УДК [551.24:552.5] (551.763:550.4:553.21)

СОСТАВ ОТЛОЖЕНИЙ И ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЛОВЫХ ТЕРРЕЙНОВ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

А. И. Малиновский

ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

E-mail: malinovsky@fegi.ru

Рассматриваются результаты обобщения комплексного изучения вещественного состава терригенных пород из ряда меловых террейнов, расположенных в южной части Дальнего Востока России. Полученные данные интерпретированы на основе сравнения с современными глубоководными осадками, накопившимися в известных геодинамических обстановках. Проведенные исследования позволили восстановить геодинамическую природу изученных террейнов и показать, что параметры вещественного состава служат надежными индикаторами различных геодинамических обстановок, а также дают возможность уверенно идентифицировать их в палеобассейнах орогенных поясов. Показано, что в современной тектонической структуре юга Дальнего Востока совмещены террейны, имеющие меловой возраст, но при этом формировавшиеся в различных геодинамических обстановках.

Ключевые слова: мел, террейн, геодинамические обстановки, терригенные породы, тяжелые минералы, химический состав, юг Дальнего Востока.

DOI: 10.34078/1814-0998-2019-3-3-18

Меловое время – эпоха геологических событий, во многом определивших современную тектоническую структуру южной части Дальнего Востока России. Следы этих событий наблюдаются в террейнах древних орогенных поясов, формирование которых тесно связано с режимом взаимодействия Азиатского континента и прилегающей океанической плиты Иизанаги (Геодинамика..., 2006). Террейны имеют самое различное происхождение, и, соответственно, их геодинамическая типизация, а также выяснение палеогеографических и палеогеодинамических обстановок формирования осадочных бассейнов, фрагменты которых устанавливаются в этих террейнах, крайне важны для понимания процессов эволюции всей зоны перехода от Тихого океана к Азиатскому континенту. Палеогеодинамические обстановки формирования древних бассейнов обычно распознаются по ряду признаков: их геологическому положению в структуре региона, строению и составу слагающих толщ, минералогии и петрохимии вулкаников. Цель данной публикации – продемонстрировать особенности вещественного состава терриген-

ных пород из различных по происхождению меловых террейнов юга Российской части Дальнего Востока, а также на их примере показать достаточную надежность его интерпретации для распознавания этих обстановок в древних бассейнах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основой данного исследования является обширный оригинальный материал, полученный при изучении вещественного состава терригенных пород из меловых отложений Кемского, Киселевско-Маноминского и Журавлевского террейнов, занимающих большую часть территории хр. Сихотэ-Алинь, а также Западно-Сахалинского террейна (о. Сахалин) (рис. 1). Главное внимание при исследовании уделялось песчаным породам, поскольку они несут наибольшую информацию о геодинамической природе областей седиментации, составе и типе источников питания (Maynard et al., 1982; Bhatia, 1983; Roser, Korsch, 1986; Маслов и др., 2016). Как дополнительные привлекались данные по составу глинисто-алевритовых пород, к которым мы, с определенной долей условности, относим аргиллиты, алевроаргиллиты и алевролиты.

Рис. 1. Схема террейнов юга Дальнего Востока России (Геодинамика..., 2006): 1–6 – террейны: 1 – домезозойские, 2 – юрской аккреционной призмы, 3–5 – раннемеловые: 3 – аккреционной призмы, 4 – окраинно-континентального синдвигового бассейна, 5 – островодужные; 6 – ранне-позднемеловой аккреционной призмы; 7, 8 – ранне-позднемеловые – палеогеновые: 7 – аккреционной призмы, 8 – окраинно-континентального синдвигового бассейна; 9 – разломы. Серым цветом показаны изученные террейны: КМ – Киселевско-Маноминский, К – Кемский, Ж – Журавлевский, ЗС – Западно-Сахалинский

Fig. 1. Terrain scheme of the south of Russia's Far East (Geodynamics..., 2006): 1–6 – terrains: 1 – pre-Mesozoic, 2 – Jurassic accretionary wedge, 3–5 – Early Cretaceous: 3 – accretionary wedge, 4 – continental margin pull-apart basin, 5 – island arc; 6 – Early-Late Mesozoic accretionary wedge; 7, 8 – Early-Late Cretaceous-Paleogene: 7 – accretionary wedge, 8 – continental margin pull-apart basin; 9 – faults. The studied terrains are shown in grey: KM – Kiselyovka-Manoma, K – Kema, Ж – Zhuravlyovka, ЗС – West Sakhalin

Каменный материал, использованный в работе, собран из естественных обнажений и горных выработок. Для аналитических исследований отбирали образцы пород, не затронутые вторичными преобразованиями, что контролировалось петрографическими наблюдениями. В сумме, во всех стратиграфических подразделениях рассматриваемых террейнов, было изучено и проанализировано более 900 образцов и проб песчаных и глинисто-алевритовых пород, из которых в 565 подсчитаны порообразующие компоненты, в 483 изучены ассоциации тяжелых обломочных минералов, 582 зерна были исследованы на микрозонде и, наконец, в 692 пробах были определены содержания петрогенных элементов.

Изучение петрографического состава пород и подсчет содержания основных порообразующих компонентов осуществляли, используя поляризационные микроскопы МИН-8 и AxioPlan 2 imaging. В каждом шлифе подсчитывали не менее 200 зерен. Тяжелые минералы извлекали с помощью бромформа после дробления проб до 0.25 мм и в дальнейшем определяли и подсчитывали под бинокляром и поляризационным микроскопом в иммерсионных жидкостях. Химический состав тяжелых минералов изучали на рентгеноспектральных микроанализаторах JXA-5A и JXA-8100. Содержания петрогенных элементов в породах определяли как традиционным весовым химическим методом, так и мето-

дом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500 Duo. Все анализы были выполнены в лаборатории региональной геологии и тектоники (изучение тяжелых минералов) и лабораториях аналитической химии и рентгеновских методов Аналитического центра (ЦКП) ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток). При интерпретации вещественного состава терригенных пород применяли широко известные, достаточно апробированные методики (Dickinson, Suczek, 1979; Maynard et al., 1982; Bhatia, 1983; Roser, Korsch, 1986; Nechaev, Isphording, 1993), позволяющие распознавать в геологическом прошлом аналоги современных геодинамических обстановок и источников питания.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ

Киселевско-Маноминский террейн альб-сеноманской аккреционной призмы расположен в Нижнем Приамурье, протягиваясь прерывистой полосой вдоль р. Амур на 700 км. Террейн образован пакетами тектонических пластин, сложенными юрскими и раннемеловыми структурно-вещественными комплексами островных дуг, океана и окраины континента. Валанжин-сеноманские вулканогенно-осадочные образования общей мощностью 4000 м изучены на северо-восточном фланге террейна в районе оз. Удиль, где выделены следующие комплексы (Маркевич и др., 1997) (рис. 2).

