показаны среднее содержание и характер распределения тяжелых минералов в различных свитах обеих частей террейна. Все минералы подразделяются на две ассоциации: сиалическую, происходящую из кислых изверженных и метаморфических пород и фемическую, связанную с основными и ультраосновными магматическими породами. Песчаники южной и северной частей террейна близки по набору и содержанию тяжелых минералов. В них преобладают (в обеих частях в среднем по 87%, а в некоторых свитах до 96%) минералы сиалической ассоциации. Количество фемических минералов невелико: среднее содержание по всем свитам составляет 13% и лишь



**Рис. 2.** Классификационная диаграмма типов песчаных пород из меловых отложений Западно-Сахалинского террейна (частные значения) [Шутов, 1967]. 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 — граувакковые аркозы; 7 — кварцевые граувакки; 8 — полевошпатово-кварцевые граувакки; 9 — собственно граувакки; 10 — кварцево-полевошпатовые граувакки; 11 — полевошпатовые граувакки; 12 — кристаллотуфы. Песчаники из южной (1) и северной (2) части террейна.

в красноярковской свите обеих частей террейна, вероятно за счет примеси синседиментационной пирокластики, оно несколько выше (28 и 33%). Среди минералов сиалической ассоциации доминирует циркон, содержание которого 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 [Ляхович, 1979]. Кроме того, в этой ассоциации в заметных количествах присутствуют гранат (на юге в среднем по свитам 8–22%, на севере — 10–35%), турмалин (3–8 и 2–17% соответственно) и апатит (3–26 и 3–11%). Помимо этого, в отложениях юга террейна наблюдается повышенные содержания ильменита и связанного с ним лейкоксена (в сумме до 15% — в быковской свите), количество которых на севере незначительно.



**Рис. 3.** Среднее содержание и характер распределения тяжелых обломочных минералов в песчаниках мела Западно-Сахалинского террейна.

1, 2 – ассоциации минералов: 1 – фемическая, 2 – силическая.

Минералы: Cr – хромит, Mt – магнетит, Орх – ортопироксен, Срх – клинопироксен, Нб – амфибол, Ер – эпидот, Птm – ильменит, Lcx – лейкоксен, Zr – циркон, Gr – гранат, Tu – турмалин, Ap – апатит, Sph – сфен, Rt – рутил, An – анатаз.

В фемической ассоциации основным минералом является хромит, среднее содержание которого составляет на юге 6%, а на севере 10%, при этом его количество 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). Кроме того, в ассоциацию входят типичные минералы островодужной вулканокластике – роговая обманка, орто- и клинопироксены. Содержания этих минералов невелики: больше всего клинопироксена в найбинской и побединской свитах (3 и 2%), а роговой обманки – в красноярковской свите юга террейна (3%).

Геохимические особенности песчаных пород мела Западно-Сахалинского террейна подробно рассмотрены в предыдущей публикации [Малиновский, 2018]. Приведем лишь основные параметры. По химическому составу песчаники обеих частей террейна довольно однородны: содержание  $\text{SiO}_2$  в среднем по свитам варьирует на юге от 64.74 до 70.24%, а на севере – от 65.54 до 75.70% (т.е. несколько выше). Вместе с тем, на севере террейна в песчаниках содержится меньше  $\text{TiO}_2$  (0.43–0.64% и 0.49–0.71%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (11.67–14.81% и

13.99–15.40%),  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (1.33–4.59% и 3.50–5.91%),  $\text{MgO}$  (0.69–1.88% и 1.01–1.11%),  $\text{CaO}$  (1.12–1.74% и 1.19–2.87%). Для всех исследованных песчаников характерно свойственное грауваккам преобладание  $\text{Na}_2\text{O}$  (2.18–3.62% и 3.02–3.98%) над  $\text{K}_2\text{O}$  (2.09–2.99% и 2.28–2.71%). По своим геохимическим параметрам песчаники относятся к грауваккам и лишь незначительная их часть по классификации [Петтиджон, 1981] характеризуется как лититовые арениты. По литохимическим модулям [Юдович, 1981; Юдович, Кетрис, 2000], используемым для получения достоверной информации о составе пород областей питания, степени их зрелости, литогенной либо петрогенной природе осадков, песчаники достаточно близки друг другу [Малиновский, 2018]. Они характеризуются: 1) невысоким уровнем зрелости (гидролизатный модуль  $\text{GM} = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})/\text{SiO}_2$ , от 0.18 до 0.35), что свидетельствует об их образовании за счет механического разрушения материнских пород при подчиненной роли химического выветривания, невысокая степень выветрелости исходных пород подтверждается и низкими значениями индекса химического изменения ( $\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})] \times 100$ ) [Nesbitt, Young, 1982] – в среднем от 53 до 59); 2) уровнем фемичности ( $\text{FM} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$ , в сред-

нем 0.06–0.13), соответствующим грауваккам; 3) невысокой титанистостью ( $TM = TiO_2/Al_2O_3$ , от 0.034 до 0.046), но повышенной нормативной щелочностью ( $NKM = (Na_2O + K_2O)/Al_2O_3$ , в среднем 0.34–0.45), что связано с присутствием в породах, с одной стороны, островодужной вулканокластике низкотитанистых (но высокоглиноземистых) серий, а с другой – обломков гранитоидов, которым также свойственны низкие значения  $TM$ , но высокие  $NKM$  [Малиновский, 2010; Юдович, Кетрис, 2000]. Величины и соотношения литохимических модулей, а также положение их фигуративных точек на ряде модульных диаграмм [Малиновский, 2018; Юдович, Кетрис, 2000] свидетельствуют о принадлежности изученных пород к петрогенным, прошедшим один цикл седиментации – при формировании которых не происходило какой-либо существенной литодинамической сортировки обломочного материала.

По содержанию и закономерностям распределения редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) песчаники обеих частей террейна также однотипны [Малиновский, 2018]. Суммарные концентрации РЗЭ в них относительно невелики: в среднем по свитам от 82 до 139 г/т. Спектры их распределения характеризуются умеренной степенью фракционирования с невысоким отношением легких лантаноидов к тяжелым ( $LaN/YbN = 5.79–12.15$ ), а также отчетливо выраженной отрицательной европиевой аномалией ( $Eu/Eu^* = 0.68–0.84$ ). По сравнению с постархейским австралийским средним глинистым сланцем (PAAS) [Тейлор, Мак-Леннан, 1988], все песчаники незначительно обеднены как легкими, так и тяжелыми элементами (в 1.1–2.8 раза).

