

УДК 551.2:552.5:551.77:551.242.11

ГЕОХИМИЯ И ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНО-САХАЛИНСКОГО ТЕРРЕЙНА

А.И. Малиновский

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток

Поступила в редакцию 06.02.18

Обсуждаются данные по содержанию и характеру распределения петрогенных, редких и редкоземельных элементов в песчаных и глинисто-алевритовых породах кайнозоя Западно-Сахалинского террейна. Установлено, что по геохимическим параметрам породы наиболее соответствуют грауваккам и являются петрогенными или “first cycle” породами. Палеогеодинамическая интерпретация геохимических данных свидетельствует о том, что осадконакопление происходило вдоль границы континент—океан в бассейне, связанном с крупномасштабными левосторонними трансформными скольжениями плиты Изанаги относительно Евразийского континента. Область питания объединяла древнюю сиалическую сушу, сложенную гранитно-метаморфическими и осадочными породами, и зрелую расчлененную сиалическую дугу, в которой эрозия вскрыла гранитоидные батолиты, подстилавшие вулканы.

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

Malinovsky A.I. Geochemistry and paleogeodynamic settings of Cenozoic deposits of West Sakhalin Terrane. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series. 2018. Volume 93, part 2. P. 54–70.

The paper considers the data on content and distribution pattern of petrogenic, less-common and rare-earth elements in the Cenozoic sandy and argillaceous-silt rocks of the West Sakhalin Terrane. It has been found out that by their geochemical characteristics these rocks are rather greywackes and relate to petrogenic or “first cycle” rocks. According to the paleo-geodynamic interpretation of the data, sedimentation took place along the continent-ocean boundary in a basin appeared due to the large-scale left-side transform sliding of the Izanagi Plate along the Eurasian continent. The source area combined a sialic land made up of granite-metamorphic and sedimentary rocks, and mature dissected ensialic arc in which erosion exposed granitoid batholiths underlying volcanics.

Key words: West Sakhalin terrane, Cenozoic, geochemistry, sandstones, geodynamic settings.

Одним из актуальнейших направлений литологических исследований в седиментационных бассейнах, расположенных на восточной окраине Азиатского континента, является выяснение геохимических особенностей терригенных пород. Это связано с тем, что, как установлено в последние десятилетия исследованиями ряда российских и зарубежных авторов, состав современных осадков и древних терригенных отложений в значительной степени определяется типом и породным составом областей питания, а также геодинамическими обстановками самих бассейнов седиментации (Maynard et al., 1982; Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986; Roser, Korsch, 1986; Floyd, Leveridge, 1987; Nath et al., 2000; Cullers, 2002; Дмитриева и др., 2008; Летникова, 2008; Маслов и др., 2016 и др.). В складчатых областях, где геологические исследования часто затруднены плохой обнаженностью и сложным строением, от правильной палеогеодинамической интерпретации полученных геохимических данных во многом зависит надежность всех проводимых палеореко-

струкций, достоверность построения стратиграфических схем, геологических разрезов и карт.

Несмотря на более чем столетнюю историю геологических исследований о Сахалина, с его многочисленными месторождениями угля, нефти и газа, литологическая изученность отложений и, в частности, кайнозойских, остается слабой. Проводились лишь отдельные литологические и литолого-фациальные работы, по некоторым участкам давались палеогеографические реконструкции (Мельников, Захарова, 1977; Сальников, 1985; Гладенков и др., 2002 и др.). Вещественный состав терригенных пород изучен крайне слабо. Известны лишь единичные работы по составу породообразующих компонентов, а также минералов тяжелой и глинистой фракции терригенных пород (Курносов, 1971; Захарова, 1973; Маргулис, 1979).

Результатам изучения геохимических особенностей терригенных пород кайнозоя Западного Сахалина (Западно-Сахалинского террейна), генетическая интерпретация которых позволяет достаточно уве-

ренно установить палеогеодинамическую природу бассейнов седиментации, в которых накопились эти породы, а также определить основные источники обломочного материала, посвящена данная публикация.

Геологическая позиция и особенности осадочной толщи

Западно-Сахалинский террейн является одной из главнейших тектонических структур, входящей в состав мезозойско-кайнозойского Сахалинско-Камчатского орогенного пояса. В силу своего расположения на восточной границе Евразийской плиты он имеет ключевое значение для понимания процессов геодинамической эволюции зоны перехода от Тихого океана к Азиатскому континенту (Геодинамика..., 2006).

Западно-Сахалинский террейн представляет собой узкий (шириной до 70 км) блок, вытянутый более чем на 650 км в субмеридиональном направлении вдоль восточного побережья Татарского пролива. Границами Западно-Сахалинского террейна являются Западно-Сахалинская на западе и Тымь-Поронайская на востоке системы разломов (рис. 1). Южным продолжением террейна является пояс Сорачи-Йезо на о. Хоккайдо (Fournier et al., 1994; Жаров, 2004). Террейн сложен в различной степени дислоцированными и достаточно хорошо датированными меловыми и кайнозойскими образованиями общей мощностью до 17000 м, при этом кайнозойские породы залегают на меловой толще хотя и с размывом, но без углового несогласия. Изученные кайнозойские толщи, суммарная мощность которых достигает 12000 м, сложены прибрежно-морскими и континентальными, часто угленосными терригенными, вулканогенно-осадочными и вулканогенными породами: песчаниками, алевролитами, аргиллитами, гравелитами, конгломератами, туфами, туффитами, тефроидами, базальтами, углями. Следует отметить, что кайнозойские образования, расположенные к северу и югу от широты г. Углегорска (49° с.ш.), отличаются между собой как по мощностям, так и по фациальным обстановкам осадконакопления (Гладенков и др., 2002; Геология..., 2004). Кайнозойские толщи южной части террейна имеют мощность до 12 000 м и представлены преимущественно прибрежно-морскими терригенными и вулканогенно-осадочными образованиями. Северная часть террейна характеризуется значительным сокращением мощности кайнозойских толщ (до 6000 м), накопление которых происходило как в мелководно-морских, так и в континентальных обстановках.

Кайнозойский разрез на юге террейна расчленен на девять свит, а на севере — на семь. Стратиграфическая последовательность и состав отложений рассмотрены в ряде работ (Захарова, 1973; Гладенков и др., 2002; Геология..., 2004 и др.).

В основании кайнозойского разреза в южной части террейна залегает континентальная снежинкинская свита (палеоцен — средний эоцен) с размывом, но без углового несогласия перекрывающая меловые образования. Свита сложена конгломератами, гравелитами, песчаниками, алевролитами, в верхней части содержит пласты каменного угля. Лежащая выше краснопольевская свита (средний эоцен) образована чередованием песчаников и алевролитов с прослоями гравелитов и конгломератов, накопившихся, судя по обилию устричных банок, в обстановке верхнего шельфа. Такарадайская свита (верхний эоцен) представляет собой монотонную относительно глубоководную толщу, сложенную песчаниками и глинисто-алевролитовыми породами. В основании аракайской свиты (олигоцен) залегают агломератовые и псефитовые туфы андезибазальтов, которые сменяются как по разрезу, так и по латерали туффитами, вулканомиктовыми и полимиктовыми песчаниками, алевролитами, конгломератами. Холмская свита (верхний олигоцен) образована однородными алевролитами с прослоями туффитов и туфов. Невельская свита (нижний миоцен) состоит из переслаивания вулканомиктовых песчаников, алевролитов и аргиллитов с горизонтами туфов, туффитов, лахаровых брекчий, насыщенных обломками и глыбами базальтов. Севернее, в районе г. Чехов, вулканогенно-осадочные отложения невеликой свиты частично или полностью фациально замещаются вулканическими образованиями чеховской свиты, представленными потоками базальтов, пачками агломератовых и псефитовых туфов, туффитов. Залегающая трансгрессивно на подстилающих отложениях верхнеудуйская свита (нижний миоцен) представлена континентальными угленосными отложениями: гравелитами, конгломератами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами, туффитами и пластами углей. Также с размывом на подстилающих образованиях лежит и морская курасийская свита (средний — верхний миоцен), состоящая в основном из окремненных алевролитов и аргиллитов, опок, реже прослоев песчаников и диатомитов. Маруямская свита (верхний миоцен — плиоцен) сложена песчаниками, алевролитами, гравелитами и конгломератами. Многочисленные устричные банки указывают на мелководно-морские обстановки осадконакопления.

Кайнозойские образования северной части террейна характеризуются значительным сокращением суммарных мощностей палеогеновых и неогеновых стратиграфических последовательностей. Залегающая в основании кайнозойского разреза каменская свита (палеоцен), с размывом, но без углового несогласия перекрывающая меловые отложения, представлена континентальными грубообломочными породами — конгломератами, гравелитами, грубозернистыми песчаниками, в верхней ее части появляются линзы и прослои алевролитов и углей. Вышележащая, также континентальная нижнеудуйская свита (эоцен) состоит из переслаивания