Рис. 2. Сводные литолого-стратиграфические колонки меловых отложений изученных объектов: 1 – конгломераты и гравелиты; 2 – песчаники; 3 – алевролиты и аргиллиты; 4 – кремни и кремнисто-глинистые породы; 5 – микститы; 6 – известняки; 7 – турбидиты; 8 – туфы и туффиты; 9 – базальты и андезитобазальты; 10 – уголь

Fig. 2. Summary lithostratigraphic columns of Cretaceous deposits at the studied objects: 1 – conglomerates and gritstones; 2 – sandstones; 3 – siltstones and mudstones; 4 – siliceous and siliceous-clayey rocks; 5 – mixtites; 6 – limestones; 7 – turbidites; 8 – tuffs and tuffites; 9 – basalts and basaltic andesites; 10 – coal

Кремнистый комплекс сложен пелагическими кремнистыми породами, их глинистыми разновидностями, реже щелочными базальтами и известняками. Обломочные породы практически не встречаются. Вулканогенно-осадочный комплекс состоит из переслаивающихся туфов, тефроидов, вулканомиктовых песчаников, алевролитов, пачек турбидитов, кремнистых пород, редко базальтов. Граувакковый комплекс представлен в основном песчаными и глинистыми породами, содержащими пачки турбидитов, а также горизонты кремнистых аргиллитов, туфов и микститов.

Кемский террейн находится в восточной части хр. Сихотэ-Алинь, протягиваясь вдоль побережья Японского моря на 850 км. В строении террейна принимают участие баррем(?)-альбские образования общей мощностью до 5500 м, представленные в нижней и верхней части разреза мощными пачками турбидитов, разделяющимися горизонтами алевролитов, песчаников, гравелитов, микститов и подводно-оползневых образований (меандровская свита и верхнекемская подсвита), а в средней – переслаивающимися горизонтами конгломератов, гравелитов, песчаников, микститов, редкими пачками турбидитов (нижнекемская подсвита), а также базальтами, их туфами и тефроидами, вулканомиктовыми песчаниками и горизонтами подводно-оползневых образований и микститов (среднекемская подсвита) (Малиновский и др., 2005) (см. рис. 2).

Журавлевский террейн вытянут в северо-восточном направлении вдоль хр. Сихотэ-Алинь на 800 км, занимая его большую часть. Разрез берриас-альбских отложений террейна общей мощностью около 11 000 м расчленен на 8 согласенно перекрывающих друг друга свит, которые сложены мощными толщами терригенных пород – песчаников, алевролитов и аргиллитов, а также многочисленными пачками турбидитов, горизонтами и линзами конгломератов, гравелитов, микститов и кремнисто-глинистых пород (Малиновский, Голозубов, 2012) (см. рис. 2). Особенностью строения террейна является практически полное отсутствие продуктов вулканической деятельности.

Западно-Сахалинский террейн располагается на территории Западно-Сахалинских гор, протягиваясь полосой вдоль побережья Татарского пролива на 650 км. Южным его продолжением является пояс Сорачи-Йезо на о. Хоккайдо (Fournier et al., 1994; Геодинамика..., 2006) (см. рис. 1). В строении террейна принимают участие берриас-датские терригенные и вулканогенно-осадочные отложения, с разрывом, но без значительного углового несогласия перекрывающиеся кайнозойскими образованиями. Известно, что отложения южной и северной частей террейна различаются между собой как по мощности, так и

по фациальным обстановкам осадконакопления (Зябрев, 1987; Опорный..., 1987; Геология..., 2004; и др.) (см. рис. 2). Мощность отложений южной части до 5500 м, представлены они преимущественно морскими глубоководными образованиями – аргиллитами, алевролитами, реже песчаниками, пачками их переслаивания. Отложения северной части характеризуются почти двукратным увеличением мощности (до 9000 м), а также накоплением осадков как в мелководноморских, так и в глубоководных обстановках подводного континентального склона, его подножья и прилегающей бассейновой равнины. Здесь накапливались преимущественно терригенные породы – песчаники, алевролиты, аргиллиты, пачки их ритмичного переслаивания, горизонты и линзы конгломератов, гравелитов, а в нижней части разреза – кремнистые и кремнисто-глинистые породы. Значительно реже встречаются вулканогенные породы – туфы, тефроиды, туффиты.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД

Для выяснения палеогеодинамических обстановок формирования отложений и определения тектонического типа и породного состава областей питания изученных объектов исследовали вещественный состав терригенных пород. Поскольку его особенности во многом определяют петрографический состав пород, приведем краткое его описание.

В **Киселевско-Маноминском террейне** песчаные породы встречаются только в вулканогенно-осадочном и граувакковом комплексах. По набору породообразующих компонентов это полимиктовые, часто вулканокластические образования. Обломочная часть песчаников представлена в основном кварцем, полевыми шпатами, обломками терригенных, кремнистых, основных и средних эффузивных пород, реже метаморфических и кислых интрузивных пород, вулканическим стеклом и рудными минералами. По классификации В. Д. Шутова (1967) песчаники относятся к полевошпатово-кварцевым, кварцево-полевошпатовым и собственно грауваккам (рис. 3).

Различия между выделенными комплексами наиболее видны в содержаниях кварца: в вулканогенно-осадочном его не более 7%, а в граувакковом – от 10 до 37%. Полевых шпатов 60–80 и 10–50% соответственно. Среди них преобладают (до 95%) альбит и олигоклаз. Калиевых полевых шпатов не более 5%, это в основном ортоклаз. Среди обломков пород в вулканогенно-осадочном комплексе (в сумме 15–30%) больше всего основных и средних вулканитов (до 70%), значительно меньше осадочных пород (до 30%) и вулканического стекла (до 15%). В граувакко-

вом комплексе обломки пород (в сумме 40–55%) представлены осадочными (30–50%), кремнистыми (20–40%) и эффузивными (5–15%) породами, иногда встречаются кислые интрузивные и метаморфические образования.

В зависимости от литологического типа глинисто-алевритовых пород (алевролиты, аргиллиты, алевроаргиллиты) насыщенность их алевритовым обломочным материалом варьирует от 5 до 60–80% объема. По составу обломочная часть этого типа пород близка к песчаникам, но в них больше кварца и полевых шпатов, а среди обломков пород встречаются обломки кремней, основных и средних вулканитов, пироксенов и рудных минералов. Глинистая составляющая пород очень однообразна и представлена практически двумя минералами – гидрослюда и хлоритом. Лишь иногда в вулканогенно-осадочном комплексе присутствует смектит и смектит-хлорит.

Песчаники *Кемского террейна* по породообразующим компонентам довольно однообразны и в целом относятся к полимиктовым. Обломочная их часть состоит из кварца, полевых шпатов, обломков терригенных, кремнистых и эффузивных пород, вулканического стекла и рудных минералов. По классификации В. Д. Шутова (1967) песчаники относятся к полевошпатово-кварцевым и кварцево-полевошпатовым грауваккам (см. рис. 3). Содержание кварца в песчаниках колеблется от 23 до 42%. Полевых шпатов – от 22 до 41%. Это преимущественно кислые плагиоклазы – альбит и олигоклаз (60–90%). Калиевых полевых шпатов (ортоклаз, редко микроклин) до 20%. Обломки пород (в сумме 23–58%) представлены кремнистыми (30–45%) и осадочными по-

родами (25–35%), в меньшей мере основными эффузивами (15–30%). Обломки кислых интрузивных и метаморфических пород редки.

В глинисто-алевритовых породах алевритовый обломочный материал занимает от 5 до 70–80% объема. Среди обломков чаще всего встречаются кварц, полевые шпаты, реже кремни, эффузивы, тонкозернистые породы, биотит, вулканическое стекло и рудные минералы. Глинистая часть пород состоит из гидрослюда и, в меньшей мере, смектита и хлорита. И лишь в среднекемской подсвете, сложенной в основном вулканокластическими образованиями, преобладают смектит и хлорит.