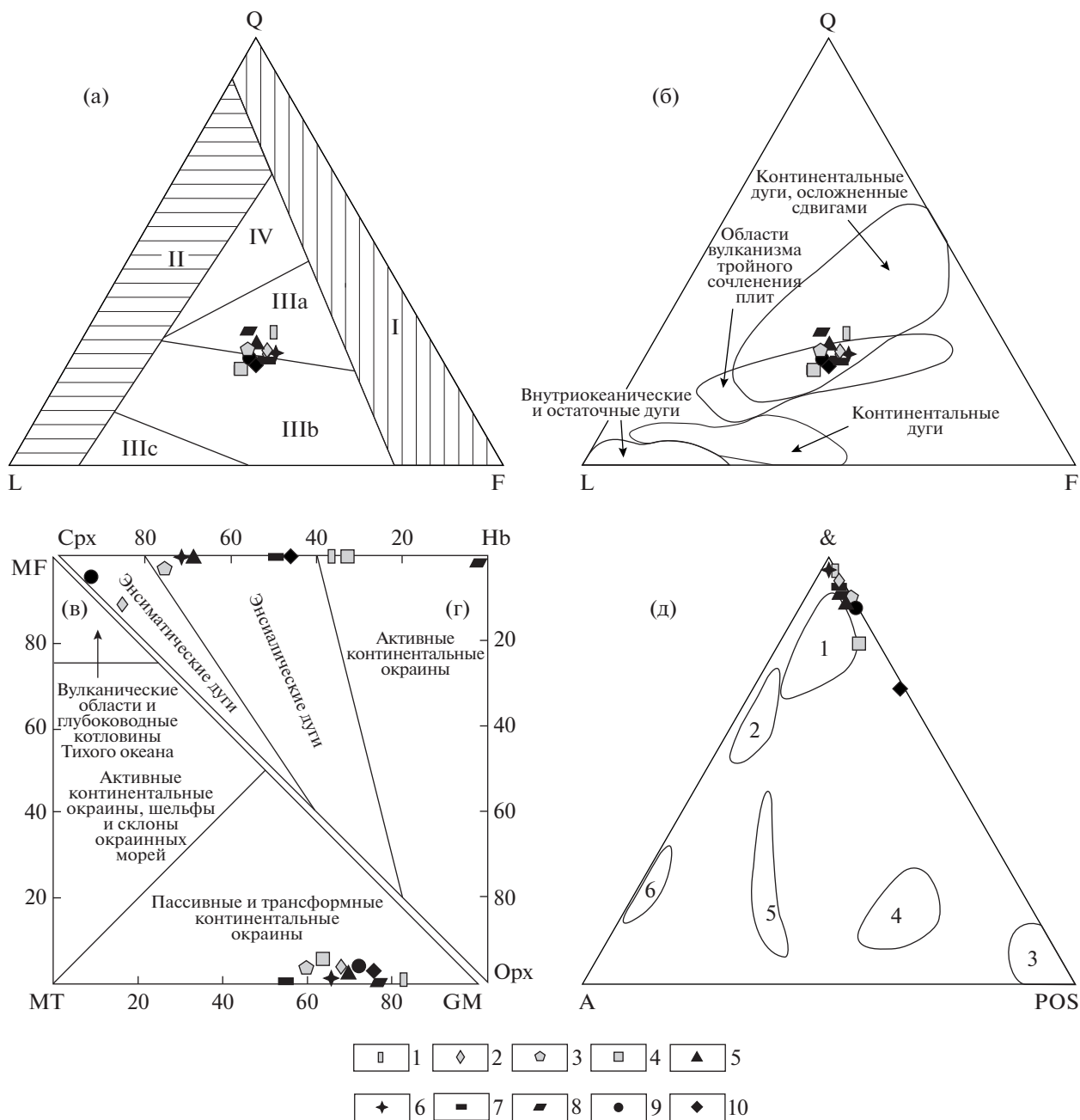
#### ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Палеорекострукции на основе результатов изучения вещественного состава меловых песчаников Западно-Сахалинского террейна осуществлялись с помощью дискриминантных диаграмм, построенных по данным о содержании и соотношении в песчаниках породообразующих компонентов и тяжелых минералов, а также ряда индикаторных оксидов, редких и РЗЭ элементов. На этих диаграммах авторами выделяются поля, характеризующие различные типы областей питания и геодинамических обстановок формирования отложений [Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986; Cullers, 2002; Dickinson, Suczek, 1979; Floyd, Leveridge, 1987; Garzanti, Ando, 2007; Maynard et al., 1982; Nechaev, Ispording, 1993; Roser, Korsch, 1986 и др.].

Вещественный состав изученных меловых песчаников Западно-Сахалинского террейна позво-

ляет отнести их к петрогенным грауваккам, характеризующимся невысокой степенью зрелости кластического материала, источником которого были практически не претерпевшие химического преобразования материнские породы областей сноса. Реконструкция тектонических типов источников питания по составу породообразующих компонентов песчаников осуществлена при помощи диаграммы  $Q-F-L$  [Dickinson, Suczek, 1979] (рис. 4а). В соответствии с этой диаграммой, в состав питающей провинции могли входить как переходные, частично эродированные (IIIb), так и расчлененные, практически разрушенные окраинно-континентальные магматические дуги (IIIa), в которых эрозия достигла полнокристаллических батолитов, подстилающих вулканиты. На диаграмме, построенной по результатам изучения песков и песчаников, поднятых при глубоководном бурении в области питающих провинций магматических дуг Тихого океана и окраинных морей [Marsaglia, Ingersoll, 1992] (см. рис. 4б), рассматриваемые песчаники соответствуют главным образом породам, питающими провинциями для которых являются континентальные дуги, осложненные сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам. Таким образом, отложения формировались за счет разрушения как собственно вулканических образований дуги, так и ее гранитно-метаморфического фундамента. Дополнительным источником сиалической кластики также могла быть и зрелая Евразийская континентальная окраина, сложенная гранитно-метаморфическими и осадочными породами.

Состав и определенные соотношения тяжелых обломочных минералов в песчаниках также позволяют достаточно уверенно судить о типе и составе материнских пород питающих провинций. Анализ соотношения ассоциаций тяжелых минералов в изученных песчаниках на диаграммах  $MF-MT-GM$ ,  $Orx-Hb-Cpx$  и  $A-\&-POS$  [Garzanti, Ando, 2007; Nechaev, 1991; Nechaev, Ispording, 1993] (см. рис. 4в, г, д) показывает, что область питания сочетала в себе два контрастных источника обломочного материала. Основным источником, формировавшим сиалическую ассоциацию минералов, служили гранитно-метаморфические породы фундамента энсиалической (окаинно-континентальной) магматической дуги, аналогом которой являются Японские острова, а также блоки зрелой континентальной коры (кратоны и краевые части рифтов), участвовавшие в строении восточной окраины Азии [Геодинамика ..., 2006]. Вторым, подчиненным, источником кластики, поставлявшим в бассейн седиментации минералы фемической ассоциации, были основные и средние вулканиты дуги, а также ультраосновные интрузивные породы офиолитов, участвовавшие в строении ее основания. Смещение точек состава породообразующих



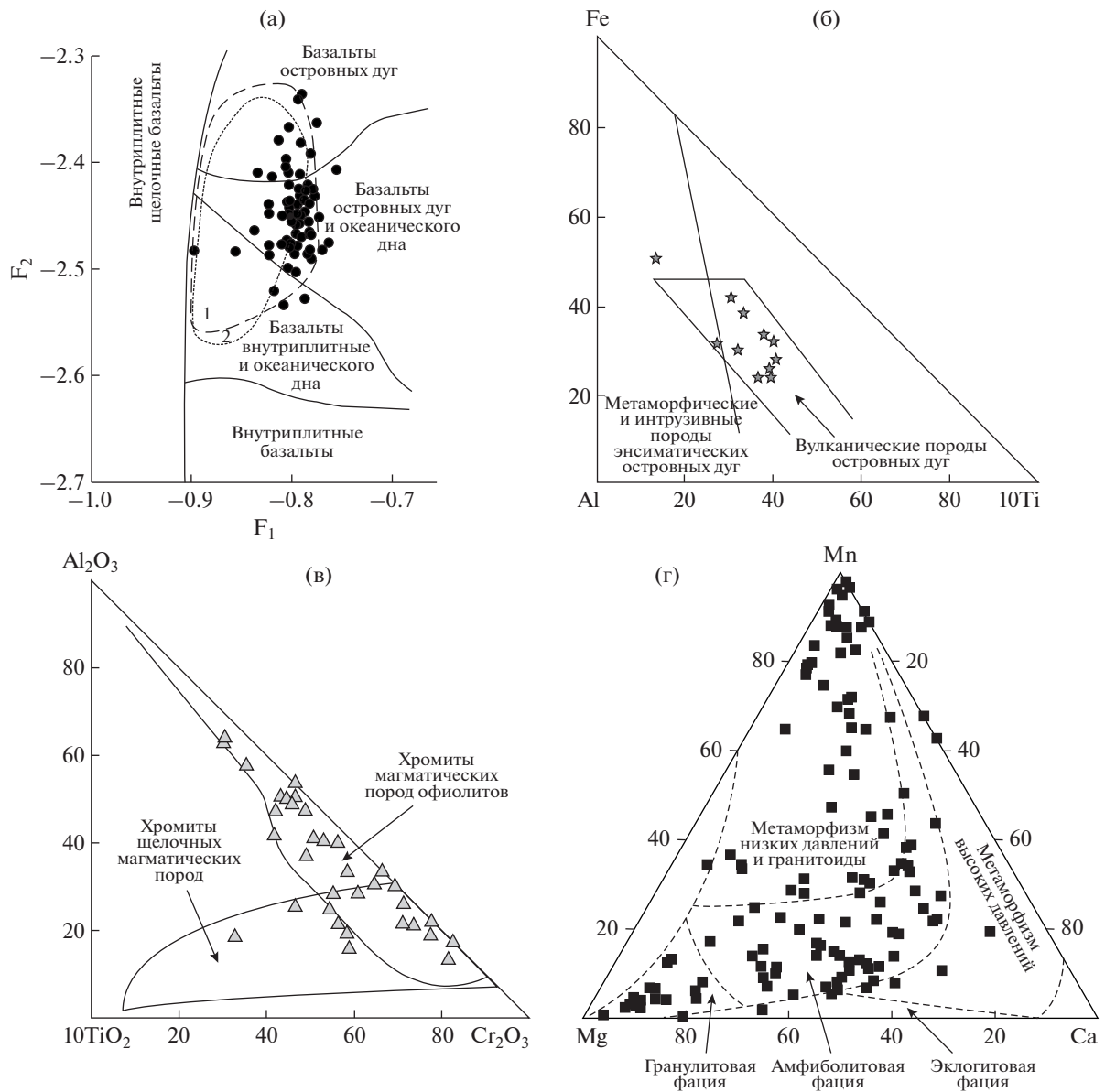
**Рис. 4.** Возможные типы областей питания для песчаных пород мела Западно-Сахалинского террейна (здесь и далее – средние значения по свитам).