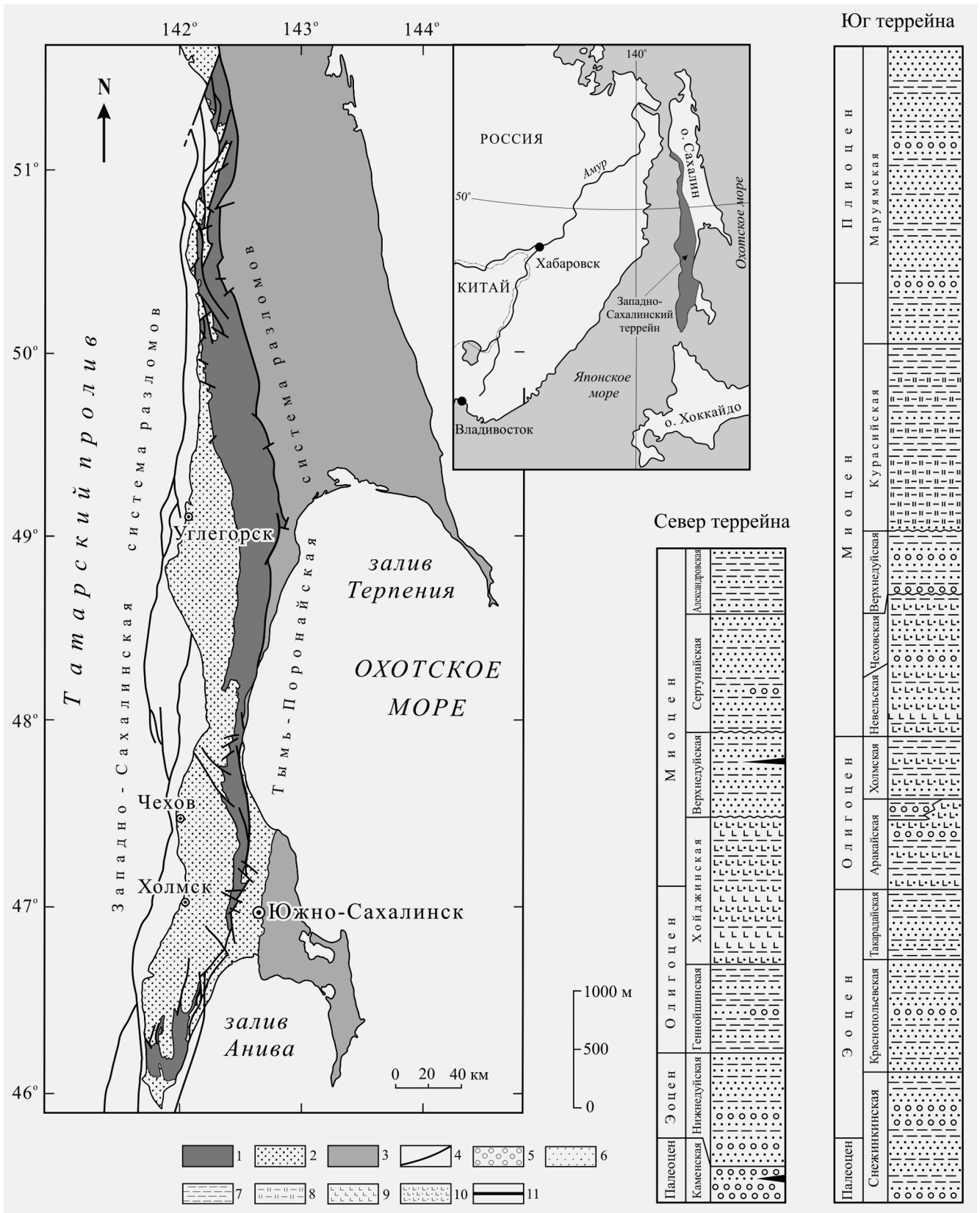


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Западно-Сахалинского террейна и литолого-стратиграфические колонки кайнозойских отложений его южной и северной частей: 1 – меловые терригенные образования; 2 – палеоцен–плиоценовые терригенные и вулканогенные образования; 3 – террейны и перекрывающие комплексы Восточного Сахалина; 4 – разломы; 5 – конгломераты и гравелиты; 6 – песчаники; 7 – алевролиты и аргиллиты; 8 – опoki, кремнисто-глинистые породы; 9 – базальты; 10 – туфы и туффиты; 11 – угли

песчаников, алевролитов, аргиллитов, реже гравелитов и конгломератов. В нижней части разреза содержатся многочисленные пласты бурого угля. В районе г. Александровск-Сахалинский мощность нижнедуйской свиты сокращается, она вся становится угленосной, пласты угля достигают большой мощности. Формирование геннойшинской свиты (олигоцен) происходило в обстановке относительно глубоководного морского бассейна. Эта свита сложена алевролитами и аргиллитами с редкими прослоями песчаников и линзами гравелитов. Вулканогенная хойнджинская свита (олигоцен – нижний миоцен) сменяет расположенные южнее аракайскую, холмскую и чеховскую свиты. В строении свиты участвуют потоки базальтов, пачки лавобрекчий, агломератовых и псефитовых туфов, туффигов, отмечаются редкие прослои туфогенных алевролитов и аргиллитов. Угленосная верхнедуйская свита (нижний – средний миоцен) с размывом перекрывает все более древние образования. В основании ее разреза обычны горизонты конгломератов, которые сменяются переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов, содержащих пласты и линзы угля. Мелководно-морская сертунайская свита (средний миоцен), с небольшим размывом залегающая на подстилающих образованиях, сложена чередующимися песчаниками и алевролитами. Венчает разрез северной части террейна александровская свита (верхний миоцен), представленная монотонной толщей алевролитов и аргиллитов с редкими прослоями песчаников.

Большая мощность отложений (более 12000 м), накопившихся в Западно-Сахалинском седиментационном бассейне за период от позднего палеоцена до конца плиоцена (около 58 млн лет), свидетельствует о высокой средней скорости осадконакопления, превышавшей 200 м/млн лет, при этом максимальные скорости приходятся на вторую половину раннего миоцена и до конца плиоцена, когда они составляли от 300 до 460 м/млн лет (Голозубов и др., 2016). Следует отметить заметное влияние на процессы осадконакопления, особенно на олигоцен-раннемиоценовом уровне, синседиментационного вулканизма, выразившегося в накоплении мощных горизонтов лав, лавобрекчий, туфов, теффоидов, туффигов, а также в присутствии в терригенных породах, часто в значительном количестве, примеси пирокластики.

Объекты и методы исследований

В основу проведенного исследования положен обширный оригинальный материал, полученный при изучении содержаний и характера распределения петрогенных, редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) в песчаных и глинисто-алевритовых породах кайнозоя Западно-Сахалинского террейна. Наибольшее внимание было уделено песчаным породам, поскольку они несут основную информацию о составе и типе источников питания, а

также о геодинамической природе областей седиментации (Maynard et al., 1982; Bhatia, 1983; Roser, Korsch, 1986 и др.). Как дополнительные привлекались данные по составу глинисто-алевритовых пород, к которым мы с определенной долей условности относим аргиллиты, алевроаргиллиты и алевролиты. Каменный материал был отобран из всех стратиграфических подразделений как северной, так и южной частей террейна, за исключением вулканогенных чеховской и хойнджинской свит. Отбор образцов и проб производился из естественных обнажений, расположенных вдоль берегов рек, на побережье Татарского пролива, в придорожных обнажениях и карьерах. Для аналитических исследований были отобраны образцы пород, наименее затронутых вторичными изменениями, что контролировалось петрографическими наблюдениями.

Петрографический состав пород изучался с помощью поляризационных микроскопов МИН-8 и Axioplan 2 imaging (Carl Zeiss). Содержания петрогенных элементов были определены с использованием атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500 Duo. Концентрации редких и редкоземельных элементов установлены методом плазменной спектроскопии (ICP-MS) на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500c (Agilent Techn., США). Все анализы выполнены в лабораториях аналитической химии и рентгеновских методов Аналитического центра (ЦКП) ДВГИ ДВО РАН, аналитики Е.В. Волкова, Г.А. Горбач, Е.В. Еловский, В.Н. Каминская, Е.А. Ткалина, Н.В. Хуркало.

Геохимическая характеристика терригенных пород

Поскольку геохимический состав терригенных пород во многом определяется их петрографическим составом, приведем краткое его описание. Песчаные породы во всех изученных свитах изменяются от мелко- до крупнозернистых и даже гравелистых. Степень сортированности материала средняя и плохая, гораздо реже хорошая, при этом обычно с увеличением размерности зерен она ухудшается. Песчаные зерна обычно изометричные и удлиненные, угловатые и угловато-окатанные, значительно реже окатанные. В песчаниках часто, особенно в отложениях континентального происхождения, присутствуют рассеянные мелкие бесформенные фрагменты и тонкие линзочки растительного детрита.

Все изученные песчаники террейна по составу породообразующих компонентов близки и относятся к полимиктовым. Обломочная составляющая занимает от 60 до 85% объема пород и представлена кварцем, полевыми шпатами, обломками кварцитов, эффузивных, терригенных и кремнистых пород. По соотношению основных породообразующих компонентов (Шутов, 1967) песчаники относятся, главным образом, к кварц-полевошпа-

товым и, реже, к полевошпатово-кварцевым грауваккам. Содержание обломков кварца несколько различается в породах южной (16–32%) и северной (20–38%) частей террейна. Кварц в основном монокристаллический, реже поликристаллический, зерна изометричные либо слабоудлиненные. Количество обломков полевых шпатов колеблется от 20 до 46%. Это преимущественно вытянутые, реже изометричные зерна кислых плагиоклазов (до 80–90% всех полевых шпатов), среди которых преобладают альбит и олигоклаз. В небольших количествах встречаются основные и средние плагиоклазы, а также калиевые полевые шпаты. Обломки пород составляют 25–60% и представлены кремнистыми, терригенными и эффузивными породами (содержание каждой из групп достигает 30–60% всех обломков), значительно реже встречаются обломки кислых магматических пород, кварцитов и сланцев. Помимо этого, в породах некоторых уровней разреза (аракайская, холмская, невельская свиты) часто присутствует, и иногда в значительных количествах, примесь пирокластического материала: угловатые зерна основных и средних плагиоклазов, бесформенные фрагменты эффузивов, вулканического стекла. Цемент занимает до 40% объема породы, он преимущественно поровый, реже базальный и пленочный, по составу глинистый, карбонатно-глинистый, хлоритово-глинистый. Выделяются песчаники маруямской свиты, цемент в которых карбонатный, базальный и, реже, поровый. Таким образом, можно предполагать, что главными источниками кластики были размывавшиеся древние осадочные, гранитно-метаморфические и вулканические породы. Важным фактором, практически постоянно влиявшим на седиментацию, были синхронные вулканические процессы, поставившие в осадочные бассейны значительное количество пирокластики.

В глинисто-алевритовых породах, в зависимости от их литологического типа (алевролиты, аргиллиты, алевроаргиллиты), содержание обломочного материала колеблется от 5–10 до 60–80% объема породы. Сортировка в основном средняя и хорошая, но встречаются разности с неравномерным распределением песчано-алевритового материала, образующего микроскопления. Алевритовые зерна обычно угловатые и угловато-окатанные. По составу обломочная часть близка к песчаникам, в них лишь меньше обломков пород, но несколько больше полевых шпатов и кварца. Довольно много тонкого растительного детрита и линзочек углистого вещества. Глинистая составляющая пород представлена преимущественно гидрослюдой, смешаннослойными гидрослюда-сметитовыми минералами и, в меньшей мере, смектитом и хлоритом (Курнов, 1971; Захарова, 1973).

Во всех терригенных породах, и особенно в наиболее молодых (курасийская и маруямская свиты), довольно часто встречаются остатки фораминифер и диатомовых водорослей, что в некоторой мере

влияет на геохимические особенности изученных отложений,

Для геохимической характеристики пород использованы средние значения содержаний породообразующих оксидов, редких и редкоземельных элементов, а также некоторые петрохимические коэффициенты (модули). Все данные сгруппированы в соответствии с их стратиграфическим положением и приведены в таблицах 1 и 2.