Все песчаники *Журавлевского террейна* по породообразующим компонентам близки и относятся к полимиктовым. Обломочная часть занимает 70–90% их объема и состоит из кварца, полевых шпатов, биотита, обломков терригенных, кремнистых, эффузивных, кислых интрузивных и метаморфических пород, а также рудных минералов. На классификационной диаграмме В. Д. Шутова (1967) песчаники попадают преимущественно в поле граувакковых аркозов и в меньшей мере кварцево-полевошпатовых и полевошпатово-кварцевых граувакк (см. рис. 3). Содержание кварца в песчаниках колеблется от 23 до 43%, при этом наиболее распространен монокристаллический интрузивный кварц. Полевых шпатов от 23 до 62%. Это в основном кислые плагиоклазы (до 90% всех полевых шпатов), среди которых преобладают альбит и олигоклаз. Калиевых полевых шпатов относительно немного – от 5 до 15% и лишь иногда до 20–23%. Основные и средние плагиоклазы редки – до 5%. Среди обломков пород (в сумме до 15–45%) чаще всего

Рис. 3. Породообразующие компоненты песчаников из меловых отложений изученных объектов (Шутов, 1967). Террейны: 1 – Киселевско-Маноминский, 2 – Кемский, 3 – Журавлевский, 4 – Западно-Сахалинский

Fig. 3. Rock-forming components of sandstones from Cretaceous deposits at the studied objects (Shutov, 1967). Terrains: 1 – Kiselyovka-Manoma, 2 – Kema, 3 – Zhuravlyovka, 4 – West Sakhalin

встречаются кремнистые (до 60% всех обломков) и терригенные (до 55%) породы, метаморфических и кислых изверженных пород значительно меньше, редко в сумме достигают 50%. Обломки эффузивных пород редки.

Обломочная часть глинисто-алевритовых пород, занимающая от 3 до 60–80% их объема, близка к песчаникам, хотя в них несколько больше полевых шпатов и кварца, но меньше обломков пород, среди которых чаще всего встречаются кремни, тонкозернистые осадочные породы, кислые эффузивы. Кроме того, часты биотит и рудные минералы. Из глинистых минералов наиболее обычна гидрослюда, более редки смектит и хлорит.

Песчаники *Западно-Сахалинского террейна* по пороодообразующим компонентам однородны, относятся к полимиктовым, а обломочная часть, занимая от 60 до 80% объема, состоит из кварца, полевых шпатов, обломков кварцитов, эффузивных, терригенных и кремнистых пород. По классификации В. Д. Шутова (1967) песчаники относятся к кварцево-полевошпатовым и, реже, к полевошпатово-кварцевым грауваккам (см. рис. 3). Содержания кварца в породах колеблются от 16 до 40%, а полевых шпатов – от 27 до 51%. Это в основном кислые плагиоклазы: альбит и олигоклаз. Значительно меньше основных и средних плагиоклазов, а также калиевых полевых шпатов. Среди обломков пород (в сумме 26–50%) преобладают кремнистые, терригенные и эффузивные породы, значительно реже встречаются кварциты и кварц-серицитовые сланцы, вулканическое стекло.

В глинисто-алевритовых породах обломочная составляющая, занимающая от 5 до 70–80% объема, по составу близка к песчаникам, но отличается меньшей долей обломков пород и преобладанием полевых шпатов и кварца. Среди обломков пород наиболее часты кремни, тонкообломочные породы, эффузивы, обычны биотит и рудные минералы. Глинистая составляющая пород представлена в основном гидрослюдой и, реже, смектитом и хлоритом.

Изучение тяжелых обломочных минералов – испытанный метод изучения состава осадочных пород и их происхождения. Исследованиями осадков современных океанов и окраинных морей установлено, что определенные ассоциации тяжелых минералов, количественные соотношения между ними, а также микрохимический состав некоторых минералов могут служить надежными индикаторами различных типов и составов областей питания, геодинамических обстановок бассейнов седиментации, а также присутствия им магматических процессов (Nechaev, Isphording, 1993; Nechaev et al., 1996; Markevich et al., 2007).

На рис. 4 приведены средние содержания и характер распределения тяжелых обломочных минералов в песчаниках изученных объектов. По этим показателям между ними наблюдаются существенные различия. Все минералы, с известной долей условности, разделяются на две минералогические ассоциации. В первую, фемическую, входят типичные представители вулканокластиков: орто- и клинопироксены, роговая обманка, хромит, магнетит, эпидот и оливин. Вторую, сиалическую, составляют минералы, происходящие из кислых изверженных и метаморфических пород: циркон, гранат, турмалин, апатит, ильменит, лейкоксен, сфен, рутил, анатаз и ряд других более редких минералов.

В *Киселевско-Маноминском террейне* резко преобладают минералы фемической ассоциации (Nechaev et al., 1996; Маркевич и др., 1997). Особенно это характерно для отложений вулканогенно-осадочного комплекса, где их суммарное содержание иногда достигает 100%, среди них главная роль принадлежит клинопироксену – в отдельных пробах до 96%. Содержание других фемических минералов в различных комплексах в значительной степени варьирует. Так, например, в граувакковом комплексе резко возрастают содержания хромита (иногда до 90%) и амфибола (до 25%), но при этом падает количество клинопироксена (до 37%). Минералы сиалической ассоциации находятся в резко подчиненном количестве, и только в отдельных пробах грауваккового комплекса их количество увеличивается: циркона до 40%, граната до 22% и сфена до 11%.

В отложениях *Кемского террейна* содержания и пропорции между минералами на разных уровнях разреза значительно отличаются (Малиновский и др., 2005). Минералы сиалической ассоциации преобладают в нижней и верхней частях разреза, достигая в среднем 70% всех минералов. Основными минералами здесь являются циркон (в среднем до 50%) и гранат (до 20%), значительно меньше турмалина, апатита, рутила, сфена, везувиана и анатаза. Фемические минералы доминируют в средней части разреза – до 80% от всех тяжелых минералов. Преобладает клинопироксен (до 60%), меньше амфиболов, ортопироксена, эпидота, хромита и магнетита.

В *Журавлевском террейне* содержания и характер распределения тяжелых обломочных минералов песчаников по разрезу изменяются незначительно. В целом в них резко преобладает сиалическая ассоциация, в сумме часто составляющая до 100% всех тяжелых минералов (Малиновский, Голозубов, 2012). Основной минерал ассоциации – циркон, среднее содержание которого 60%, при этом в некоторых пробах оно достигает 96%. Значительно меньше в этой ассоциации турмалина (до 44%), граната (до 57%), апатита

Рис. 4. Средние содержания и характер распределения тяжелых обломочных минералов в песчаниках изученных объектов

Fig. 4. Average contents and distribution patterns of heavy detrital minerals in sandstones of the studied objects

(до 23%), а сфен, рутил, апатит, анатаз и брукит составляют первые проценты. Минералы фемической ассоциации – орто- и клинопироксены, роговая обманка, хромит и магнетит находятся в подчиненном количестве, в сумме не превышая 25%. Содержания их очень невелики и лишь в отдельных пробах достигают 10–20%.

В отложениях *Западно-Сахалинского террейна* устанавливаются тяжелые обломочные минералы как сиалической, так и фемической ассоциации (Малиновский и др., 2015). В преобладающую сиалическую, иногда достигающую 80% всех тяжелых минералов, входят циркон, основной минерал ассоциации (до 91% всей минералов), гранат (до 70%), турмалин (до 40%), апатит (до 46%) и другие более редкие представители гранитно-метаморфической кластики. Содержание минералов фемической ассоциации в сумме не превышает 36%, и лишь в вулканогенно-кремнистой рождественской толще северной части террейна оно увеличивается до 66%.