а, б – по породообразующим компонентам: а – [Dickinson, Suczek, 1979], б – [Marsaglia, Ingersoll, 1992]. Q – кварц, L – обломки пород, F – полевые шпаты. Типы источников питания: I – устойчивые кратоны и поднятые блоки основания, II – ремобилизованные орогены, III – магматические дуги (IIIa – расчлененные, глубоко эродированные, IIIb – переходные, IIIc – нерасчлененные, слабо эродированные), IV – смешанные источники питания;

в, г, д – по тяжелым обломочным минералам: в – MF–MT–GM и г – Orx–Hb–Crx [Nechaev, 1991; Nechaev, Isphording, 1993]. Суммы содержаний: MF – оливина, пироксенов, зеленой роговой обманки; MT – эпидота, граната, синезеленых амфиболов; GM – циркона, турмалина, ставролита, дистена, силлиманита и андалузита. Orx – ортопироксен, Hb – амфибол, Crx – клинопироксен; д – &–A–POS [Garzanti, Ando, 2007], где A – амфиболы и эпидоты, POS – клинопироксены, ортопироксены, оливины и хромиты, & – другие прозрачные минералы. 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.

1–10 – свиты: 1–4 – южная часть террейна: 1 – айская, 2 – найбинская, 3 – быковская, 4 – красноярковская; 5–10 – северная часть террейна: 5 – побединская, 6 – тымовская, 7 – верблюжогорская, 8 – арковская, 9 – джонкьерская, 10 – красноярковская.





**Рис. 5.** Диаграммы составов тяжелых обломочных минералов из песчаников мела Западно-Сахалинского террейна и их вероятных магматических источников. а – для клинопироксенов [Nisbet, Pearce, 1987];  $F_1 = -0.012SiO_2 - 0.0807TiO_2 + 0.0026Al_2O_3 - 0.0012FeO - 0.0026MnO + 0.0087MgO - 0.0128CaO - 0.0419Na_2O$ ;  $F_2 = -0.0496SiO_2 - 0.0818TiO_2 - 0.02126Al_2O_3 - 0.0041FeO - 0.1435MnO - 0.0029MgO - 0.0085CaO + 0.0160Na_2O$  (1, 2 – поля клинопироксенов из песчаников (1) и базальтов (2) Кемского террейна Сихотэ-Алиня [Малиновский и др., 2005]); б – для амфиболов [Nechaev, 1991]; в – для хромитов [Щека, Вржосек, 1983]; г – для гранатов [Teraoka, 2003].

компонентов и тяжелых минералов песчаников на всех приведенных на рис. 4 диаграммах преимущественно в области островодужных источников питания, объясняется, вероятно, примесью в них синседиментационной пирокластики.

Химический состав некоторых обломочных минералов позволяет выяснить тектонический тип и петрографический состав пород областей питания [Малиновский и др., 2006; Morton, Halls-worth, 1994; Nechaev, 1991; Nisbet, Pearce, 1977

и др.]. Наиболее информативны в этом отношении клинопироксены, роговые обманки, гранаты и хромиты, результаты изучения состава которых приведены в табл. 1. Клинопироксены в песчаниках террейна представлены диопсидом, авгитом, редко салитом. На дискриминантной диаграмме  $F_1-F_2$  [Nisbet, Pearce, 1977] (рис. 5а), устанавливающей их магматические источники, большинство изученных минералов попадает в поля, соответствующие клинопироксенам базаль-

**Таблица 1.** Химический состав тяжелых обломочных минералов из меловых песчаников Западно-Сахалинского террейна (мас. %)

Проба	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Сумма
Клинопироксены											
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	51.60	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
CX-8	53.77	0.43	3.48	0.08	8.36	0.03	15.97	20.97	0.17	—	103.26
CX-8	53.69	0.14	2.06	0.75	4.41	0.28	17.88	22.47	0.08	—	101.76
CX-8	53.62	0.24	2.97	0.17	4.62	0.30	16.48	23.08	0.03	—	101.51
CX-8	51.14	0.47	2.48	—	6.27	0.15	16.44	20.94	0.24	—	98.13
CX-13	53.00	0.25	3.04	0.18	7.06	0.25	16.90	21.42	0.10	0.01	102.21
CX-13	51.45	0.28	2.80	—	6.24	0.29	16.62	21.19	0.30	—	99.16
CX-22	52.67	0.25	2.60	0.72	4.59	0.06	16.90	23.42	0.19	0.01	101.41
CX-22	53.31	0.25	2.85	0.45	5.19	0.24	17.46	22.30	0.09	0.04	102.18
CX-22	50.56	0.31	2.53	0.23	5.01	0.15	16.41	22.6	0.24	—	98.04
C-32	48.98	0.57	5.17	—	6.96	—	14.43	21.55	0.44	—	98.10
CX-37	53.84	0.26	2.36	0.22	4.42	0.14	17.07	23.21	0.12	—	101.64
CX-37	51.96	0.29	3.20	0.21	6.53	0.28	16.16	22.48	0.11	0.01	101.23
CX-37	51.09	0.41	3.00	0.66	5.18	—	16.96	21.15	0.16	—	98.61
CX-61	53.88	0.20	2.64	—	6.47	0.11	16.89	21.38	0.07	—	101.64
CX-61	54.33	0.15	1.56	—	6.29	0.29	17.59	21.28	0.10	—	101.59
CX-61	51.26	0.36	2.33	0.16	6.60	—	16.76	20.67	0.16	—	98.30
CX-61	51.56	0.28	2.85	0.25	5.35	—	16.64	21.72	—	—	98.65
CX-73	52.47	0.47	5.81	0.23	5.41	0.08	14.35	22.04	0.78	0.01	101.65
CX-73	50.07	0.25	6.19	0.32	7.07	0.25	14.66	23.26	0.15	—	102.22
CX-73	51.40	0.27	2.07	—	9.28	0.44	17.03	17.99	—	—	98.48
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
CX-106	51.47	0.51	2.18	—	9.47	0.42	15.19	20.24	—	—	99.48

Таблица 1. Продолжение

Проба	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Сумма
CX-106	50.45	0.31	1.25	—	12.81	0.66	13.78	19.21	0.24	—	98.71
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
H-75	51.13	—	3.38	—	7.32	—	17.88	18.64	—	—	98.35
H-76	51.46	—	3.14	—	13.72	0.69	16.07	13.74	—	0.22	99.04
H-88	52.85	—	3.89	—	6.48	0.59	15.88	18.21	—	—	97.90
H-92	52.20	0.43	3.15	—	6.01	—	17.46	19.76	—	—	99.52
Амфиболы											
CX-4	50.35	1.05	6.08	0.08	12.77	0.54	16.09	11.50	0.70	0.18	99.34
CX-4	48.62	1.22	6.58	0.31	12.32	0.63	15.16	11.48	0.95	0.23	97.50
CX-120	40.64	2.45	12.00	0.02	19.19	0.24	9.30	11.75	2.15	2.40	100.14
CX-120	39.65	2.70	12.35	0.01	19.14	0.52	9.35	11.79	2.05	2.33	99.89
C-37	43.57	1.91	13.15	—	11.08	—	16.00	11.70	2.90	0.44	100.75
C-39	43.20	2.08	12.71	—	12.37	—	14.89	11.37	2.19	0.68	99.49
H-3	43.67	0.60	10.07	—	19.74	0.59	9.33	11.68	1.57	0.99	98.23
H-92	44.97	2.07	10.28	—	12.63	0.46	14.76	10.88	2.01	0.44	98.50
H-93	44.20	2.13	12.82	—	11.55	0.76	14.84	10.30	2.03	0.36	98.99
H-99	44.19	1.48	11.15	—	12.24	—	13.82	11.71	1.69	0.93	97.21
H-101	44.05	2.04	11.66	—	12.20	0.62	14.95	10.87	1.88	—	98.27
Хромиты											
C-25	—	0.35	6.48	57.82	24.06	0.70	8.18	—	—	—	97.59
CX-42	—	0.80	22.35	29.53	37.65	0.17	9.46	—	—	—	99.96
CX-42	—	0.33	21.86	44.97	16.73	0.11	15.01	—	—	—	99.01
CX-42	—	—	28.40	36.87	17.33	—	16.77	—	—	—	99.37
CX-42	—	0.33	25.74	39.57	16.46	0.29	15.77	—	—	—	98.16
CX-71	—	0.23	12.19	50.21	29.72	0.32	5.89	—	—	—	98.56
CX-71	—	1.53	23.92	35.91	22.72	—	14.29	—	—	—	98.37