По химическому составу песчаники кайнозой Западно-Сахалинского террейна достаточно однородны. Заметны лишь несколько более высокие содержания кремнекислоты в породах его северной части: в среднем от 67,78% (александровская свита) до 75,05% (сертунайская свита). В песчаниках южной части террейна содержания SiO_2 ниже и варьируют от 67,52% (такарадайская свита) до 70,69% (холмская свита). Кроме того, для пород северной части террейна характерны относительно более высокие содержания TiO_2 (0,45–0,78% и 0,28–0,63% соответственно) и Al_2O_3 (12,37–15,07% и 8,87–13,88%), но более низкие $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (1,99–4,41% и 2,06–4,78%) и MgO (0,60–1,39% и 0,59–1,62%). Кроме того, все исследованные песчаники, как правило, характеризуются типичным для граувакк преобладанием Na_2O над K_2O , и лишь в породах сертунайской и александровской свит это соотношение часто бывает обратным.

В общем ряду изученных пород выделяются песчаники курасийской свиты, в которых среднее содержание SiO_2 достигает 75,90%, что связано с присутствием в них кремневых панцирей диатомовых водорослей, а также карбонатизированные песчаники маруямской свиты (CaO в среднем 12,93%), характеризующиеся значительно более низким содержанием SiO_2 (в среднем 59,53%), а также преобладанием K_2O над Na_2O .

На классификационной диаграмме соотношения величин $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ и $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Петтиджон и др., 1976) точки составов изученных песчаников образуют достаточно компактную группу, располагаясь преимущественно в поле граувакк, и лишь незначительная их часть (главным образом, породы сертунайской и маруямской свит) попадает в поле лититовых аренигов – разностей, промежуточных между граувакками и аркозами (рис. 2). Можно отметить несколько более «граувакковый» состав пород южной части террейна по сравнению с породами северной его части. По своим параметрам изученные песчаники ближе всего к «средним» грауваккам и грауваккам францисканской формации Калифорнии (Петтиджон, 1981).

Глинисто-алевритовые породы по химическому составу в целом близки к песчаникам (табл. 2). В связи с тем, что в породах некоторых свит, особенно в курасийской, часто присутствуют кремневые панцири диатомовых водорослей, содержание SiO_2 в них нередко выше, чем в песчаниках (в среднем по свитам: в южной части от 65,45 до 71,87%, а в курасийской – 78,70%, и от 64,18 до 70,52% – в се-

Таблица 1

Средние содержания петрогенных (мас. %), редких и редкоземельных элементов (мкг/г) в песчаных породах кайнозоя Западно-Сахалинского террейна

Компо- нент	Южная часть									Северная часть					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
n	4	4	15	21	16	12	9	3	8	6	10	7	14	7	4
SiO ₂	68,92	69,08	67,52	69,36	70,69	69,38	70,02	75,90	59,53	70,03	72,20	69,86	74,17	75,05	67,78
TiO ₂	0,57	0,60	0,63	0,59	0,54	0,54	0,59	0,45	0,28	0,64	0,62	0,53	0,78	0,45	0,75
Al ₂ O ₃	13,75	13,60	13,88	13,65	12,95	13,46	13,52	11,93	8,87	13,27	13,62	12,90	12,37	12,54	15,07
Fe ₂ O ₃	2,76	1,8	3,06	2,25	1,85	1,86	2,2	1,20	0,97	1,87	1,47	2,27	0,85	0,87	1,71
FeO	1,93	2,23	1,71	1,62	1,04	1,07	1,23	0,86	1,227	2,55	1,27	1,53	1,36	1,12	1,75
MnO	0,05	0,07	0,07	0,06	0,08	0,06	0,04	0,01	0,07	0,06	0,06	0,04	0,04	0,02	0,03
MgO	1,58	1,58	1,62	1,35	1,02	0,91	1,01	0,59	0,45	1,39	0,86	1,16	0,70	0,60	1,08
CaO	1,24	0,97	1,46	1,51	2,50	2,80	2,00	0,51	12,93	1,28	0,74	1,95	1,54	0,82	0,65
Na ₂ O	3,17	2,69	2,77	2,75	2,34	2,68	2,29	1,85	1,72	2,39	1,95	2,44	1,88	2,39	1,93
K ₂ O	2,70	2,35	2,54	2,40	2,07	2,55	2,02	1,28	2,69	2,22	1,89	2,30	1,33	3,12	3,18
P ₂ O ₅	0,12	0,09	0,13	0,11	0,08	0,15	0,07	0,05	0,06	0,14	0,18	0,12	0,08	0,08	0,09
п.п.п.	2,67	3,41	3,18	3,09	3,48	2,77	3,53	4,11	10,29	3,53	4,47	4,03	4,36	2,55	4,57
H ₂ O	0,45	1,17	1,17	1,08	1,12	1,36	1,26	1,10	0,67	0,63	0,65	0,64	0,52	0,52	1,22
Сумма	99,92	99,65	99,74	99,83	99,78	99,59	99,79	99,84	99,75	99,97	99,97	99,78	100,00	100,17	99,81
ГМ	0,28	0,26	0,29	0,26	0,23	0,25	0,25	0,19	0,19	0,26	0,24	0,25	0,21	0,20	0,29
ТМ	0,042	0,044	0,045	0,043	0,042	0,041	0,045	0,038	0,031	0,049	0,045	0,041	0,061	0,036	0,050
ФМ	0,09	0,08	0,10	0,08	0,06	0,06	0,07	0,04	0,05	0,08	0,05	0,07	0,05	0,04	0,07
НКМ	0,38	0,37	0,38	0,38	0,34	0,39	0,32	0,26	0,50	0,35	0,28	0,37	0,26	0,44	0,34
Be	1,32	1,30	1,25	1,00	0,93	1,00	1,01	0,96	1,16	1,17	0,97	1,17	0,80	1,04	1,76
Rb	74,41	77,52	69,44	62,72	51,55	49,41	58,67	53,28	62,55	57,13	57,17	68,39	39,04	81,53	95,37
Cs	1,95	3,92	3,38	3,03	2,56	2,07	2,71	3,38	0,73	2,05	2,53	2,94	1,74	1,97	3,26
Sr	186,20	176,77	199,11	213,72	242,27	278,78	243,96	107,60	236,45	175,22	147,22	151,60	134,83	198,52	180,80
Ba	494,64	460,80	491,41	462,13	466,18	525,90	487,79	435,35	518,27	433,27	407,94	379,13	333,17	665,76	577,71
Zr	143,20	192,00	145,45	160,70	145,81	169,64	243,17	146,70	172,77	161,74	215,92	162,64	230,35	165,82	294,00
Nb	5,70	6,73	6,57	6,37	5,31	5,62	6,18	4,29	3,79	6,74	7,83	7,69	7,60	6,47	12,68
Y	18,02	13,63	17,21	14,78	14,77	37,06	18,12	8,02	18,28	16,58	15,22	17,63	16,70	13,54	20,95
Sc	12,60	12,77	14,04	13,23	13,06	13,58	12,41	9,10	4,82	13,07	10,50	9,62	10,22	6,98	11,16
V	113,15	94,97	104,16	88,15	87,95	66,83	67,91	55,65	25,21	112,40	81,49	88,21	74,65	49,86	75,61
Cr	86,20	119,67	113,68	85,32	83,43	62,65	107,14	78,95	31,68	98,98	66,42	80,51	174,09	35,71	56,69

Компонент	Южная часть									Северная часть					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
n	4	4	15	21	16	12	9	3	8	6	10	7	14	7	4
Co	16,15	8,35	13,73	8,87	7,63	6,67	7,86	2,54	4,47	13,91	9,79	8,91	9,14	5,42	8,67
Ni	32,08	28,77	41,32	27,88	18,71	14,42	15,00	7,98	23,66	29,88	17,33	21,87	18,90	10,09	20,30
Cu	39,57	35,60	27,62	31,43	29,48	26,12	26,68	29,55	15,18	33,26	23,08	25,29	20,63	19,71	28,85
Zn	73,96	67,83	85,25	67,38	61,39	59,11	51,78	39,60	33,26	66,70	63,16	67,73	55,81	39,45	81,63
Ga	14,56	13,70	14,20	12,59	13,03	12,73	12,49	8,09	9,08	15,63	14,72	15,04	13,29	13,41	20,01
Mo	1,41	0,80	0,94	1,04	2,32	1,45	0,78	5,57	0,97	2,12	1,27	2,14	1,80	0,60	1,41
Cd	0,14	0,13	0,14	0,16	0,21	0,15	0,19	0,13	0,48	0,21	0,18	0,12	0,16	0,15	0,33
Sn	2,84	2,26	1,34	1,65	2,25	3,59	2,31	1,06	4,05	1,92	1,48	1,84	1,58	1,12	3,22
La	22,04	18,13	22,30	17,65	14,58	21,62	16,48	9,13	25,92	20,03	20,56	23,07	19,00	20,82	31,15
Ce	46,18	37,83	45,92	35,29	30,72	42,90	33,36	18,15	53,73	43,05	42,62	49,22	39,37	42,65	67,20
Pr	5,43	4,25	5,42	4,26	3,73	5,34	4,10	2,03	6,11	5,02	4,88	5,52	4,68	4,90	7,48
Nd	21,72	17,43	21,50	17,15	14,91	21,90	16,55	7,78	23,33	19,93	18,45	21,32	17,97	17,37	28,96
Sm	4,30	3,19	4,33	3,56	3,15	4,79	3,44	1,58	4,67	4,20	3,51	4,25	3,72	3,44	5,60
Eu	1,03	0,80	1,08	0,89	0,84	1,29	0,96	0,42	1,07	1,04	0,93	1,02	1,02	0,92	1,14
Gd	4,58	2,97	4,19	3,44	3,11	5,57	3,42	1,43	4,29	3,85	3,31	3,96	3,59	3,11	5,00
Tb	0,56	0,41	0,58	0,48	0,45	0,86	0,52	0,22	0,62	0,58	0,51	0,61	0,56	0,46	0,76
Dy	4,08	2,55	3,63	2,96	3,04	5,72	3,42	1,17	3,49	3,14	2,74	3,34	3,22	2,65	4,20
Ho	0,75	0,49	0,65	0,57	0,58	1,29	0,66	0,27	0,70	0,64	0,61	0,73	0,70	0,59	0,88
Er	1,83	1,72	1,96	1,75	1,89	3,99	2,04	0,95	1,85	1,90	1,71	1,90	1,96	1,64	2,64
Tm	0,31	0,23	0,28	0,26	0,27	0,61	0,31	0,15	0,27	0,28	0,27	0,28	0,28	0,23	0,39
Yb	2,13	1,61	1,95	1,76	1,85	4,12	2,23	0,98	1,63	2,06	1,84	2,15	2,02	1,63	2,74
Lu	0,34	0,24	0,27	0,27	0,28	0,64	0,33	0,14	0,24	0,30	0,28	0,31	0,32	0,27	0,39
Hf	3,64	3,98	3,40	3,98	3,61	4,28	5,23	2,69	4,10	4,44	5,67	4,49	6,19	4,35	7,56
Ta	0,38	0,49	0,51	0,52	0,40	0,41	0,50	0,35	0,23	0,49	0,56	0,57	0,56	0,53	0,93
W	3,05	1,42	2,01	1,91	1,90	1,98	1,27	1,03	1,08	3,21	3,14	3,44	2,65	1,42	2,80
Pb	23,76	13,23	17,24	15,91	14,23	18,35	14,25	8,40	15,13	16,13	17,62	21,69	13,57	18,75	27,24
Th	7,37	5,48	6,26	6,41	5,90	6,52	5,68	3,40	5,27	7,47	7,35	9,38	6,48	6,91	14,69
U	1,90	1,68	1,89	1,71	1,94	1,55	1,45	2,88	1,38	1,99	1,95	2,39	2,06	1,74	3,77
Eu/Eu*	0,69	0,77	0,76	0,76	0,80	0,75	0,83	0,82	0,71	0,77	0,81	0,74	0,83	0,83	0,64
[La/Yb] _n	10,33	11,26	11,44	10,04	7,88	5,25	7,38	9,34	15,86	9,71	11,20	10,74	9,39	12,76	11,37