Для геохимической характеристики песчаных и глинисто-алевритовых пород использо-

вали средние содержания главнейших породообразующих оксидов и величины некоторых петрохимических модулей, сгруппированные в соответствии с существующими стратиграфическими подразделениями изученных террейнов. Выбор средних значений обусловлен тем, что они позволяют лучше оценить существующие сходства и различия слагающих террейны отложений, а в дальнейшем более достоверно выявить особенности палеогеодинамических обстановок их формирования.

По содержанию породообразующих оксидов песчаные породы *Киселевско-Маноминского террейна* существенно различаются (Малиновский, 2010). Песчаники вулканогенно-осадочного комплекса отличаются, прежде всего, заметно более низким, в сравнении с породами грауваккового комплекса, содержанием кремнекислоты (в среднем, соответственно, 58.14 и 66.97%). Кроме того, в них меньше FeO (1.56 и 2.63%) и K₂O (0.96 и 1.97%), но значительно больше Al₂O₃ (19.16 и 13.39%) и Na₂O (6.87 и 2.88%), а также Fe₂O₃ (4.32 и 2.93%), MgO (2.71 и 2.42%) и CaO (2.41 и 1.64%).

По химическому составу песчаники **Кемского террейна** довольно однородны (Малиновский и др., 2005). Заметны лишь некоторые отличия в составе пород вулканогенной среднекемской подсистемы, выражающиеся в меньшем, по сравнению с другими стратиграфическими подразделениями, содержании SiO_2 (в среднем 73.26 и 74.34–77.30%, соответственно), но большем TiO_2 (0.38 и 0.25–0.35%), Al_2O_3 (10.76 и 8.18–10.24%) и Na_2O (2.25 и 2.02–2.20%).

В **Журавлевском террейне** песчаные породы по химическому составу довольно близки между собой и лишь в отдельных пробах отмечаются некоторые его вариации (Малиновский, 2011). В среднем по свитам содержание кремнекислоты колеблется от 71.82 до 80.66%, TiO_2 (0.17–0.34%), Al_2O_3 (8.89–12.43%), $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (1.56–3.95%), MgO (0.43–1.22%), CaO (0.37–2.58%), Na_2O (1.07–3.53%) и K_2O (1.16–3.16%).

По содержанию и характеру распределения породообразующих оксидов песчаные породы мела **Западно-Сахалинского террейна** довольно однородны (Малиновский, 2018). Наблюдаются лишь несколько более высокие содержания в породах его северной части кремнекислоты, которые в среднем варьируют от 65.54 до 75.70%. В породах южной части содержания SiO_2 ниже и изменяются от 64.74 до 70.24%. Вместе с тем в породах северной части террейна ниже содержания TiO_2 (0.43–0.64 и 0.49–0.71%, соответственно), Al_2O_3 (11.67–14.81 и 13.99–15.40%), $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (1.33–

5.30 и 3.50–5.91%), MgO (0.69–1.88 и 1.01–1.11%), CaO (1.12–1.74 и 1.19–2.87%), Na_2O (2.18–3.62 и 3.02–3.98%) и K_2O (1.43–2.99 и 2.28–2.71%).

Отметим, что, несмотря на все существующие различия в химическом составе песчаных пород изученных объектов, общим для них является преобладание Na_2O над K_2O , что служит характерным признаком граувакк, и лишь в некоторых свитах Журавлевского террейна это соотношение обратное. На классификационной диаграмме соотношения величин логарифмов $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ и $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Pettijohn et al., 1972) фигуративные точки составов песчаников Киселевско-Маноминского, Кемского и Западно-Сахалинского террейнов группируются, главным образом, в поле граувакк, лишь иногда смещаясь в поле литоидных аренитов. Журавлевские песчаники, в свою очередь, также частично располагаются в поле граувакк, но преимущественно тяготеют к полю литоидных аренитов, пород по существу переходных к аркозам, и даже иногда попадают в область собственно аркозов (рис. 5).

Глинисто-алевритовые породы всех изученных объектов по химическому составу, как правило, близки к песчаникам. Однако в связи с тем, что в этих породах, по сравнению с песчаниками, меньше обломочных компонентов и больше глинистой составляющей, они обычно содержат меньше SiO_2 и Na_2O , но больше Al_2O_3 , TiO_2 , $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ и K_2O . Кроме того, в них K_2O , как правило, преобладает над Na_2O .

Рис. 5. Классификационная диаграмма $\log (\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}) - \log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ (Pettijohn et al., 1972) для песчаных пород изученных объектов (здесь и далее – средние значения по стратиграфическим подразделениям). Условные обозначения см. на рис. 3

Fig. 5. Classification diagram $\log (\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}) - \log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ (Pettijohn et al., 1972) for sandy rocks of the studied objects (hereinafter, average values for individual sections of rock formations are given). For symbols, see Fig. 3

Существующие черты сходства и различия химического состава терригенных пород изученных объектов хорошо обнаруживаются при рассмотрении некоторых литохимических модулей и модульных диаграмм (Юдович, Кетрис, 2000) (рис. 6). Породы всех изученных террейнов по гидролизатному модулю (ГМ) характеризуются невысоким уровнем зрелости (от 0.20 до 0.45), что свидетельствует об их образовании вследствие преимущественно механического разрушения материнских пород при подчиненной роли химического выветривания, слабой литодинамической переработкой исходного вещества, а также высокой скоростью его захоронения. По фемическому модулю (ФМ) песчаники Киселевско-Маноминского и Западно-Сахалинского террейнов (0.12–0.15 и 0.06–0.13, соответственно) относятся к типичным грауваккам, а Журавлевского и частично Кемского (0.02–0.06 и 0.04–0.08, соответственно) занимают промежуточное положение между граувак-

ками и аркозами. Кроме того, для граувакк характерны высокие значения титанового модуля (ТМ), что обусловлено, как правило, примесью основной вулканокластике, а для аркозов – низкие, связанные с присутствием кластики кислых изверженных пород, которые, в свою очередь, отличаются низкими значениями ТМ. В породах Киселевско-Маноминского и Западно-Сахалинского террейнов значения ТМ колеблются в пределах 0.034–0.051 и 0.034–0.044, соответственно, а в отложениях Журавлевского и Кемского – 0.009–0.028 и 0.031–0.035. Характерной особенностью глинисто-алевритовых пород всех террейнов является повышенная, по сравнению с песчаниками, титанистость, что позволяет рассматривать отложения как петрогенные, при формировании которых не происходит какой-либо существенной динамической сортировки обломочного материала (Юдович, Кетрис, 2000). Значения модуля нормированной щелочности (НКМ), как правило, выше в аркозах вследствие широкого развития в них слюд и полевых шпатов, в том числе калиевых, и ниже в граувакках, вследствие обилия глинистого вещества и обломков основных эффузивов (Там же). По НКМ ближе всего к аркозам песчаники Журавлевского террейна (0.42–0.51),

что отражает преобладание в них сиалической кластики над продуктами вулканической деятельности. Песчаники остальных террейнов по этому показателю очень близки (0.34–0.43) и относятся к грауваккам либо, частично, субграуваккам. В глинисто-алевритовых породах значение НКМ, как правило, ниже, чем в песчаниках, что, очевидно, связано с меньшим содержанием в них полевых шпатов, но большим количеством глинистого вещества.