Таблица 1. Продолжение

Проба	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Сумма
CX-71	—	0.39	10.52	54.07	25.07	—	9.39	—	—	—	99.44
CX-73	—	1.17	19.77	39.15	28.93	—	10.72	—	—	—	99.74
CX-73	—	—	15.76	46.38	27.22	0.79	8.51	—	—	—	98.66
CX-94	—	1.81	11.21	44.44	40.07	0.98	1.07	—	—	—	99.58
CX-106	—	2.24	9.03	50.11	26.02	—	11.09	—	—	—	98.49
CX-109	—	0.37	14.55	46.30	26.89	0.77	10.59	—	—	—	99.47
CX-109	—	—	8.74	61.67	19.58	0.67	9.34	—	—	—	100.00
CX-115	—	1.39	15.40	44.70	27.02	—	11.36	—	—	—	99.87
CX-115	—	0.56	10.17	49.84	31.59	0.61	5.52	—	—	—	98.29
CX-118	—	4.77	11.73	30.45	42.24	0.11	9.49	—	—	—	98.79
CX-118	—	0.62	16.01	41.52	31.33	0.57	8.68	—	—	—	98.73
CX-120	—	0.30	9.05	55.75	21.97	0.05	12.18	—	—	—	99.30
CX-120	—	0.49	19.66	38.36	27.93	0.71	10.91	—	—	—	98.06
CX-122	—	2.25	13.08	35.96	35.67	0.73	10.87	—	—	—	98.56
H-3	—	1.60	9.98	38.52	50.43	1.27	0.74	—	—	—	102.84
H-3	—	0.66	34.30	31.38	16.31	—	16.32	—	—	—	98.97
H-72	—	—	2.21	46.06	47.57	—	1.02	—	—	—	100.82
H-73	—	0.70	22.00	40.68	21.25	—	—	—	—	—	99.87
H-75	—	—	9.31	49.34	29.83	0.62	8.51	—	—	—	97.61
H-76	—	0.47	27.43	36.64	18.72	—	16.24	—	—	—	99.50
H-77	—	1.79	13.46	44.65	26.15	—	12.89	—	—	—	98.94
H-86	—	0.50	25.65	32.93	28.19	—	—	—	—	—	98.27
H-87	—	0.30	27.49	37.66	18.62	—	—	—	—	—	99.94
H-88	—	—	14.15	47.64	27.66	—	—	—	—	—	98.25
H-88	—	0.46	27.45	38.44	22.14	—	1.20	—	—	—	102.85
H-95	—	0.54	35.83	25.48	22.51	—	16.30	—	—	—	100.12
H-95	—	0.62	35.02	24.86	22.23	—	16.12	—	—	—	98.85
H-99	—	0.83	13.99	44.76	30.83	0.6	11.44	—	—	—	102.55
Гранаты											
C-42/1	36.34	—	20.48	—	34.02	1.51	1.59	5.18	—	—	
C-43/1	37.61	—	21.32	—	32.67	1.95	3.28	4.24	—	—	101.07
C-44	36.75	—	20.80	—	39.06	4.08	0.50	0.40	—	—	101.59
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
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

Таблица 1. Продолжение

Проба	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Сумма
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	—	—	
CX-72	35.89	0.36	19.83	—	33.10	3.24	1.63	5.61	—	—	
CX-73	35.79	0.01	21.25	0.10	34.00	7.69	1.02	0.36	0.03	0.01	
CX-73	37.46	0.01	21.57	—	33.39	8.17	0.92	0.36	0.11	0.03	
CX-73	33.50	0.52	21.75	—	31.28	2.01	3.70	6.48	—	0.04	
CX-73	37.91	0.56	21.28	—	28.38	2.04	3.53	5.82	—	—	
CX-73	35.58	—	20.66	—	31.36	12.29	1.10	0.36	—	—	
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
CX-109	35.66	0.33	19.39	—	19.40	23.81	1.57	0.43	—	—	100.59
CX-109	35.49	0.19	20.45	—	33.58	4.30	2.15	3.60	0.04	0.01	99.81
CX-113	38.39	0.06	21.43	0.11	30.83	3.51	2.24	4.74	0.01	—	101.32
CX-113	38.03	0.50	20.54	0.02	31.76	3.89	1.64	5.37	—	0.04	101.79
CX-113	35.86	0.13	21.10	0.09	13.55	25.75	1.04	2.81	—	0.02	100.35
CX-113	36.85	—	20.99	—	36.13	0.70	2.41	4.14	—	—	101.22
CX-113	36.48	—	20.54	—	33.00	5.05	1.35	4.53	—	—	100.95
CX-115	38.13	0.13	21.72	0.02	29.36	1.52	5.08	6.82	—	—	102.78
CX-115	35.36	0.02	21.81	0.19	28.55	1.34	5.39	6.60	0.01	—	99.27
CX-115	36.39	0.01	21.69	0.03	28.10	1.05	5.20	6.75	—	—	99.22
CX-115	35.65	0.04	21.58	0.02	28.41	1.09	5.47	7.02	0.01	0.03	99.32
CX-115	36.44	—	21.03	—	32.92	4.33	3.29	3.00	—	—	101.01
CX-117	36.09	0.01	22.05	—	31.77	3.17	4.17	3.17	0.03	—	100.46
CX-117	34.61	0.22	21.47	—	31.22	5.88	1.48	5.30	0.05	—	100.23
CX-117	38.32	—	22.56	—	29.23	0.46	9.91	1.05	—	—	101.53
CX-118	36.64	0.02	21.08	—	36.72	3.60	0.81	2.25	—	—	101.12
CX-118	38.82	0.18	21.87	0.04	30.20	2.13	4.12	4.58	—	0.06	102.00

Таблица 1. Окончание

Проба	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Сумма
CX-118	39.61	0.08	21.30	0.05	29.59	2.62	4.11	4.53	0.03	0.01	101.93
CX-118	38.04	0.54	21.67	—	26.56	1.29	5.48	7.38	—	—	100.96
CX-120	37.75	0.01	22.25	0.21	31.57	1.83	6.49	1.16	—	—	101.27
CX-120	35.59	0.09	21.45	—	34.58	3.30	1.15	3.70	0.04	0.01	99.91
CX-120	37.68	—	21.32	—	31.32	0.66	8.29	1.21	—	—	100.48
CX-120	37.66	—	21.71	—	31.30	0.48	7.93	1.20	—	—	100.28
CX-122	35.02	0.01	21.79	—	35.39	1.60	3.34	2.19	0.02	0.05	99.41
CX-122	37.82	0.16	21.27	—	35.08	3.30	1.11	3.55	—	—	102.29
CX-122	37.52	0.06	21.73	—	34.24	3.71	1.27	3.76	—	0.03	102.32
CX-122	35.79	0.07	21.50	0.23	33.92	3.46	1.37	3.61	—	—	99.95
CX-122	37.70	—	21.32	—	30.41	1.17	8.25	1.29	—	—	100.14
CX-122	37.28	—	21.41	—	31.99	0.65	7.14	1.39	—	—	99.86
H-1	34.30	—	20.43	—	25.39	16.07	—	1.57	—	—	97.76
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-72	36.24	—	20.47	—	36.33	1.76	1.50	2.95	—	—	99.25
H-77	41.10	—	24.40	—	26.89	8.14	2.73	—	—	—	103.28
H-77	38.42	0.14	22.23	—	25.94	8.41	2.42	56.04	—	0.02	102.62
H-77	38.50	—	20.90	—	22.54	16.12	3.54	1.26	—	—	102.87
H-92	34.63	—	19.84	—	32.60	10.82	—	0.20	—	—	98.10
H-95	38.87	—	21.29	—	29.98	—	1.07	6.27	—	—	97.48
H-99	35.16	—	19.89	—	30.56	5.02	3.82	3.86	—	—	98.31
H-106	34.53	—	19.58	—	34.70	1.94	2.08	2.76	—	—	95.58