Примечание: n – количество анализов. Свиты: 1–7 – южная часть террейна: 1 – снежинкинская, 2 – краснопольевская, 3 – такарадайская, 4 – аракайская, 5 – холмская, 6 – невелинская, 7 – верхнедуйская; 8 – курасийская, 9 – маруямская; 10–15 – северная часть террейна: 10 – каменская, 11 – нижнедуйская, 12 – генойшинская, 13 – верхнедуйская, 14 – сертунайская, 15 – александровская.

Таблица 2

Средние содержания петрогенных (мас.%), редких и редкоземельных элементов (мкг/г) в глинисто-алевритовых породах кайнозоя Западно-Сахалинского террейна

Компонент	Южная часть									Северная часть					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
n	4	3	4	12	21	8	8	16	3	3	7	11	8	4	3
SiO ₂	65,45	68,78	70,18	67,76	71,87	70,31	70,24	78,7	67,72	64,18	67,27	70,52	70,07	68,77	63,29
TiO ₂	0,69	0,67	0,69	0,64	0,53	0,54	0,61	0,37	0,60	0,97	0,78	0,63	0,73	0,68	0,85
Al ₂ O ₃	14,04	13,25	12,39	13,83	11,54	11,56	13,72	8,39	13,12	16,52	15,82	12,79	14,85	14,77	16,65
Fe ₂ O ₃	2,38	2,61	1,99	2,78	2,10	2,39	1,42	1,25	2,03	2,45	1,83	2,08	1,39	1,80	3,04
FeO	2,34	1,67	2,37	1,62	1,22	1,32	1,36	0,75	1,49	3,05	2,20	2,25	1,66	1,67	1,72
MnO	0,06	0,04	0,08	0,04	0,03	0,04	0,05	0,01	0,02	0,08	0,05	0,03	0,02	0,03	0,03
MgO	2,11	1,62	1,88	1,52	1,29	1,29	1,26	0,62	0,97	2,13	1,29	1,41	0,97	1,20	1,27
CaO	1,73	0,94	2,15	1,24	1,27	1,47	1,32	0,43	1,20	0,78	0,47	0,48	0,37	0,58	0,50
Na ₂ O	1,84	1,56	2,15	2,55	1,57	1,65	1,78	1,07	1,97	2,39	1,87	1,65	1,10	1,93	1,62
K ₂ O	2,51	2,10	1,94	2,52	2,17	2,01	2,37	1,51	3,16	2,54	2,63	2,27	2,26	3,24	2,81
P ₂ O ₅	0,17	0,09	0,11	0,12	0,08	0,08	0,10	0,05	0,07	0,15	0,15	0,13	0,08	0,07	0,21
п.п.п.	5,39	4,18	4,21	3,65	4,43	4,74	4,44	4,26	4,62	4,12	4,87	4,73	5,53	4,65	6,68
H ₂ O	1,15	2,42	1,07	1,58	1,91	2,36	1,29	2,24	3,03	0,96	0,86	0,96	0,94	0,85	1,53
Сумма	99,82	99,89	101,22	99,85	100,01	99,75	99,96	99,65	99,98	100,33	100,1	100,19	99,96	100,24	100,2
ГМ	0,30	0,27	0,25	0,28	0,22	0,23	0,25	0,14	0,30	0,36	0,31	0,26	0,27	0,28	0,35
ТМ	0,049	0,050	0,056	0,046	0,046	0,047	0,044	0,044	0,049	0,058	0,049	0,049	0,049	0,046	0,051
ФМ	0,11	0,09	0,09	0,09	0,07	0,07	0,06	0,03	0,07	0,12	0,08	0,08	0,06	0,07	0,10
НКМ	0,31	0,27	0,33	0,36	0,33	0,32	0,31	0,32	0,39	0,30	0,29	0,31	0,23	0,35	0,27
Be	1,52	1,39	1,18	1,17	1,07	0,86	0,82	0,88	1,68	1,56	1,41	1,36	1,13	1,62	1,84
Rb	71,77	72,36	69,44	68,33	56,54	52,59	74,87	49,75	96,43	75,67	84,02	78,51	75,92	116,60	110,18
Cs	2,18	3,44	3,10	4,53	2,80	3,73	3,42	2,35	3,45	4,48	5,39	4,22	4,15	5,35	4,52
Sr	182,20	212,00	122,92	190,73	170,21	154,28	194,53	105,83	158,00	169,17	140,70	97,48	115,82	169,89	151,60
Ba	410,91	426,60	376,10	414,55	422,21	355,72	394,67	325,16	548,40	482,42	486,38	310,90	365,40	531,08	531,46
Zr	209,87	183,00	135,51	159,05	114,92	123,76	165,36	95,01	420,70	203,98	186,07	147,95	163,28	279,78	257,66
Nb	7,12	6,58	8,84	6,77	4,22	4,95	8,10	5,19	8,56	9,73	9,46	8,97	9,40	15,38	16,27
Y	18,22	17,50	18,59	15,10	15,68	17,70	19,53	11,69	13,38	22,27	20,99	20,72	19,61	25,32	22,00
Sc	12,03	12,20	13,54	14,17	12,85	14,89	12,18	8,76	10,20	20,50	15,28	12,28	14,76	11,40	14,26
V	85,58	94,50	101,37	101,04	85,70	98,20	90,68	55,46	66,12	163,81	116,37	108,82	114,30	89,03	92,99
Cr	86,71	142,00	105,28	75,37	63,08	38,24	66,42	58,24	72,69	140,95	76,88	82,18	69,92	60,40	69,01
Co	9,10	11,70	10,72	9,17	5,72	7,62	7,36	3,78	3,86	18,04	13,16	7,75	10,24	9,03	8,17

Компонент	Южная часть									Северная часть					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
n	4	3	4	12	21	8	8	16	3	3	7	11	8	4	3
Ni	25,95	34,70	47,05	27,91	18,21	16,60	21,08	16,76	14,89	45,03	31,93	27,49	36,81	16,70	20,82
Cu	30,55	30,30	57,94	37,17	31,09	35,51	42,91	37,02	40,64	55,00	34,34	29,01	29,55	26,49	22,00
Zn	74,98	68,10	93,10	72,87	71,05	76,46	73,37	54,60	45,47	88,78	82,13	84,15	90,01	80,70	82,45
Ga	14,29	12,50	12,46	14,31	11,79	12,01	13,51	8,74	14,47	19,39	19,08	16,13	17,47	20,28	22,06
Mo	1,42	0,65	1,25	1,25	1,98	0,95	0,87	3,16	4,04	2,44	1,26	2,59	1,35	0,07	1,95
Cd	0,16	0,17	0,26	0,18	0,22	0,21	0,17	0,30	0,31	0,32	0,22	0,31	0,17	0,05	0,14
Sn	2,27	1,69	2,75	1,97	4,16	2,62	2,35	1,73	3,19	1,70	2,23	1,79	2,22	2,22	2,75
La	21,95	21,20	20,20	17,57	14,10	13,57	19,76	11,85	21,80	24,22	26,80	24,42	23,58	35,45	33,41
Ce	44,93	45,30	43,86	36,45	29,70	30,84	41,90	24,74	45,05	52,53	56,93	53,05	51,38	72,51	68,82
Pr	5,31	5,12	5,22	4,42	3,80	3,69	5,26	2,93	5,06	6,17	6,43	6,10	5,77	8,09	8,04
Nd	20,28	20,10	20,53	17,28	15,04	15,25	21,04	11,68	21,54	24,47	24,42	23,27	21,89	31,43	28,92
Sm	3,88	4,19	4,25	3,74	3,37	3,39	4,38	2,31	4,21	5,23	5,02	4,79	4,52	5,43	5,76
Eu	0,93	1,03	1,02	0,85	0,76	0,82	0,98	0,51	0,60	1,23	1,12	1,05	0,98	1,19	1,29
Gd	3,94	4,12	4,02	3,47	3,62	3,71	4,30	2,22	3,11	4,88	4,58	4,49	4,34	5,19	5,14
Tb	0,56	0,52	0,60	0,52	0,51	0,54	0,62	0,33	0,46	0,71	0,68	0,67	0,62	0,86	0,82
Dy	3,62	3,20	3,58	3,12	3,39	3,63	3,77	2,15	2,58	4,17	4,01	3,87	3,86	4,12	4,42
Ho	0,72	0,58	0,72	0,61	0,65	0,73	0,73	0,43	0,47	0,92	0,85	0,85	0,82	0,99	0,96
Er	2,11	1,79	1,98	1,82	1,91	2,24	2,37	1,34	1,91	2,68	2,50	2,40	2,43	2,74	2,76
Tm	0,31	0,25	0,29	0,27	0,28	0,33	0,31	0,21	0,30	0,38	0,37	0,35	0,37	0,43	0,40
Yb	2,02	1,70	2,08	1,96	1,91	2,21	2,29	1,36	2,20	2,87	2,54	2,43	2,60	2,52	3,02
Lu	0,33	0,27	0,28	0,28	0,29	0,33	0,34	0,20	0,31	0,46	0,39	0,34	0,39	0,41	0,45
Hf	4,79	4,04	3,78	3,72	2,99	3,14	5,10	2,44	10,02	5,47	5,28	4,17	4,77	7,41	7,36
Ta	0,62	0,48	0,60	0,55	0,37	0,36	0,54	0,38	0,62	0,70	0,68	0,66	0,73	1,08	1,29
W	2,66	1,03	1,66	2,14	1,81	1,08	1,54	1,12	2,81	3,16	3,71	2,85	2,07	2,59	5,08
Pb	19,78	12,60	14,86	17,02	13,14	17,27	18,42	13,86	20,36	17,06	18,93	18,30	22,20	23,43	27,76
Th	7,99	5,76	7,27	6,96	5,63	5,97	8,61	5,59	11,94	8,59	10,41	10,80	11,85	12,97	15,16
U	2,41	1,45	1,91	2,11	2,09	1,59	2,08	3,12	4,07	2,07	2,65	2,90	3,19	3,79	2,93
Eu/Eu*	0,71	0,74	0,73	0,70	0,65	0,69	0,67	0,68	0,48	0,72	0,69	0,67	0,66	0,67	0,70
[La/Yb]n	10,86	12,47	9,69	8,95	7,40	6,13	8,63	8,70	9,92	8,43	10,53	10,07	9,06	14,06	11,07

Примечание: n – количество анализов. Свиты: 1–7 – южная часть террейна: 1 – снежинкинская, 2 – краснопольевская, 3 – такарадайская, 4 – аракайская, 5 – холмская, 6 – неveltская, 7 – верхнедуйская; 8 – курасийская, 9 – маруямская; 10–15 – северная часть террейна: 10 – каменская, 11 – нижнедуйская, 12 – генойшинская, 13 – верхнедуйская, 14 – сертунайская, 15 – александровская.