На всех приведенных модульных диаграммах фигуративные точки песчаных и глинисто-алевритовых пород образуют два самостоятельных, достаточно хорошо разделяющихся поля (см. рис. 6). При этом все рассматриваемые отложения выстраиваются в следующей последовательности: Журавлевский – Западно-Сахалинский – Кемский – Киселевско-Маноминский террейн, что объясняется различной долей участия в их формировании как основной вулканокластике, так и продуктов разрушения сиалической континентальной коры. Наблюдаемая на диаграммах положительная корреляция между парами ФМ – ТМ и ГМ – ТМ и отрицательная между ГМ – НКМ и ФМ – SiO_2 свидетельствует о принадлежности пород к петрогенным, т. е. прошедшим один цикл седиментации.

Рис. 6. Модульные диаграммы для песчаных и глинисто-алевритовых пород изученных объектов (Юдович, Кетрис, 2000). Террейны: 1 – Киселевско-Маноминский, 2 – Кемский, 3 – Журавлевский, 4 – Западно-Сахалинский. Слева – песчаные, справа – глинисто-алевритовые породы. $\text{TM} = \text{TiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{GM} = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}) / \text{SiO}_2$; $\text{FM} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO}) / \text{SiO}_2$; $\text{HKM} = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3$

Fig. 6. Module diagrams for sandy and clayey-silty rocks of the studied objects (Yudovich, Ketris, 2000). Terrains: 1 – Kiselyovka-Manoma, 2 – Kema, 3 – Zhuravlyovka, 4 – West Sakhalin. Sandy rocks are on the left; clayey-silty rocks, on the right. $\text{TM} = \text{TiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{GM} = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}) / \text{SiO}_2$; $\text{FM} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO}) / \text{SiO}_2$; $\text{HKM} = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3$

ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные данные по вещественному составу интерпретировали на основе актуалистического подхода, т. е. сравнения результатов изучения древних терригенных пород и современных глубоководных осадков. По данным многих исследователей существует тесная связь между вещественным составом пород и геодинамическими обстановками областей питания и бассейнов седиментации (Dickinson, Suczek, 1979; Maynard et al.,

1982; Bhatia, 1983; Roser, Korsch, 1986; и др.). Палеогеодинамические реконструкции осуществляли при помощи серии диаграмм, в основу которых положены соотношения между породообразующими компонентами песчаников, тяжелыми обломочными минералами, а также рядом индикаторных оксидов, наиболее полно отражающие состав источников питания и тектонические обстановки формирования бассейнов седиментации.

На рис. 7 приведены диаграммы генетической интерпретации вещественного состава песчаных и глинисто-алевритовых пород, предна-

Рис. 7. Геодинамическая интерпретация содержания породообразующих компонентов и химического состава песчаных и глинисто-алевритовых пород из меловых отложений изученных объектов: а – бассейновые обстановки (Maynard et al., 1982). Пересекающиеся линии – стандартные отклонения от среднего состава современных глубоководных песков из бассейнов пассивных континентальных окраин (ТЕ); активных континентальных окраин, сопряженных: со сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам (SS); с окраинно-континентальными магматическими дугами (CA); с океаническими вулканическими дугами (FA – преддуговые и BA – задуговые бассейны); б – типы бассейнов (Bhatia, 1983). Пунктирные линии – поля значений геохимических параметров древних песчаников из бассейнов, сопряженных: с океаническими (А), с окраинно-континентальными островными (В) дугами, с активными (С) и пассивными (D) континентальными окраинами. Fe_2O_3^* – общее железо; в – бассейны тектонических обстановок (Roser, Korsch, 1986): 1–4 – границы полей расположения точек песчаников из террейнов: 1 – Киселевско-Маноминского, 2 – Кемского, 3 – Журавлевского, 4 – Западно-Сахалинского. Остальные условные обозначения см. на рис. 3 и 6

Fig. 7. Geodynamic interpretation of the contents of rock-forming components and of the chemical composition of sandy and clayey-silty rocks from Cretaceous deposits at the studied objects: а – basin settings (Maynard et al., 1982). Intersecting lines show standard deviations from the average composition of recent deep-water sands from basins in passive continental margins (TE); from active continental margins associated with strike-slip dislocations along transform faults (SS), continental margin magmatic arcs (CA), and oceanic volcanic arcs (FA – forearc and BA – backarc basins); б – basin types (Bhatia, 1983). Dashed lines delineate fields with values of the geochemical parameters of ancient sandstones from basins associated with: A – 1–4 – passive continental margins. Fe_2O_3^* – total iron; в – basins of tectonic settings (Roser, Korsch, 1986): 1–4 – boundaries of sandstone point fields from terrains: 1 – Kiselyovka-Manoma, 2 – Kema, 3 – Zhuravlyovka, 4 – West Sakhalin. For other symbols, see Fig. 3 and 6

значенные для реконструкции геодинамических обстановок формирования бассейнов седиментации. На всех диаграммах фигуративные точки терригенных пород вулканогенно-осадочного комплекса **Киселевско-Маноминского террейна** попадают, главным образом, в поля бассейнов, сопряженных с океанической островной дугой типа Идзу-Бонинской (Маркевич и др., 1997). В свою очередь точки пород грауваккового комплекса на ряде диаграмм (Bhatia, 1983; Roser, Korsch, 1986) (см. рис. 7, б, в) смещены в сторону полей бассейнов окраинно-континентальных вулканических островных дуг либо активных континентальных окраин. Такое отклонение обусловлено, вероятно, присутствием в породах комплекса продуктов размыва сиалических (континентальных) источников. Анализ соотношения порообразующих компонентов и ассоциаций тяжелых минералов из песчаников террейна позволяет предполагать несколько источников питания.

На диаграмме В. Диккинсона и К. Сучека (Dickinson, Suczek, 1979), выявляющей тектонические типы источников питания (рис. 8, а), песчаники вулканогенно-осадочного комплекса попадают преимущественно в поле нерасчлененных, слабо эродированных и, частично, переходных островных дуг. Преобладание в породах этого комплекса фемической ассоциации тяжелых минералов (компонент MF), среди которых главенствует клинопироксен, свидетельствует о прямом влиянии на осадконакопление энсиматической дуги с косо́й субдукцией (Nechaev, Isphording, 1993; Nechaev et al., 1996) (см. рис. 8, б).

Тип вулканического источника питания можно определить по химическому составу некоторых тяжелых обломочных минералов: клинопироксена, хромита и граната, среди которых наиболее информативен клинопироксен. По составу клинопироксены песчаников вулканогенно-осадочного комплекса соответствуют диопсиду и авгиту, а их происхождение устанавливается на диаграмме, позволяющей различать пироксены из базальтов различных геодинамических обстановок (Nisbet, Pearce, 1987) (рис. 9, а). На этой диаграмме большинство клинопироксенов соот-

Рис. 8. Источники обломочного материала для терригенных пород из меловых отложений изученных объектов: а – типы источников питания (Dickinson, Suczek, 1979): I – континентальные блоки, II – ремобилизованные орогены, III – магматические дуги (IIIa – расчлененные, глубоко эродированные, IIIb – переходные, IIIc – нерасчлененные, слабо эродированные), IV – смешанные источники питания; б – ассоциации тяжелых минералов из различных геодинамических обстановок (Nechaev, Isphording, 1993). Суммы содержаний: MF – оливина, пироксенов, зеленой роговой обманки; MT – эпидота, граната, сине-зеленых амфиболов; GM – циркона, турмалина, ставролита, дистена, силлиманита и андалузита. Условные обозначения см. на рис. 3