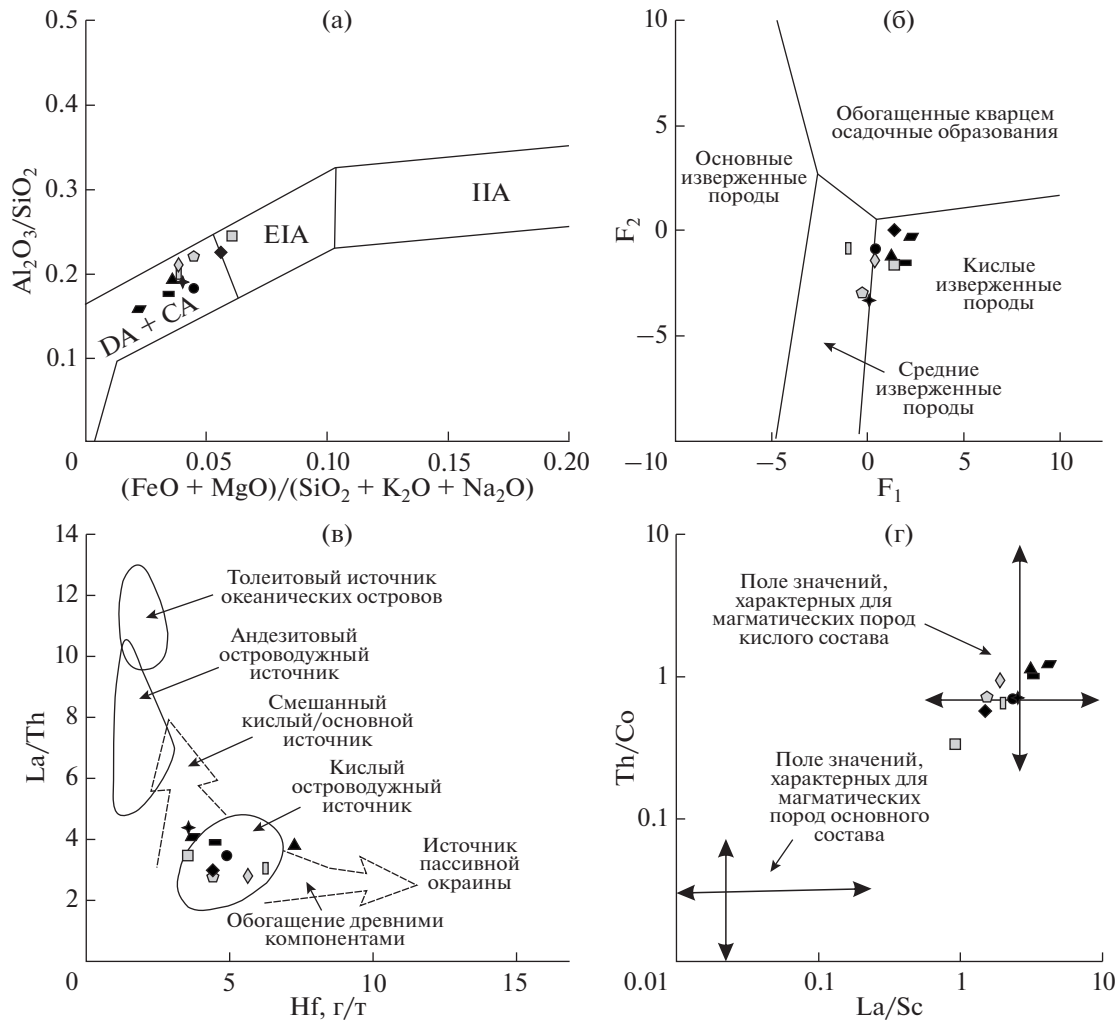
Примечание. FeO\* — общее железо. Прочерк — компонент не обнаружен.

тов островных вулканических дуг, базальтов океанического дна и, частично, внутривулканических базальтов, которые, вероятно, участвовали в строении основания дуги. На этой же диаграмме хорошо видна близость клинопироксенов Западного Сахалина к подобным минералам раннемеловых песчаников и базальтов Кемского террейна Восточного Сихотэ-Алиня, являющегося фрагментом раннемеловой энциалической Монероно-Самаргинской островной дуги [Малиновский и др., 2005]. Это сходство позволяет рассматривать дугу в качестве основного источника фемической кластики для изученных отложений.

Положение точек состава обломочных амфиболов на диаграмме Fe—Al—10Ti [Nechaev, 1991] (см. рис. 5б) также свидетельствует, что в состав источников питания входили вулканические породы островной дуги и, частично, метаморфические и ультраосновные интрузивные породы офиолитов, участвовавшие в строении как основания дуги, так и юрско-раннемеловых аккреционных комплексов Восточного Сихотэ-Алиня.

Присутствие хромитов в тяжелой фракции песчаников обычно указывает на участие в составе области питания ультраосновных и основных интрузивных и вулканических пород. Хромиты, встречающиеся в песчаниках террейна в достаточно больших количествах, подразделяются на два типа [Щека, Вржосек, 1983] (см. рис. 5в): с низким содержанием оксида титана (TiO<sub>2</sub> < 1.5%), происходящие из основных и ультраосновных магматических пород офиолитов, и с высоким его содержанием (TiO<sub>2</sub> > 1.5%) — из щелочных внутривулканических базальтов.

Большинство гранатов из песчаников Западного Сахалина, относится к группе альмандина (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 18.70–23.11%, FeO + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 13.55–39.06%) и лишь иногда они содержат небольшое количество гроссуляровой либо спессартиновой составляющей. Расположение фигуративных точек состава гранатов на диаграмме Mg—Mn—Ca [Teraoka, 2003] (см. рис. 5г) свидетельствует об их соответствии гранатам из метаморфических пород грану-



**Рис. 6.** Возможные типы областей питания для песчаных пород мела Западно-Сахалинского террейна по геохимическим данным.

а – типы питающих провинций магматических дуг [Kiminami et al., 1992]. Питающие провинции: ПА – островные океанические незрелые, ЕАI – слабоэродированные островные, ДА – сильноэродированные островные, СА – окраинно-континентальные; б–г – вероятные составы материнских пород питающих провинций на диаграммах: б –  $F_1$ – $F_2$

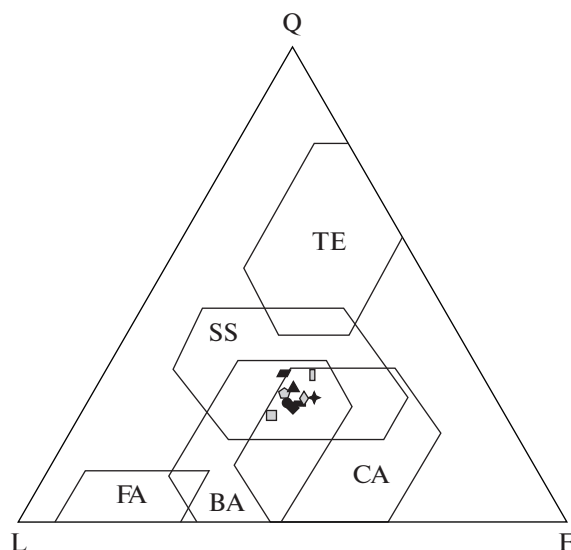
[Roser, Korsch, 1988],  $F_1 = 30.638TiO_2/Al_2O_3 - 12.541Fe_2O_3^*/Al_2O_3 + 7.329MgO/Al_2O_3 + 12.031Na_2O/Al_2O_3 + 35.402K_2O/Al_2O_3 - 6.382$ ;  $F_2 = 56.5TiO_2/Al_2O_3 - 10.879Fe_2O_3^*/Al_2O_3 + 30.875MgO/Al_2O_3 - 5.404Na_2O/Al_2O_3 + 11.112K_2O/Al_2O_3 - 3.89$ ; в – Hf–La/Th [Floyd, Leveridge, 1987]; г – La/Sc–Th/Co [Cullers, 2002].

Условные обозначения см. рис. 4.