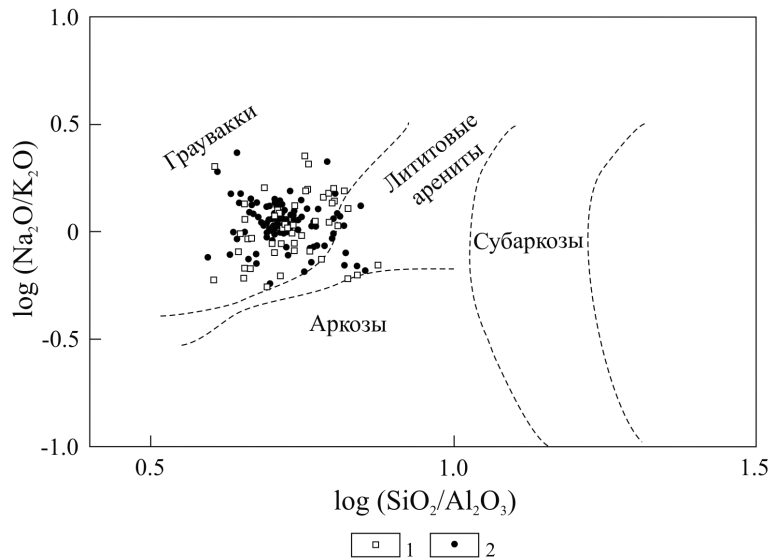


Рис. 2. Классификационная диаграмма $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}) - \log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ (Петтиджон и др., 1976) для песчаных пород кайнозоя Западно-Сахалинского террейна (частные значения): 1 – северная часть террейна; 2 – южная часть террейна

верной). Для этих пород характерны повышенные содержания TiO_2 (0,63–0,97% для севера террейна и 0,37–0,69% – для юга), Al_2O_3 (12,78–16,65% и 8,39–14,04% соответственно), $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (3,05–5,50% и 2,00–4,72%), MgO (0,97–2,12% и 0,62–2,11%) и K_2O (2,54–3,24% и 1,51–3,16%). Но содержания CaO (0,37–0,78% и 0,43–1,73%) и Na_2O (1,10–2,39% и 1,07–2,15%) в этих породах пониженные. При этом в глинисто-алевритовых породах K_2O , как правило, преобладает над Na_2O .

Использование известных литохимических модулей и модульных диаграмм (Юдович, Кетрис, 2000) позволяет достаточно объективно судить об интенсивности процессов выветривания материнских пород в областях сноса, о петрогенной либо литогенной природе осадков, а также более корректно осуществлять палеореконструкцию условий и обстановок осадконакопления (Дмитриева и др., 2008; Летникова и др., 2011; Малиновский, 2010; Маслов и др., 2016 и др.) (табл. 1 и 2, рис. 3).

По величине гидролизатного модуля ($\text{ГМ} = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}) / \text{SiO}_2$) кайнозойские песчаники обеих частей Западно-Сахалинского террейна близки между собой и характеризуются относительно невысокими его значениями (в среднем по всем свитам от 0,19 до 0,29), что свидетельствует о невысоком уровне зрелости этих песчаников и образовании их за счет накопления преимущественно продуктов механического разрушения материнских пород при подчиненной роли химического выветривания. В глинисто-алевритовых породах значения ГМ , как правило, выше, чем в песчаниках (0,22–0,36), что связано с большим содержанием в них глинистого вещества, и лишь в глинисто-алевритовых породах курасийской свиты оно меньше (0,14), что объясняется насыщенностью пород кремневыми остатками диатомей.

По величине фемического модуля ($\text{ФМ} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO}) / \text{SiO}_2$), отражающего интенсивность и скорость выветривания и захоронения вещества, а следовательно, позволяющего различать граувакки и аркозы (Петтиджон, 1981), рассматриваемые песчаники в целом соответствуют грауваккам (0,05–0,10), и только породы курасийской, маруямской и сертунайской свит занимают промежуточное положение между граувакками и аркозами (0,04–0,05). Глинисто-алевритовым породам, по сравнению с песчаными, обычно присущи более высокие значения фемического модуля (Юдович, Кетрис, 2000). Для пород кайнозоя Западно-Сахалинского террейна это правило хорошо подтверждается (0,06–0,12), и лишь в породах курасийской свиты по уже упомянутым причинам оно ниже (0,03).

По величине титанового модуля ($\text{ТМ} = \text{TiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$) кайнозойские песчаники обеих частей террейна близки и характеризуются относительно невысокими его значениями (0,036–0,061 для северной части и 0,031–0,045 для южной). Объяснением этому может служить образование обломочного материала как за счет разрушения островодужных вулканитов низкотитанистых (но высокоглиноземистых) серий, так и кислых изверженных пород, в свою очередь, имеющих низкие значения ТМ (Малиновский и др., 2010). Глинисто-алевритовые породы террейна имеют повышенную (0,044–0,058), по сравнению с песчаниками, титанистость, что позволяет рассматривать их как петрогенные, при формировании которых не происходит какой-либо существенной динамической дифференциации обломочного материала (Юдович, Кетрис, 2000).

Модуль нормированной щелочности ($\text{НКМ} = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3$) позволяет распознавать в осадочных породах примесь вулканического ма-

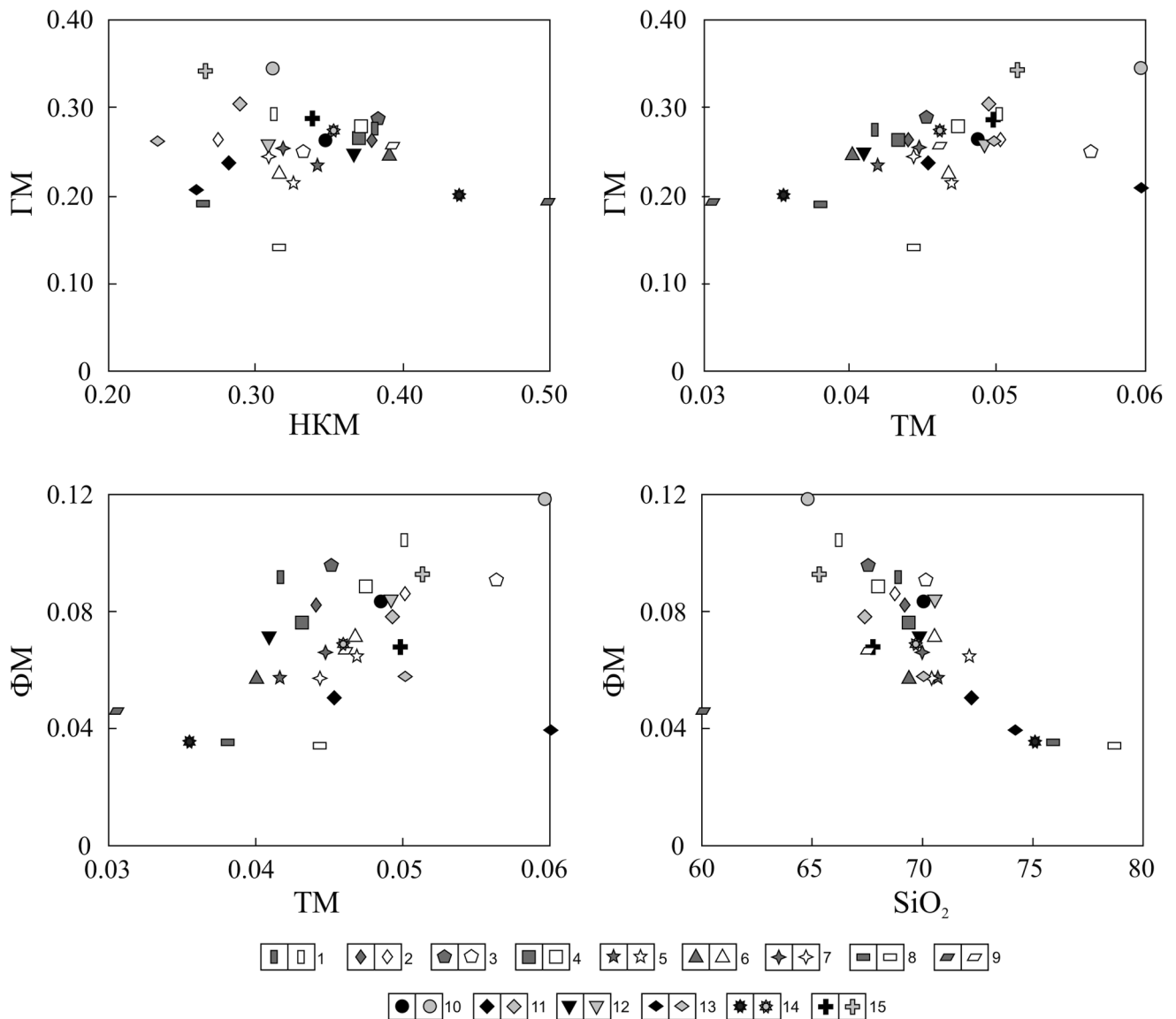


Рис. 3. Модульные диаграммы для песчаных и глинисто-алевритовых пород кайнозоя Западно-Сахалинского террейна (здесь и далее – средние значения по свитам), по (Юдович, Кетрис, 2000): 1–15 – свиты: 1–4 – южная часть террейна: 1 – снежинкинская, 2 – краснопольевская, 3 – такарадайская, 4 – аракайская; 5 – холмская, 6 – невелинская, 7 – верхнедуйская, 8 – курасийская, 9 – маруямская; 10–15 – северная часть террейна: 10 – каменная, 11 – нижнедуйская, 12 – генойшинская, 13 – верхнедуйская, 14 – сертунайская, 15 – александровская. Слева – песчаные, справа – глинисто-алевритовые породы

териала (Юдович, Кетрис, 2000). По этому модулю все изученные песчаники близки и обладают характерными для типичных граувакк его величинами (0,26–0,44). При этом лишь в породах маруямской свиты он достигает 0,50. Несколько повышенные значения НКМ связаны, вероятно, с присутствием в обломочной части песчаников помимо вулканомиктового материала терригенной сиалической кластики. В глинисто-алевритовых породах значение НКМ ниже, чем в песчаниках (в среднем 0,23–0,39). Это объясняется меньшим содержанием в них полевых шпатов и, соответственно, большим количеством глинистой составляющей.