Fig. 8. Sources of clastic material for terrigenous rocks from Cretaceous deposits of the studied objects: а – types of provenances (Dickinson, Suczek, 1979): I – continental blocks, II – remobilized orogenes, III – magmatic arcs (IIIa – rugged, deeply eroded, IIIb – transitional, IIIc – undivided, weakly eroded; IV – mixed provenances; б – heavy mineral assemblages from various geodynamic settings (Nechaev, Isphording, 1993). Total contents: MF – olivine, pyroxenes, green hornblende; MT – epidote, garnet, blue-green amphiboles; GM – zircon, tourmaline, staurolite, disthene, sillimanite, and andalusite. For symbols, see Fig. 3

ветствуют клинопироксенам базальтов островных дуг и океанического дна, вероятно, входивших в состав основания островной дуги. Островодужный характер источника питания хорошо подтверждается и составом хромитов (Щека, Вржосек, 1983) (рис. 9, б). В граувакковом комплексе соотношения между порообразующими компонентами и ассоциациями тяжелых минералов песчаников дают основание предполагать его формирование за счет разрушения промежуточной, частично эродированной энсиматической островной дуги (см. рис. 8, а, б). Это хорошо подтверждается составами клинопироксенов и хромитов (см. рис. 9, а, б). Вместе с тем часть хромитов происходит из офиолитов внутритропических поднятий, вероятно, также входивших в состав основания дуги. Кроме того, присутствие в отложениях комплекса заметного количества сиалических минералов свидетельствует, что на этом отрезке времени седиментационный бассейн находился достаточно близко к размывавшейся континентальной окраине. Судя по составу гранатов, в ее строении участвовали как метаморфические породы, так и гранитоиды (Тетаока, 2003) (см. рис. 9, в).

Рис. 9. Диаграммы составов тяжелых обломочных минералов из песчаных пород и их вероятных вулканических источников: а – для клинопироксенов (Nisbet, Pearce, 1977): $F_1 = -0.012 \times \text{SiO}_2 - 0.0807 \times \text{TiO}_2 + 0.0026 \times \text{Al}_2\text{O}_3 - 0.0012 \times \text{FeO} - 0.0026 \times \text{MnO} + 0.0087 \times \text{MgO} - 0.0128 \times \text{CaO} - 0.0419 \times \text{Na}_2\text{O}$; $F_2 = -0.0496 \times \text{SiO}_2 - 0.0818 \times \text{TiO}_2 - 0.02126 \times \text{Al}_2\text{O}_3 - 0.0041 \times \text{FeO} - 0.1435 \times \text{MnO} - 0.0029 \times \text{MgO} - 0.0085 \times \text{CaO} + 0.0160 \times \text{Na}_2\text{O}$; б – для хромитов (Шчека, Вржосек, 1983); в – для гранатов (Teraoka, 2003). Условные обозначения см. на рис. 3

Fig. 9. Compositional diagrams of heavy detrital minerals from sandstones and their potential volcanic sources: а – for clinopyroxenes (Nisbet, Pearce, 1977): $F_1 = -0.012 \times \text{SiO}_2 - 0.0807 \times \text{TiO}_2 + 0.0026 \times \text{Al}_2\text{O}_3 - 0.0012 \times \text{FeO} - 0.0026 \times \text{MnO} + 0.0087 \times \text{MgO} - 0.0128 \times \text{CaO} - 0.0419 \times \text{Na}_2\text{O}$; $F_2 = -0.0496 \times \text{SiO}_2 - 0.0818 \times \text{TiO}_2 - 0.02126 \times \text{Al}_2\text{O}_3 - 0.0041 \times \text{FeO} - 0.1435 \times \text{MnO} - 0.0029 \times \text{MgO} - 0.0085 \times \text{CaO} + 0.0160 \times \text{Na}_2\text{O}$; б – for chromites (Shcheka, Vrzhssek, 1983); в – for garnets (Teraoka, 2003). For symbols, see Fig. 3

Генетическая интерпретация вещественного состава терригенных пород **Кемского террейна**, основанная на вышеописанных принципах, не всегда однозначна. На диаграммах, разделяющих песчаники из бассейнов различных тектонических обстановок (см. рис. 7), кемские песчаники попадают в поля бассейнов активных континентальных окраин (либо приближаются к ним), а также бассейнов, сопряженных с окраинно-континентальными островными дугами, примером которых могут быть Японские острова. Неполное совпадение положения точек песчаников с полем окраинно-континентальных островных дуг объясняется их низкой фемичностью, относительно высокой зрелостью, связанной с обогащением кварцем и обломками кремневых пород, а также относительно высоким содержанием К, что обусловлено присутствием обломков высококалийных базальтов (шошонитов), в целом характерных для тыловых частей островных дуг (Малиновский и др., 2005).

Судя по положению точек на диаграммах, предназначенных для выявления тектонических типов источников питания (см. рис. 8), главным источником вещества была расчлененная, глубоко эродированная энсиалическая островная дуга. При этом, судя по сосуществованию в песчаниках террейна двух контрастных ассоциаций тяжелых минералов, отложения накапливались за счет разных источников сноса. Фемическая ассоциация формировалась, преимущественно, за счет размывавшихся вулканических образований самой дуги. Островодужный характер класти-

ки подтверждается составом клинопироксенов и хромитов (см. рис. 9). В частности, клинопироксены полностью соответствуют клинопироксенам из кемских базальтов, петрохимические особенности которых, в свою очередь, характерны для базальтов тыловых частей островных дуг. Источником сиалической ассоциации, смещающей на диаграмме MF – MT – GM (рис. 8, а) фигуративные точки в область трансформной окраины, вероятно, был фундамент дуги, образованный выдвинутым в сторону океана фрагментом континентальной коры. Судя по составу обломочных гранатов (см. рис. 9, в) в его строении участвовали метаморфические породы гранулитовой и амфиболитовой фаций, а также кислые интрузивные породы.

Реконструкция геотектонических обстановок формирования меловых отложений **Журавлевского террейна** на всех предложенных диаграммах (см. рис. 7) в целом свидетельствует об их соответствии породам из бассейнов активных континентальных окраин андийского типа, осложненных крупномасштабными сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам, примером которых служат бассейны Калифорнийской окраины.

Из расположения точек состава порообразующих компонентов на диаграмме В. Диккинсона и К. Сучека (Dickinson, Suczek, 1979), выявляющей тектонические типы источников питания, видно (см. рис. 8, а), что отложения террейна могли формироваться за счет как размыва выступов кристаллического фундамента, располагавшихся вдоль рифтовых поясов или трансформных

разломов, так и полнокристаллических батолитов, слагающих корневые части зрелых, глубоко эродированных магматических дуг. В то же время анализ ассоциаций тяжелых минералов песчаников на диаграмме MF – MT – GM (Nechaev, Isphording, 1993) (см. рис. 8, б) показывает, что на осадконакопление главным образом влияла размывавшаяся зрелая пассивная или трансформная континентальная окраина. Судя по составу обломочных гранатов, она была сложена преимущественно метаморфическими породами гранулитовой и амфиболитовой фаций, а также гранитоидами (см. рис. 9, в). Вместе с тем в составе питающей провинции заметную роль играла и домеловая активная окраина, сложенная фрагментами аккреционных призм, в строении которых участвовали, судя по породообразующим компонентам и микрохимическому составу хромитов (см. рис. 9, б), пластины кремней и офиолитов. Влияние же вулканических процессов на формировании отложений террейна, исходя из практически полного отсутствия обломочных пироксенов, было крайне незначительным.