литовой, амфиболитовой и более низких фаций метаморфизма, а также из кислых интрузивных пород. Их источниками, очевидно, были зрелая континентальная земная кора и (или) основание энсиалической дуги, сложенные гранитоидами и метаморфическими породами.

Поскольку содержание и характер распределения петрогенных, редких и редкоземельных элементов в терригенных породах контролируются составом источников питания, их генетическая интерпретация позволяет получить дополнительную информацию о тектоническом типе и состав-

ве материнских пород областей питания. Характерные для меловых песчаных пород террейна умеренные значения литохимических модулей ФМ ЖМ, НКМ и ТМ, относительно невысокие концентрации РЗЭ, при незначительной обогащенности легкими элементами по сравнению с тяжелыми, а также умеренно выраженная отрицательная Eu аномалия позволяют предполагать участие в строении области питания как основных и средних вулканических, так и кислых изверженных пород. На диаграмме, предназначенной для разграничения питающих провинций различных типов и стадий развития островных



**Рис. 7.** Возможные типы бассейновых обстановок для меловых отложений Западно-Сахалинского террейна, реконструированные по породообразующим компонентам песчаников [Maynard et al., 1982]. Бассейны: пассивных континентальных окраин (TE), активных континентальных окраин, осложненных сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам (SS); сопряженные: с окраинно-континентальной магматической дугой (CA), с океанической вулканической дугой (FA – преддуговые и BA – задуговые бассейны). L – обломки пород, Q – кварц, F – полевые шпаты. Условные обозначения см. рис. 4.

дуг [Kiminami et al., 1992] (рис. 6а), песчаники террейна ложатся в поле пород, формировавшихся за счет разрушения окраинно-континентальной, значительно эродированной островной дуги. Положение фигуративных точек химического состава песчаных пород на диаграмме  $F_1-F_2$  [Rosser, Korsch, 1988] (см. рис. 6б) позволяет предполагать участие в строении области питания как кислых изверженных, так и средних вулканических пород. Полученные выводы хорошо согласуются с положением точек состава РЗЭ на парных диаграммах Hf–La/Th [Floyd, Leveridge, 1987] и La/Sc–Th/Co [Cullers, 2002] (см. рис. 6в, г), где они попадают, главным образом, в поле кислых пород энсиалической (окраинно-континентальной) островной дуги, частично смещаясь в поле смешенного кислого/основного источника.

Таким образом, область питания сочетала в себе глубоко расчлененную окраинно-континентальную (энсиалическую) дугу, в которых эрозия вскрыла батолиты гранитоидов, подстилавших вулканы, и древнюю сиалическую сушу. Отложения формировались как за счет разрушения гранитно-метаморфических комплексов суши и фундамента дуги, так и вулканических образований самой дуги.

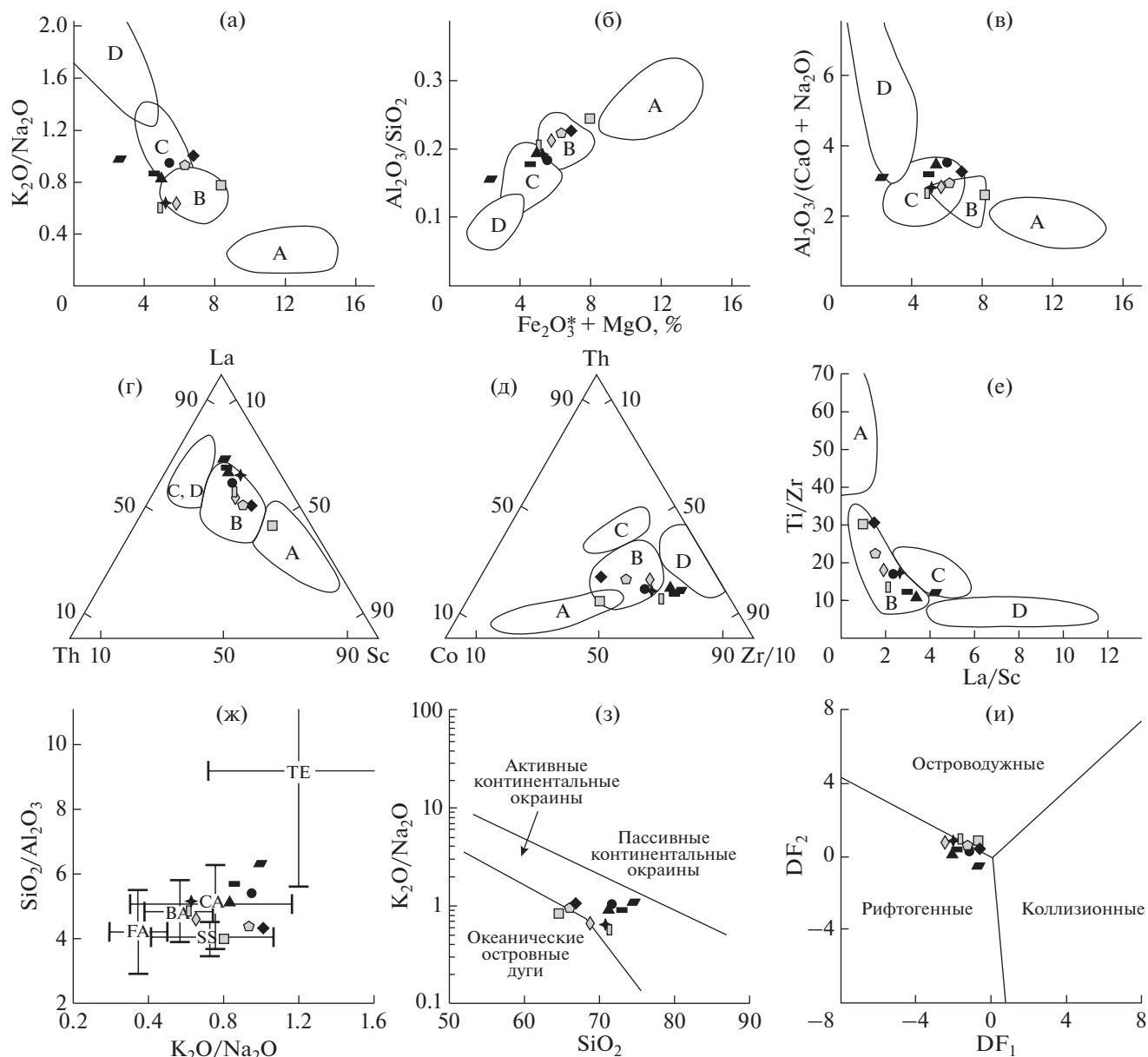
Определенные тектонические типы питающих провинций подразумевают существование и определенных геодинамических обстановок формирования связанных с ними бассейнов седиментации. Установить эти обстановки можно также

путем сравнения вещественного состава пород изученных объектов с составом древних пород и современных осадков из бассейнов с известными тектоническими обстановками.

Реконструкция палеогеодинамических обстановок накопления меловых отложений Западно-Сахалинского террейна по породообразующим компонентам песчаников осуществляется при помощи диаграммы Q–F–L [Maynard et al., 1982] (рис. 7), на которой фигуративные точки изученных пород наиболее соответствуют обстановкам бассейнов, сопряженных с активными континентальными окраинами, осложненными сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам типа Калифорнийского залива, а также бассейнов, связанных с окраинно-континентальными магматическими дугами. Анализ соотношения ассоциаций тяжелых обломочных минералов в песчаниках террейна на диаграмме MF–MT–GM [Nechaev, 1991; Nechaev, Isphording, 1993] (см. рис. 4в) указывает на накопление отложений в бассейне, связанном с обстановкой трансформного скольжения литосферных плит, примером которого могут служить бассейны Калифорнийской окраины [Christie-Blick, Biddle, 1985].

Палеогеодинамическая интерпретация геохимического состава песчаников террейна осуществлена при помощи дискриминантных диаграмм, приведенных на рис. 8. На серии диаграмм М. Бхатия и А. Крука [Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986] (см. рис. 8а–е), применяющихся для разде-





**Рис. 8.** Палеогеодинамические обстановки формирования меловых отложений Западно-Сахалинского террейна на основании интерпретации геохимических данных.

а–е – типы седиментационных бассейнов [Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986]. Поля значений геохимических параметров древних песчаников из бассейнов, сопряженных: А – с океаническими, В – с континентальными островными дугами, С – с активными, D – с пассивными континентальными окраинами.  $Fe_2O_3^*$  – общее железо; ж – бассейновые обстановки [Maunard et al., 1982].