На модульных диаграммах ГМ-НКМ, ГМ-ТМ, ФМ-ТМ и ФМ-SiO₂ (Юдович, Кетрис, 2000) (рис. 3) фигуративные точки песчаных и глинисто-алевритовых пород образуют поля, во многом пере-

крывающие друг друга. Различия же внутри этих гранулометрических типов пород для северной и южной частей террейна еще менее очевидны. На всех диаграммах заметно выделяются, как уже было отмечено выше, породы курасийской свиты, характеризующиеся наиболее высоким содержанием кремнезема, но при этом пониженными значениями всех модулей (за исключением ТМ), и маруямской свиты, у которой, наоборот, содержание SiO₂ самое низкое, но при этом и значения всех модулей также невелики. Наблюдающаяся на диаграммах положительная корреляция между парами ГМ-ТМ и ФМ-ТМ, отрицательная между ФМ-SiO₂, а также отсутствие корреляции между ГМ-НКМ свидетельствуют о принадлежности изученных пород к петрогенным, т.е. прошедшим один цикл седиментации терригенным породам.

По содержанию и характеру распределения редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) кайнозойские песчаники южной и северной частей Западно-Сахалинского террейна достаточно однотипны (табл. 1). Суммарные содержания РЗЭ в них относительно невелики и варьируют в среднем по свитам на юге террейна от 79 до 127 мкг/г, а на севере – от 98 до 158 мкг/г. Лишь курасийская свита южной части террейна резко выделяется пониженными концентрациями всех элементов (в сумме 44 мкг/г). Спектры распределения РЗЭ, нормализованные к составу хондрита (Boynnton, 1985) (рис. 4, А, Б), в песчаниках почти всех свит близки. Эти спектры характеризуются нормальными трендами распределения с умеренной степенью фракционирования и относительно невысоким отношением легких лантаноидов к тяжелым ($La_N/Yb_N = 5,25 - 11,44$) в южной части террейна и несколько повышенным ($La_N/Yb_N = 9,39 - 12,76$) – в северной. При этом наиболее высоко это отношение в породах маруямской свиты юга террейна ($La_N/Yb_N = 15,86$). Кроме того, спектры распределения характеризуются достаточно отчетливо выраженной отрицательной европиевой аномалией ($Eu/Eu^* = 0,69 - 0,83$ на юге и $0,64 - 0,83$ на севере). По сравнению с «постархейским средним глинистым сланцем» (РААС), принятым за средний состав верхней континентальной коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988), все песча-

ники незначительно обеднены как легкими, так и тяжелыми элементами (в 1,1–3,0 раза). Только в песчаниках курасийской свиты их концентрации значительно ниже, а в песчаниках невеличской свиты тяжелые лантаноиды находятся в незначительно повышенных концентрациях.

Суммарные концентрации РЗЭ в глинисто-алевритовых породах южной и северной частей террейна несколько различаются: на юге их меньше, чем в песчаниках (79–111 мкг/г, а в курасийской свите 62 мкг/г), а на севере – больше (124–171 мкг/г). Вместе с тем общий характер их распределения в целом аналогичен таковому в песчаниках ($La_N/Yb_N = 6,13-12,47$ и $8,43-14,06$, $Eu/Eu^* = 0,48-0,74$ и $0,66-0,72$ соответственно, для южной и северной частей террейна) (рис. 4, В, Г). По сравнению с РААС, в глинисто-алевритовых породах содержания большинства РЗЭ ниже (от 1,1 до 4,9 раза), и лишь в породах этого типа из верхнедуйской, сертунайской и александровской свит северной части террейна ряд элементов находится в равных с ним либо незначительно превышающих концентрациях.

Диапазоны содержания и характер распределения редких элементов в песчаных и глинисто-алевритовых породах террейна показаны в табл. 1 и 2 и на спайдер-диаграммах (рис. 5). Песчаники обеих частей террейна характеризуются пониженными относительно РААС (Тейлор, Мак-Леннан,

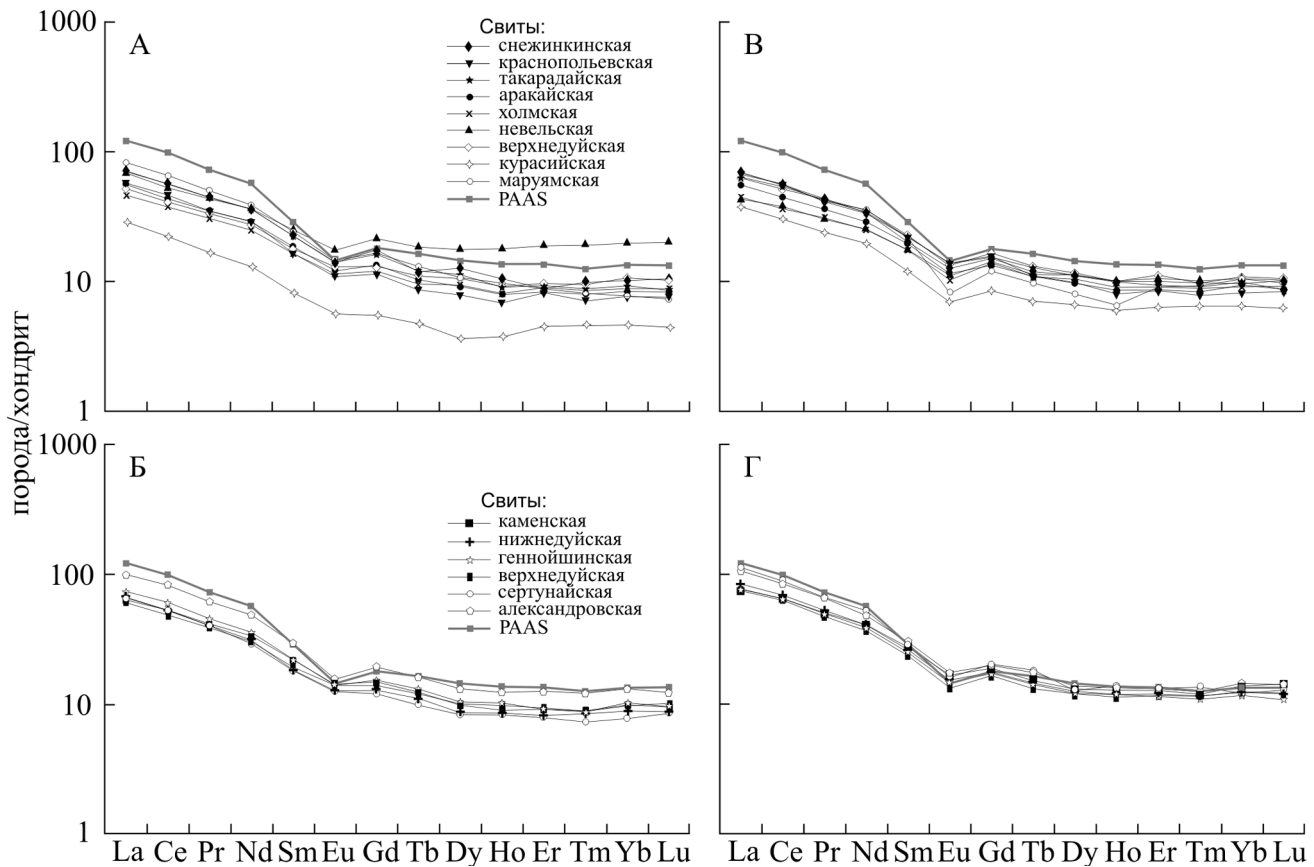


Рис. 4. Распределение РЗЭ, нормированных по хондриту (Boynnton, 1985) в песчаных (А, Б) и глинисто-алевритовых (В, Г) породах кайнозоя Западно-Сахалинского террейна и сопоставление их с РААС (постархейский средний глинистый сланец) (Тейлор, Мак-Леннан, 1988). А, В – северная, Б, Г – южная части террейна

1988) содержаниями большинства элементов (наиболее резко снижено количество Rb, Cs, Nb, Y, Sc, V, Co, Th – в песчаниках некоторых свит до 3–9 раз, а Sc в марьямской свите – более чем в 20 раз) и лишь в отдельных случаях близкими или незначительно повышенными концентрациями Sr, Zr, Y, Cr, Zn, Hf, Pb, Th и U (не более чем в 1,5 раза). Глинисто-алевритовые породы террейна, особенно северной его части, по содержанию редких элементов более близки к PAAS, хотя и они, по большей части, обеднены большинством элементов (в 3–4 раза, а Cs и Co в породах северной части – до 7 раз). Вместе с тем в тонкозернистых породах шире спектр редких элементов, содержания которых близки либо превышают PAAS (максимально у Zr и Hf до 2 раз).