Следует отметить характер расположения точек вещественного состава терригенных пород террейна на всех приведенных диаграммах. Они, как правило, образуют поле, перекрывающее несколько различных геодинамических обстановок формирования либо источников питания, что, вероятно, является характерной особенностью и надежным признаком седиментации в бассейнах, связанных с трансформным скольжением литосферных плит, при которой в области размыва оказываются как краевые части континентов, так и ранее аккретированные к ним фрагменты активных окраин.

Палеогеодинамическая реконструкция обстановок формирования меловых отложений *Западно-Сахалинского террейна* (см. рис. 7) показывает, что по вещественному составу его терригенные породы наиболее соответствуют породам из бассейнов, связанных с окраинно-континентальными магматическими дугами, а также из бассейнов активных континентальных окраин, включающих в себя, в понимании авторов (Maynard et al., 1982; Bhatia, 1983; Roser, Korsch, 1986), и бассейны трансформных границ плит. Область питания для отложений террейна (см. рис. 8) сочетала в себе сиалическую сушу, сложенную гранитно-метаморфическими и осадочными породами, и зрелую, глубоко эродированную окраинно-континентальную магматическую дугу, в которой эрозия достигла полнокристаллических батолитов, подстилающих вулканы.

Анализ соотношения ассоциаций тяжелых минералов (см. рис. 8, б) свидетельствует, что источником фемической ассоциации были размывавшиеся собственно вулканические образования дуги, а сиалической – породы фундамента этой дуги и (или) зрелой континентальной окраины. На островодужный характер кластики указывает состав обломочных клинопироксенов и хромитов, соответствующих базальтам островных дуг (см. рис. 9, а, б). Микрохимический состав обломочных гранатов, соответствующих (Teraoka, 2003) (рис. 9, в), главным образом, гранатам из кислых интрузивных и метаморфических пород гранулитовой и амфиболитовой фаций, свидетельствует, что их источником была зрелая континентальная земная кора, в строении которой участвовали достаточно глубоко метаморфизованные породы и гранитоиды. Помимо этого, в состав питающей провинции, судя по составу некоторой части клинопироксенов и хромитов, входили и фрагменты аккреционных призм, в строении которых участвовали офиолиты и кремни.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, мы последовательно рассмотрели результаты изучения вещественного состава терригенных пород ряда меловых террейнов, расположенных в южной части Дальнего Востока России. Обобщение и интерпретация полученных данных позволили восстановить геодинамическую природу изученных объектов и показать, что параметры вещественного состава служат надежными индикаторами различных геодинамических обстановок, что позволяет достаточно уверенно идентифицировать их в палеобассейнах орогенных поясов.

Установлено, что в современной тектонической структуре юга Дальнего Востока совмещены террейны, имеющие меловой возраст и, в целом, близкое геологическое строение. Сопоставление полученных результатов позволило впервые показать, что, несмотря на имеющиеся черты сходства, эти террейны существенно различаются по вещественному составу терригенных пород, а их формирование происходило в различных геодинамических обстановках под влиянием часто контрастных источников питания. Накопление отложений Киселевско-Маноминского и Кемского террейнов происходило в седиментационных бассейнах, совмещенных с островными вулканическими дугами, а Журавлевского и Западно-Сахалинского – в бассейнах, связанных с крупномасштабными сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам. Источники обломочного вещества во всех случаях также были различны. Для

Киселевско-Маноминского и Кемского террейнов это были преимущественно вулканические образования самих дуг, различные (океанические или континентальные) комплексы, слагавшие их фундамент и, иногда, континентальная окраина. На формирование отложений Журавлевского террейна основное влияние оказывала размывавшаяся зрелая континентальная окраина, сложенная гранитно-метаморфическими породами. Вместе с тем в состав питающей провинции также входила и активная окраина, сложенная фрагментами домеловых аккреционных призм. Область питания седиментационных бассейнов Западно-Сахалинского террейна, вероятно, сочетала в себе сиалическую сушу, зрелую глубоко эродированную энсиалическую островную дугу, в которой эрозия вскрыла гранитоидные батолиты, подстилающие вулканы, а также фрагменты древних аккреционных призм, в строении которых участвовали офиолиты.

ЛИТЕРАТУРА

- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России* / под ред. А. И. Ханчука. Владивосток : Дальнаука, 2006. Кн. 1. 1–572 с.
- Геология, геодинамика и перспективы нефтегазонасыщенности осадочных бассейнов Татарского пролива* / под ред. Г. Л. Кирилловой. Владивосток : Дальнаука, 2004. 220 с.
- Зябрев С. В. Глубоководная терригенная седиментация в Западно-Сахалинском прогибе // ДАН СССР. 1987. Т. 292, № 1. С. 168–171.
- Малиновский А. И., Голозубов В. В., Касаткин С. А. Вещественный состав и обстановки формирования меловых терригенных отложений Западно-Сахалинского террейна // ДАН. 2015. Т. 463, № 3. С. 317–322.
- 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 // Там же. 2018. № 2. С. 58–76.
- 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., Симаненко В. П. Состав и обстановки накопления нижнемеловых терригенных пород бассейна р. Кемы (Восточный Сихотэ-Алинь) // Литология и полез. ископаемые. 2005. № 5. С. 495–514.
- Малиновский А. И., Голозубов В. В. Строение, состав и обстановки формирования нижнемеловых отложений Журавлевского террейна (Центральный Сихотэ-Алинь) // Там же. 2012. № 4. С. 399–424.
- Маркевич П. В., Филиппов А. Н., Малиновский А. И. и др. Меловые вулканогенно-осадочные образования Нижнего Приамурья. Владивосток : Дальнаука, 1997. 300 с.
- 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.
- Опорный разрез меловых отложений Сахалина (Найбинский разрез) / под ред. З. Н. Пояркова. Л. : Наука, 1987. 196 с.
- Шутов В. Д. Классификация песчаников // Литология и полез. ископаемые. 1967. № 5. С. 86–102.
- Щека С. А., Вржосек А. А. Ультраосновной вулканизм Тихоокеанского комплекса и вопросы систематики меймечитов и коматитов // Вулканология и сейсмология. 1983. № 2. С. 3–16.
- Юдович Я. Э., Керпус 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.
- Dickinson W. R., Suczek C. A. Plate tectonics and sandstone composition // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 1979. Vol. 63, No. 12. P. 2164–2182.
- Fournier M., Jolivet L., Huchon P. et al. Neogene strike-slip faulting in Sakhalin and the Japan Sea opening // J. Geoph. Res. 1994. Vol. 99, No. B2. P. 2701–2725.
- Markevich P. V., Malinovsky A. I., Tichkova 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 // Developments in Sedimentology. Heavy Minerals in Use. Amsterdam : Elsevier, 2007. Vol. 58. P. 789–822.
- 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 : Blackwell Scientific Publications, 1982. Part 2. P. 551–561.
- Nechaev V. P., Isphording W. C. Heavy-mineral assemblages of continental margins as indicators of plate-tectonic environments // J. Sed. Petrol. 1993. Vol. 63, No. 6. P. 1110–1117.
- Nechaev V. P., Markevich P. V., Malinovsky A. I. et al. Tectonic settings of deposition of the Cretaceous sediments from the Lower Amur region, Russian Far East // J. Sed. Soc. Japan. 1996. No. 43. P. 69–81.
- Nisbet E. G., Pearce J. A. Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings // Contrib. Mineral. Petrol. 1977. Vol. 63. P. 149–160.
- Pettijohn F. J., Potter R., Siever R. Sand and Sandstone. New York : Springer, 1972. 618 p.
- Roser B. P., Korsch R. J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // J. Geol. 1986. Vol. 94, No. 5. P. 635–650.
- Teraoka Y. Detrital garnets from Paleozoic to Tertiary sandstones in Southwest Japan // Bull. Geol. Surv. Japan. 2003. Vol. 54, No. 5/6. P. 171–192.