Пересекающиеся линии – стандартные отклонения от средних составов современных глубоководных песков из бассейнов различных геодинамических обстановок. Аббревиатуры см. рис. 7; з – бассейновые обстановки [Roser, Korsch, 1986]; и – возможные типы геодинамических обстановок для высококремнистых пород  $DF_1$ – $DF_2$  [Verma, Armstrong-Altrin, 2013].  
Условные обозначения см. рис. 4.

ления песчаников из бассейнов различных тектонических обстановок, изученные песчаники попадают либо приближаются к полям осадочных бассейнов, сопряженных с островными дугами, развитыми на зрелой континентальной коре, а также бассейнов активных континентальных

окраин андийского типа, включающих в себя, в понимании ряда авторов [Bhatia, 1983; Maunard et al., 1982; Roser, Korsch, 1986], и окраины, осложненные сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам. На диаграмме  $K_2O/Na_2O$ – $SiO_2/Al_2O_3$  [Maunard et al., 1982] (см. рис. 8ж), раз-

деляющей тектонические обстановки самих бассейнов седиментации, песчаники, несмотря на некоторый разброс точек, ближе всего к пескам бассейнов, сопряженных с активными континентальными окраинами, которые осложнены сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам, а также к пескам бассейнов, сопряженных с окраинно-континентальными магматическими дугами. Еще более однозначно обстановки накопления отложений террейна устанавливаются на диаграмме  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$  [Roser, Korsch, 1986] (см. рис 8з), на которой большинство точек попадает в поле седиментационных бассейнов активных континентальных окраин, и лишь часть из них смещена в область бассейнов островных дуг. На появившихся в последнее время дискриминантных диаграммах  $\text{DF}_1\text{--DF}_2$  для пород с высоким содержанием кремнезема ( $\text{SiO}_2 > 63\%$ ) [Verma, Armstrong-Altrin, 2013] (см. рис. 8и), фигуративные точки меловых песчаников занимают промежуточное положение между полями островодужных и рифтогенных обстановок, которые, в свою очередь, включают в себя и обстановки, связанные с трансформными границами плит [Маслов и др., 2019; Sengör, 1995; Sengör, Natal'in, 2001].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для реконструкции геодинамической обстановки формирования меловых отложений Западно-Сахалинского террейна, а также для определения тектонических типов и состава материнских пород вероятных источников питания, были изучены песчаные породы террейна: содержание и количественное соотношение порообразующих компонентов и тяжелых обломочных минералов, химический состав некоторых из них, а также геохимические особенности пород в целом.

В результате проведенных исследований установлено, что по своим минералого-геохимическим параметрам меловые песчаники террейна соответствуют грауваккам и являются петрогенными или “first cycle” породами. Они характеризуются слабой литодинамической переработкой пород источников питания, невысокой степенью зрелости обломочного материала, образовавшегося преимущественно за счет механического разрушения материнских пород как вулканического, островодужного, так и сиалического, континентального, происхождения.

Палеогеодинамическая интерпретация результатов изучения вещественного состава песчаных пород Западно-Сахалинского террейна подтверждает сделанные ранее выводы [Голозубов, 2006; Малиновский, 2018] о том, что в альб-датское время седиментация происходила вдоль гра-

ницы континент–океан в бассейне, связанном с крупномасштабными левосторонними трансформными скольжениями плиты Изагаги относительно Евразийского континента.

В состав области питания, поставившей обломочный материал в седиментационный бассейн террейна, вероятно входило несколько различных источников. Доминирующим источником кластики была сиалическая суша, сложенная гранитно-метаморфическими и древними осадочными породами. Об этом свидетельствуют, в частности, достаточно высокое содержание кварца и кислого плагиоклаза в обломочной части песчаников, резкое преобладание минералов сиалической ассоциации среди обломочных минералов тяжелой фракции, а также химический состав обломочных гранатов. Следующим по значению, или даже равнозначным, источником кластики была зрелая глубоко расчлененная энсиалическая островная дуга. Островодужная природа этого источника устанавливается по граувакковому составу песчаников, присутствию типичных тяжелых минералов островодужной (фемической) ассоциации, химическому составу обломочных клинопироксенов, амфиболов и части хромитов, имеющему островодужные характеристики, и другим геохимическим особенностям изученных пород. Источником материала были вулканические образования дуги. Вскрытые эрозией гранитно-метаморфические породы ее фундамента служили еще одним, дополнительным, источником сиалической кластики. В целом, полученные данные позволяют предполагать, что этой дугой была раннемеловая Монероно–Самаргинская энсиалическая островная дуга, фрагменты которой установлены в хребте Сихотэ–Алинь в виде Кемского террейна [Малиновский и др., 2005]. И, наконец, еще одним, второстепенным, источником фемической кластики были фрагменты домеловых активных окраин, и в первую очередь юрско-раннемеловых аккреционных призм, прослеживающихся в виде практически непрерывной полосы вдоль восточной окраины Азии. В их строении участвовали океанические комплексы, в том числе офиолиты, об этом свидетельствует присутствие среди тяжелых минералов песчаников хромитов, магнетитов, пироксенов и амфиболов, обладающих внутриплитными характеристиками. К альбу – началу накопления отложений террейна эти комплексы были выведены эрозией на поверхность, и в дальнейшем их влияние на процессы осадконакопления в качестве источника вещества, судя по нарастанию вверх по разрезу содержания вышеуказанных минералов, и особенно хромита, заметно увеличивалось, достигнув своего максимума в кайнозойское время [Малиновский, 2021].

Таким образом, область питания для меловых отложений Западно-Сахалинского террейна бы-

ла гетерогенной. Основными источниками обломочного материала являлись гранитно-метаморфические и древние осадочные породы, слагавшие сиалическую сушу, к которым примешивались продукты разрушения раннемеловой окраинно-континентальной Монероно-Самаргинской дуги, а также магматических пород офиолитов, участвовавших в строении аккреционных призм восточной окраины Азии. Сочетание в пределах области питания таких существенно различающихся источников, как краевые части сиалической суши и ранее аккретированные к ней фрагменты островных дуг и участков океанической коры характерно для седиментации в бассейнах, формирование которых связано с обстановками трансформного скольжения литосферных плит, а песчаники с подобной кластикой являются главным ее признаком. Примерами бассейнов этого типа являются бассейны Калифорнийской окраины Америки, а также Журавлевского синдвигового террейна Центрального Сихотэ-Алиня [Малиновский, Голозубов, 2012; Christie-Blick, Biddle, 1985].

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №№ 12-05-00119 и 15-05-00857).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Под ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
- Геология, геодинамика и перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Татарского пролива / Под ред. Г.Л. Кирилловой. Владивосток: ДВО РАН, 2004. 220 с.
- Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 239 с.
- 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.
- Жаров А.Э. Геологическое строение и мел-палеогеновая геодинамика Юго-Восточного Сахалина. Южно-Сахалинск: Сахалинское областное книжное изд-во, 2004. 192 с.
- Зябрев С.В. Глубоководная терригенная седиментация в Западно-Сахалинском прогибе // Докл. АН СССР. 1987. Т. 292. № 1. С. 168–171.
- Зябрев С.В. Глубоководные отложения, палеогеография и палеотектоника Западно-Сахалинского прогиба / Автореф. дисс. ... кандидата геол.-мин. наук. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 1992. 25 с.
- 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.
- Ляхович В.В. Акцессорные минералы горных пород. М.: Недра, 1979. 296 с.
- Малиновский А.И. Вещественный состав островодужных комплексов Дальнего Востока России // Литология и полез. ископаемые. 2010. № 1. С. 28–44.
- Малиновский А.И. Геохимические особенности и геодинамические обстановки формирования меловых терригенных отложений Западно-Сахалинского террейна // Литология и полез. ископаемые. 2018. № 2. С. 58–76.
- Малиновский А.И. Палеогеодинамическая реконструкция обстановок кайнозойской седиментации Западно-Сахалинского террейна по вещественному составу терригенных пород // Литология и полез. ископаемые. 2021. № 1. С. 28–53.
- Малиновский А.И., Голозубов В.В., Симаненко В.П. и др. Кемский террейн (Восточный Сихотэ-Алинь) – фрагмент раннемеловой островодужной системы восточной окраины Азии // Тихоокеан. геология. 2005. Т. 24. № 6. С. 38–59.
- 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.
- Малиновский А.И., Голозубов В.В. Строение, состав и обстановки формирования нижнемеловых отложений Журавлевского террейна (Центральный Сихотэ-Алинь) // Литология и полез. ископаемые. 2012. № 4. С. 399–424.
- Маркевич П.В., Филиппов А.Н., Малиновский А.И. и др. Геосинклинальный литогенез на границе континент–океан. М.: Наука, 1987. 177 с.
- Маркевич П.В., Филиппов А.Н., Малиновский А.И. и др. Меловые вулканогенно-осадочные образования Нижнего Приамурья. Владивосток: Дальнаука, 1997. 300 с.
- Маркевич П.В., Коновалов В.П., Малиновский А.И., Филиппов А.Н. Нижнемеловые отложения Сихотэ-Алиня. Владивосток: Дальнаука, 2000. 300 с.
- Маслов А.В., Мизенс Г.А., Подковыров В.Н. и др. Синорогенные псаммиты: основные черты литохимии // Литология и полез. ископаемые. 2013. № 1. С. 70–96.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н., Мизенс Г.А. и др. Дискриминантные палеогеодинамические диаграммы для терригенных пород: опыт сопоставления // Геохимия. 2016. № 7. С. 579–595.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Ножкин А.Д. Синрифтовые песчаники и глинистые породы: валовый химический состав и положение на ряде дискриминантных палеогеодинамических диаграмм // Литология и полез. ископаемые. 2019. № 5. С. 439–465.
- Меланхолина Е.Н. Тектоника северо-западной Пацифики: соотношение структур океана и континентальной окраины. М.: Наука, 1988. 216 с. (Труды ГИН. Вып. 434).
- Натальин Б.А. Мезозойская аккреционная и коллизийная тектоника юга Дальнего Востока России // Тихоокеан. геология. 1991. № 5. С. 3–23.