Палеогеодинамическая интерпретация

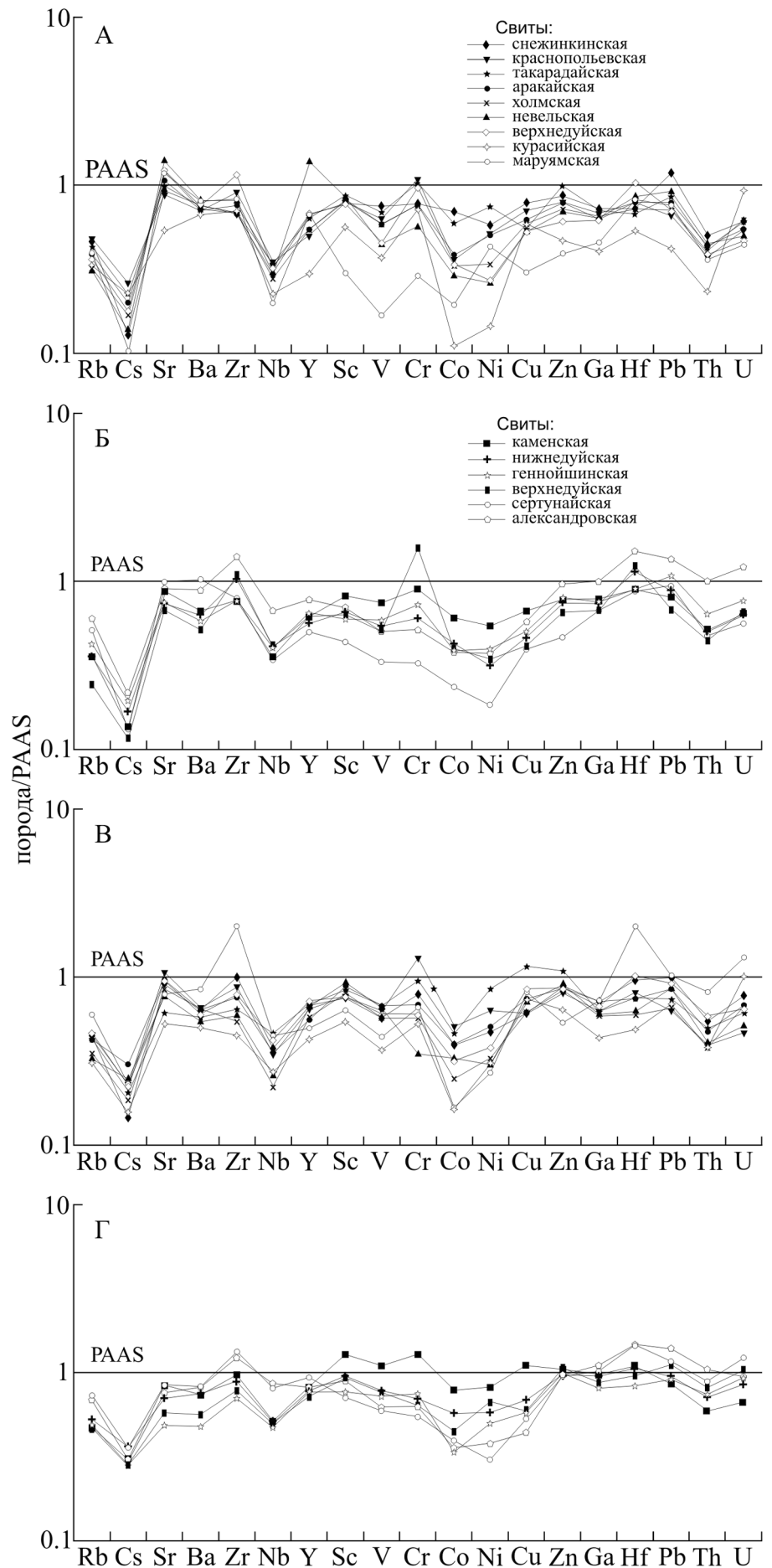
Интерпретация полученных геохимических данных основывается на актуалистическом подходе: сравнении результатов изучения древних терригенных пород и современных глубоководных осадков. Подобные исследования, проводившиеся отечественными и зарубежными литологами, выявили существование тесной связи между геохимическим составом терригенных пород, типом и породным составом источников питания, а также геодинамическими обстановками бассейнов седиментации (Maynard et al., 1982; Bhatia, 1983; Nath et al., 2000; Cullers, 2002; Дмитриева и др., 2008; Летникова, 2008; Маслов и др., 2016 и др.). Это позволило разработать серию интерпретационных диаграмм, в основу которых положены содержания ряда индикаторных петрогенных оксидов, редких и редкоземельных элементов, а также их соотношений, отражающих минеральный состав пород питающих провинций и геохимическое поведение ряда элементов в воде.

Палеогеодинамическая интерпретация геохимического состава песчаных и глинисто-алевритовых пород приведена на диаграммах (рис. 6), используемых для разделения отложений из бассейнов различных тектонических обстановок. На диаграммах М. Бхатия и К. Крука (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986) (рис. 6, А–Г) фигуративные точки кайнозойских песчаников Западно-Сахалинского террейна попадают либо приближаются к полям бассейнов, сопряженных с островными дугами, развитыми на зрелой континентальной коре (например, Японские острова), а также бассейнов активных континентальных окраин, включающих в себя, в понимании авторов, и бассейны трансформных границ плит, в том числе Калифорнийские. На диаграмме Ж. Мейнарда и его соавторов (Maynard et al., 1982) (рис. 6, Д) песчаники также ближе всего к пескам из бассейнов, сопряженных с окраинно-континентальными магматическими дугами, а также бассейнов активных континентальных окраин, осложненных сдвиговыми дислокациями

по трансформным разломам. Более определенно состав как песчаных, так и глинисто-алевритовых пород интерпретируется на диаграмме Б. Роузера и Р. Корша (Roser, Korsch, 1986) (рис 6, Е), на которой практически все составы изученных пород попадают в поле бассейнов, сопряженных с активными континентальными окраинами. Наблюдаемый на всех приведенных диаграммах некоторый разброс точек и, в частности, смещение части из них в сторону полей пассивных континентальных окраин обусловлены повышенным содержанием в породах SiO_2 , связанным с их обогащением кварцем, обломками кислых интрузивных и кремнистых пород, а также с присутствием, на отдельных уровнях разреза, обильных диатомовых водорослей.

Изучение содержания и характера распределения редких и редкоземельных элементов в песчаных и глинисто-алевритовых породах позволяет судить о типе и составе материнских пород питающих провинций. Относительно невысокие концентрации в кайнозойских породах Западно-Сахалинского террейна редкоземельных элементов, незначительная обогащенность их легкими элементами по сравнению с тяжелыми, умеренно выраженная отрицательная Eu аномалия свидетельствуют о формировании отложений за счет как размывавшихся гранитно-метаморфических пород, так и основных вулканитов. На диаграммах, предназначенных для реконструкции состава питающих провинций по содержаниям РЗЭ (Floyd, Leveridge, 1987; Cullers, 2002) (рис. 7), фигуративные точки группируются, главным образом, у поля кислых пород энциалических островных дуг, а также частично смещаются в поля источников как смешанного кислого/основного состава, так и обогащенного редкими компонентами. Вероятно, область питания сочетала в себе расчлененную, глубоко эродированную окраинно-континентальную вулканическую дугу, находящуюся под воздействием трансформных сдвигов, и древнюю сиалическую сушу (сушу, в пределах которой обнажались древние сиалические кристаллические вещественные комплексы). Отложения формировались за счет разрушения как гранитно-метаморфических пород суши и фундамента дуги, так и вулканических образований самой дуги.

Следует отметить довольно своеобразное расположение фигуративных точек геохимического состава терригенных пород террейна на всех рассмотренных диаграммах. Точки, как правило, образуют поле, перекрывающее несколько различных геодинамических обстановок либо источников питания. Это является характерной особенностью и, вероятно, достаточно надежным признаком седиментационных бассейнов, формирование которых связано с обстановками трансформного скольжения литосферных плит, когда в область размыва попадают как краевые части континентов, так и ранее аккрецированные к ним фрагменты активных континентальных окраин. Примером подобного



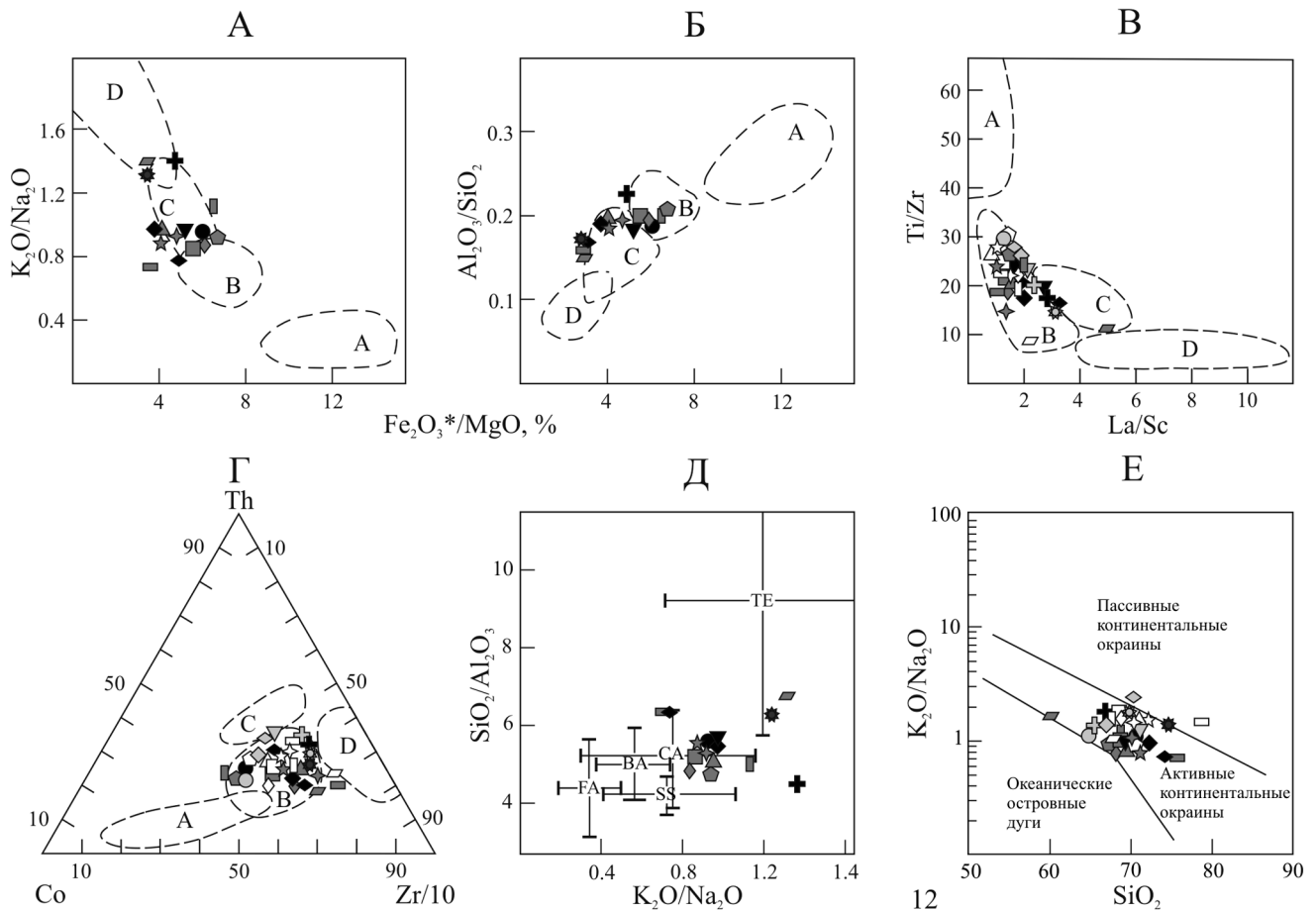


Рис. 6. Геодинамическая интерпретация геохимического состава песчаных и глинисто-алевритовых пород кайнозоя Западно-Сахалинского террейна. А–Г – типы бассейнов (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986). Пунктирные линии – поля значений геохимических параметров древних песчаников из бассейнов, сопряженных: А – с океаническими, В – с континентальными островными дугами, С – с активными, Д – с пассивными континентальными окраинами. $Fe_2O_3^*$ – общее железо, Д – бассейновые обстановки (Maupard et al., 1982). Пересекающиеся линии – стандартные отклонения от среднего состава современных глубоководных песков и глин из бассейнов: пассивных континентальных окраин (ТЕ); активных континентальных окраин, осложненных сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам (SS); сопряженных с окраинно-континентальными магматическими дугами (СА); с океаническими вулканическими дугами (FA – преддуговые и ВА – задуговые бассейны); Е – бассейны тектонических обстановок, по (Rosier, Korsch, 1986). Условные обозначения см. рис. 3