Поступила в редакцию 07.12.2018 г.

Поступила после доработки 31.01.2019 г.

DEPOSIT COMPOSITIONS AND FORMATION SETTINGS OF THE CRETACEOUS TERRAINS IN THE SOUTH OF RUSSIA'S FAR EAST

A. I. Malinovsky

Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok

The generalized results of the complex study on the composition of terrigenous rocks from the series of Cretaceous terrains, located in the southern part of Russia's Far East are discussed. The obtained data were interpreted in comparison with modern deep water sediments accumulated in the known geodynamic settings. The research permitted determining the geodynamic nature of the studied terrains and showing that the composition parameters reliably indicate different geodynamic settings as well as allow to confidently identify the latter in paleobasins of orogenic belts. It is showed that the modern tectonic structure of the Far East south combines Cretaceous terrains though formed under different geodynamic settings.

Keywords: Cretaceous, terrain, geodynamic setting, terrigenous rocks, heavy minerals, chemical composition, south of the Far East.

REFERENCES

- Bhatia, M. R.*, 1983, Plate Tectonics and Geochemical Compositions of Sandstones, *J. Geol.*, 91, 611–627.
- Dickinson, W. R., Suczek, C. A.*, 1979, Plate Tectonics and Sandstone Composition, *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 63, 12, 2164–2182.
- Fournier, M.; Jolivet, L.; Huchon, P.; Sergeyev, K.; Oskorbin L.*, 1994, Neogene Strike-Slip Faulting in Sakhalin and the Japan Sea Opening, *J. Geoph. Res.*, 99 (2), 2701–2725.
- Geodinamics, Magmatism, and Metallogeny of Russia's East*, 2006, Ed. A. I. Khanchuk, Vladivostok, Dalnauka, Book 1, 1–572 [In Russian].
- Geology, Geodynamics, and Possible Petroleum Potential of Sedimentary Basins in the Tatar Strait*, 2004, Ed. G. L. Kirillova, Vladivostok, Dalnauka [In Russian].
- Malinovsky, A. I.*, 2010, Material Composition of Island-Arc Complexes in the Russian Far East, *Lithol. & Miner. Resour.*, 1, 28–44 [In Russian].
- Malinovsky, A. I.*, 2011, Lithochemical Composition of Terrigenous Rocks of the Zhuravlyovka Terrain (Sikhote-Alin) and Its Geodynamic Interpretation, *Bull. KRAESC, Earth Sciences*, 2, 18, 14–30 [In Russian].
- Malinovsky, A. I.*, 2018, Geochemical Features and Geodynamic Settings of the Formation of Cretaceous Terrigenous Rocks in the West Sakhalin Terrain, *Lithol. & Miner. Resour.*, 2, 58–76 [In Russian].
- Malinovsky, A. I.; Golozubov, V. V.*, 2012, Structure, Composition, and Depositional Environments of the Lower Cretaceous Rocks of the Zhuravlyovka Terrain, Central Sikhote-Alin, *Ibid.*, 4, 399–424 [In Russian].
- Malinovsky, A. I.; Golozubov, V. V.; Kasatkin, S. A.*, 2015, Composition and Formation Settings of Cretaceous Terrigenous Rocks of the West Sakhalin Terrain, *DAN*, 463, 3, 317–322 [In Russian].
- Malinovsky, A. I.; Golozubov, V. V.; Simanenko, V. P.*, 2005, Composition and Depositional Settings of Lower Cretaceous Terrigenous Rocks of the Kema River Basin, Eastern Sikhote-Alin, *Lithol. & Miner. Resour.*, 5, 495–514 [In Russian].
- Markevich, P. V.; Filippov, A. N.; Malinovsky, A. I.; Ziyabrev, S. V.; Nechaev, V. P.; Vysotskiy, S. V.*, 1997, Cretaceous Volcanogenic-Sedimentary Complexes of the Lower Priamurye, Vladivostok, Dalnauka [In Russian].
- Markevich, P. V.; Malinovsky, A. I.; Tuchkova, M. I.; Sokolov, S. D.; Grigoriev, V. N.*, 2007, 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, *Developments in Sedimentology, Heavy Minerals in Use*, Amsterdam, Elsevier, 58, 789–822.
- Maslov, A. V.; Podkovyrov, V. N.; Mizens, G. A.; Nozhkin, A. D.; Fazliakhmetov, A. M.; Malinovsky, A. I.; Khudoley, A. K.; Kotova, L. N.; Kuptsova, A. V.; Gareyev, E. Z.; Zainullin, R. I.*, 2016, Discriminant Paleogeodynamic Diagrams for Terrigenous Rocks: Comparison Experience, *Geochem.*, 7, 579–595 [In Russian].
- Maynard, J. B.; Valloni, R.; Yu, H. S.*, 1982, Composition of Modern Deep-Sea Sands from Arc-Related Basins, *Trench-Forearc Geology. Sedimentation and Tectonics of Modern and Ancient Plate Margins*, Oxford, Blackwell Scientific Publications, Part 2, 551–561.
- Nechaev, V. P.; Isphording, W. C.*, 1993, Heavy-Mineral Assemblages of Continental Margins as Indicators of Plate-Tectonic Environments, *J. Sed. Petrol.*, 63, 6, 1110–1117.
- Nechaev, V. P.; Markevich, P. V.; Malinovsky, A. I.; Philippov, A. N.; Vysotskiy, S. V.*, 1996, Tectonic Settings of Deposition of the Cretaceous Sediments from the Lower Amur Region, Russian Far East, *J. Sed. Soc. Japan.*, 43, 69–81.
- Nisbet, E. G.; Pearce, J. A.*, 1977, Clinopyroxene Composition in Mafic Lavas from Different Tectonic Settings, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 63, 149–160.

Pettijohn, F. J.; Potter, R.; Siever, R., 1972, Sand and Sandstone, New York, Springer.

Reference Section of Cretaceous Deposits in Sakhalin (Naiba Section), 1987, Ed. Z. N. Poyarkov, Leningrad, Nauka [In Russian].

Roser, B. P.; Korsch, R. J., 1986, 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.*, 94(5), 635–650.

Shcheka, S. A.; Vrzheks, A. A., 1983, Ultramafic Volcanism of the Pacific Complex and Issues of the System-

atics of Meymechites and Comatiites, *J. Volcanol. & Seismol.*, 2, 3–16 [In Russian].

Shutov, V. D., 1967, Classification of Sandstones, *Lithol. & Miner. Resour.*, 5, 86–102 [In Russian].

Teraoka, Y., 2003, Detrital Garnets from Paleozoic to Tertiary Sandstones in Southwest Japan, *Bull. Geol. Surv. Japan*, 54, 5/6, 171–192.

Yudovich, Ya. E.; Ketris, M. P., 2000, Fundamentals of Lithochemistry, St. Petersburg, Nauka [In Russian].

Zyabrev, S. V., 1987, Deep-Water Terrigenous Sedimentation in the West Sakhalin Trough, *DAN USSR*, 292, 1, 168–171 [In Russian].