- Опорный разрез меловых отложений Сахалина (Найбинский разрез) / Под ред. З.Н. Пояркова. Л.: Наука, 1987. 196 с.
- Парфенов Л.М. Континентальные окраины и островные дуги мезозойд Северо-Востока Азии. Новосибирск: Наука, 1984. 192 с.
- Петтиджон Ф.Дж., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники. М.: Мир, 1976. 535 с.
- Симанович И.М. Кварц песчаных пород. М.: Наука, 1978. 156 с. (Труды ГИН. Вып. 314).
- Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
- Тучкова М.И., Маркевич П.В., Крылов К.А. и др. Минералого-петрографический состав и геодинамические условия накопления меловых отложений Пенжинской губы // Литология и полез. ископаемые. 2003. № 33. С. 197–208.
- Шутов В.Д. Классификация песчаников // Литология и полез. ископаемые. 1967. № 5. С. 86–102.
- Щека С.А., Вржосек А.А. Ультраосновой вулканизм Тихоокеанского комплекса и вопросы систематики меймечитов и коматиитов // Вулканология и сейсмология. 1983. № 2. С. 3–16.
- Юдович Я.Э. Региональная геохимия осадочных толщ. Л.: Наука, 1981. 276 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
- Bhatia M.R. Plate tectonic and geochemical composition of sandstones // J. Geol. 1983. V. 91(6). P. 611–627.
- Bhatia M.R., Crook K.A.W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins // Contrib. Mineral. Petrol. 1986. V. 92. P. 181–193.
- 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 / Eds K.T. Biddle, N. Christie-Blick. 1985. V. 37. P. 1–34.
- Cullers R.L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // Chem. Geol. 2002. V. 191. P. 305–327.
- Dickinson W.R., Suczek C.A. Plate tectonics and sandstone composition // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 1979. V. 63(12). P. 2164–2182.
- Floyd P.A., Leveridge B.E. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones // J. Geol. Soc. London. 1987. V. 144. P. 531–542.
- Fournier M., Jolivet L., Huchon P. et al. Neogene strike-slip faulting in Sakhalin and the Japan Sea opening // J. Geoph. Res. 1994. V. 99. № B2. P. 2701–2725.
- Garzanti E., Ando S. Plate tectonics and heavy mineral suites of modern sands // Heavy minerals in use. Developments in sedimentology. V. 58 / Eds M.A. Mange, D.T. Wright. Amsterdam: Elsevier, 2007. P. 741–764.
- Kiminami K., Kumon F., Nishimura T., Shiki T. Chemical composition of sandstones derived from magmatic arcs // Composition and origin of clastic rocks from mobile belts (examples from the Japanese Islands) // Memoirs Geol. Soc. Japan. 1992. № 38. P. 361–372.
- 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. V. 58 / Eds M.A. Mange, D.T. Wright. Amsterdam: Elsevier, 2007. P. 789–822.
- Marsaglia K.M., Ingersoll R.V. Compositional trends in arc-related, deep-marine sand and sandstone: A reassessment of magmatic-arc provenance // Geol. Soc. Amer. Bull. 1992. V. 104. № 10. P. 1637–1649.
- Maynard J.B., Valloni R., Yu H.S. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins // Trench-forearc geology: Sedimentation and tectonics on modern and ancient active plate margins / Ed. J.K. Leggett. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1982. Part 2. P. 551–61.
- Morton A.C., Hallsworth C. Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones // Sed. Geol. 1994. V. 90(3/4). P. 241–256.
- 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 // J. African Earth Sci. 2011. V. 61(4). P. 308–330.
- Nechaev V.P. Evolution of the Philippine and Japan Seas from the clastic sediment record // Mar. Geol. 1991. V. 97(1–2). P. 167–190.
- Nechaev V.P., Isphording W.C. Heavy-mineral assemblages of continental margins as indicators of plate tectonic environments // J. Sed. Petrol. 1993. V. 63(6). P. 1110–1117.
- Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. P. 715–717.
- Nisbet E.G., Pearce J.A. Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings // Contrib. Mineral. Petrol. 1977. V. 63. P. 149–160.
- Roser B.P., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio // J. Geol. 1986. V. 94(5). P. 635–650.
- Roser B.P., Korsch R.J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data // Chem. Geol. 1988. V. 67. P. 119–139.
- Sengör A.M.C. Sedimentation and tectonics of fossil rifts // Tectonics of Sedimentary Basins / Eds C.J. Busby, R.V. Ingersoll. Oxford: Blackwell, 1995. P. 53–117.
- Sengör A.M.C., Natal'in B.A. Rifts of the world // Mantle plumes: their Identification through Time / Eds R.E. Ernst, K.L. Buchan // Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 2001. V. 352. P. 389–482.
- Teraoka Y. Detrital garnets from Paleozoic to Tertiary sandstones in Southwest Japan // Bull. Geol. Sur. of Japan. 2003. V. 54. № 5–6. P. 171–192.
- Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S. New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins // Chem. Geol. 2013. V. 355. P. 117–133.

## **Material Composition, Power Sources and Geodynamic Settings of Accumulation of Cretaceous Deposits of West Sakhalin Terrane**

**A. I. Malinovsky\***

*Far East Geological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,  
prosp. 100-letiya Vladivostoka, 159, Vladivostok, 690022 Russia*

*\*e-mail: malinovsky@fegi.ru*

The results of the study of the material composition of sandy rocks from the Cretaceous deposits of the West Sakhalin terrane are considered. Studies were carried out with the aim of reconstructing the paleogeodynamic environment of the formation of terrane deposits, as well as determining the tectonic type and composition of rocks of food sources. It has been established that according to the mineral-geochemical parameters, the terrane sandstones correspond to the graywackes, being petrogenic or rocks of the first reburial cycle ("first cycle"). They contain in the composition of the detrital part the products of destruction of both basic and ultrabasic volcanic and granite-metamorphic rocks. The deposits are characterized by a low degree of maturity of clastic material, formed mainly due to mechanical destruction of rocks of food sources, weak lithodynamic processing of the material, and high rate of its burial. Paleogeodynamic interpretation of the obtained data was carried out on the basis of their comparison with the composition of ancient rocks and modern sediments accumulated in known geodynamic situations. The results obtained indicate that in the Cretaceous, sedimentation occurred along the continent – ocean boundary in the basin associated with large-scale left-sided transform slips of the Izanagi Plate relative to the Eurasian continent. The feeding area that supplied clastic material to this basin combined sialic land, composed of granite-metamorphic and sedimentary rocks, a mature deeply dissected ensialic island arc, as well as fragments of accretion prisms of Sikhote-Alin, in the structure of which ophiolites participated.

*Keywords:* West Sakhalin terrane, Cretaceous, sandstones, material composition, power sources, geodynamic settings.