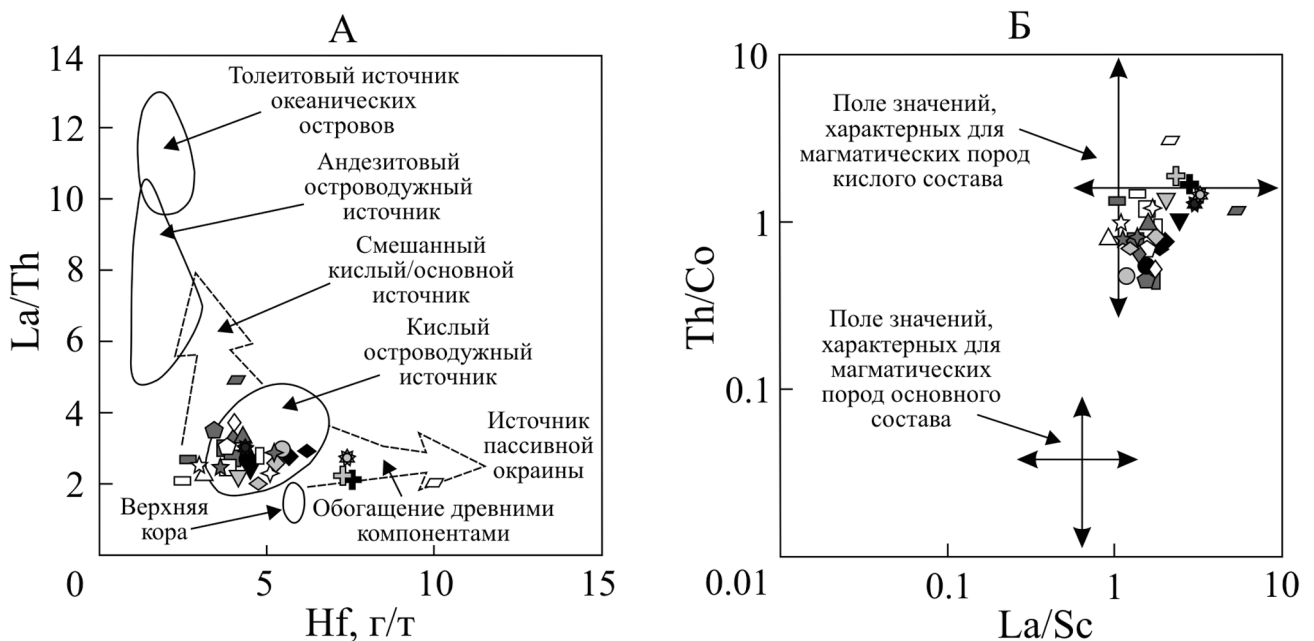


Рис. 7. Источники обломочного материала для терригенных пород кайнозоя Западно-Сахалинского террейна на диаграммах: А – Hf–La/Th (Floyd, Leveridge, 1987) и Б – La/Sc–Th/Co (Cullers, 2002). Условные обозначения см. рис. 3

рода обстановок и, соответственно, расположения на диаграммах характеризующих их фигуративных точек является Журавлевский синсдвиговый террейн Сихотэ-Алиня (Малиновский, 2011; Малиновский, Голозубов, 2012).

Заключение

Рассмотрен геохимический состав терригенных пород из кайнозойской толщи Западно-Сахалинского террейна. Обобщение и интерпретация полученных результатов позволяют сделать следующие выводы.

По геохимическим параметрам песчаные породы террейна соответствуют грауваккам и являются петрогенными или "first cycle" породами. Они характеризуются невысокой степенью зрелости обломочного материала, который содержит в своем составе кластику как вулканического (островодужного), так и сиалического (континентального) происхождения.

Интерпретация данных по содержанию и характеру распределения петрогенных, редких и редкоземельных элементов в песчаных и глинисто-алевритовых породах террейна свидетельствует о том, что в палеоцене — плиоцене осадконакопление происходило вдоль границы континент-океан в бас-

сейне, связанном с крупномасштабными левосторонними трансформными скольжениями плиты Иванаги относительно Евразийского континента (Геодинамика ..., 2006; Голозубов, 2006).

Область питания, поставлявшая обломочный материал в седиментационный бассейн, располагавшийся в пределах террейна, вероятно, сочетала в себе континентальную сиалическую сушу, сложенную древними гранитно-метаморфическими и осадочными породами, и зрелую глубоко расчлененную окраинно-континентальную вулканическую дугу, в которой эрозия вскрыла гранитоидные батолиты, подстилавшие вулканы. Фрагменты этой дуги известны в структуре хр. Сихотэ-Алинь в виде Кемского островодужного террейна (Малиновский и др., 2006). Такой смешанный состав кластики, по всей видимости, является главным и характерным признаком седиментации в бассейнах, связанных с обстановкой скольжения литосферных плит, когда в область размыва попадают как краевые части континентов, так и ранее аккретированные к ним фрагменты активных окраин (Малиновский, Голозубов, 2012).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты 12-05-00119 и 15-05-00857, и Президиума ДВО РАН, проект 15-1-2-0010.

ЛИТЕРАТУРА

- Геология, геодинамика и перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Татарского пролива / Ред. Г.Л. Кириллова. Владивосток: ДВО РАН, 2004. 220 с.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 1 / Ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. 981 с.
- Гладенко Ю.Б., Баженова О.К., Гречин В.И. и др. Кайнозой Сахалина и его нефтегазоносность. М.: ГЕОС, 2002. 225 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 Западно-Сахалинского террейна // Геотектоника. 2016. № 4. С. 105–120.
- Дмитриева Н.В., Туркина О.М., Ножкин А.Д. Петрохимические особенности метатерригенных пород Канского блока Восточного Саяна: реконструкция источников сноса и условий осадкообразования // Литология и полезн. ископаемые. 2008. № 2. С. 186–201.
- Жаров А.Э. Геологическое строение и мел-палеогеновая геодинамика Юго-Восточного Сахалина. Южно-Сахалинск: Сахалинское областное книжное изд-во, 2004. 192 с.
- Захарова М.А. Литология палеогеновых отложений Сахалина и условия их образования. Новосибирск: Наука, 1973. 108 с.
- Курносов В.Б. Глинистые минералы палеогеновых отложений о. Сахалин. Автореф. дисс... канд. геол.-минерал. наук. Владивосток: ДВГИ ДВНЦ АН СССР, 1971. 27 с.
- Летникова Е.Ф., Вещева С.В., Прошенкин А.И., Кузнецов А.Б. Неопротерозойские терригенные отложения Тувино-Монгольского массива: геохимическая корреляция, источники сноса, геодинамическая реконструкция // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 12. С. 2110–2121.
- Малиновский А.И. Вещественный состав островодужных комплексов Дальнего Востока России // Литология и полезн. ископаемые. 2010. № 1. С. 28–44.
- Малиновский А.И. Литохимический состав терригенных пород Журавлевского террейна (Сихотэ-Алинь) и его геодинамическая интерпретация // Вестник КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. 2011. № 2. Вып. 18. С. 14–30.
- Малиновский А.И., Голозубов В.В. Строение, состав и обстановки формирования нижнемеловых отложений Журавлевского террейна (Центральный Сихотэ-Алинь) // Литология и полезн. ископаемые. 2012. № 4. С. 399–424.
- Малиновский А.И., Голозубов В.В., Симаненко В.П. Кемский островодужный террейн (Восточный Сихотэ-Алинь): обстановки формирования и геодинамика // Докл. АН. 2006. Т. 410, № 2. С. 229–233.
- 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.
- Маргулис Е.А. Эволюционный ряд типов граувакк на примере палеогеновых отложений о. Сахалин // Литология и полезн. ископаемые. 1979. № 1. С. 89–98.
- Мельников О.А., Захарова М.А. Кайнозойские осадочные и вулканогенно-осадочные формации Сахалина. М.: Наука, 1977. 242 с.
- Петтиджон Ф.Дж. Осадочные породы. М.: Недра, 1981. 752 с.
- Петтиджон Ф.Дж., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники. М.: Мир, 1976. 535 с.
- Сальников Б.А. Зоны фациальных переходов в меловых и палеоген-неогеновых отложениях Сахалина //

Стратиграфия кайнозоя Дальнего Востока СССР. Л.: ВНИГРИ. 1985. С. 19–23.

Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.

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

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.

Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical compositions of sandstones // J. Geol. 1983. Vol. 91. 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. Vol. 92. P. 181–193.

Boynnton W.V. Chapter 3. Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies // Rare Earth Element Geochemistry / Ed. P. Henderson. Amsterdam: Elsevier, 1985. P. 115–152.

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. Vol. 191. P. 305–327.

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. Vol. 144. P. 531–542.

Fournier M., Jolivet L., Huchon P. et al. Neogene strike-slip faulting in Sakhalin and the Japan Sea opening // J. Geophys. Res. 1994. Vol. 99, N B2. P. 2701–2725.

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.

Nath B.N., Kunzendorf H., Pluger W.L. Influence of provenance, weathering and sedimentary processes on the elemental ratios of the finegrained fraction of the bedload sediments from the Vembanad lake and the adjoining continental shelf, southwest coast of India // J. Sed. Res. 2000. Vol. 70, N 5. P. 1081–1094.

Roser B.P., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO_2 content and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratio // J. Geol. 1986. Vol. 94, N 5. P. 635–650.

Сведения об авторе: *Малиновский Александр Иванович* – канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотр. лаб. региональной геологии и тектоники ДВГИ ДВО РАН, *e-mail:* malinovsky@fegi.ru