

**ЛИТОЛОГИЯ И ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
ВДОЛЬ ТРАНСФОРМНЫХ ГРАНИЦ ПЛИТ НА ПРИМЕРЕ РАННЕМЕЛОВОГО
ЖУРАВЛЕВСКОГО ТЕРРЕЙНА (ЮЖНЫЙ СИХОТЭ-АЛИНЬ)**

А.И. Малиновский, В.В. Голозубов

*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр-т 100-лет Владивостоку 159, г. Владивосток,
690022, e-mail: malinovsky@fegi.ru*

Поступила в редакцию 15 ноября 2010 г.

В статье предпринята попытка на основании комплексного изучения строения и вещественного состава терригенных пород выявить источники питания и обстановки формирования берриас-альбских отложений Журавлевского террейна (Южный Сихотэ-Алинь). Они интерпретируются как отложения бассейна, связанного с режимом трансформного скольжения литосферных плит при малой роли вулканических процессов. Основными источниками обломочного материала, поступавшего в этот бассейн, были размывавшиеся гранитно-метаморфические породы зрелой континентальной земной коры. Вместе с тем, в составе питающей провинции заметную роль играли и фрагменты домеловой активной окраины, в том числе аккреционных призм, содержащих пластины кремней и офиолитов. Генетические особенности отложений указывают на их формирование на шельфе, подводном континентальном склоне, у его подножия, а также на прилегающих участках бассейновой равнины.

Ключевые слова: террейн, терригенные породы, вещественный состав, геодинамические обстановки, трансформные границы, Сихотэ-Алинь.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших фундаментальных проблем современной геологии является выяснение палеогеографических и палеогеодинамических обстановок формирования и эволюции осадочных бассейнов, фрагменты которых устанавливаются в террейнах, аккрецированных к восточной окраине Евразийского континента. В рамках этой проблемы особое внимание привлекают бассейны, пространственно и генетически связанные с режимом трансформного скольжения литосферных плит. В настоящее время само понимание бассейнов трансформных (сдвиговых) границ плит, их типизация, происхождение, эволюция, а также выделение в структурах геологического прошлого представляют собой круг новых вопросов, решению которых в последнее время на Дальнем Востоке России уделяется большое внимание [1–3, 16–18, 26]. Примером бассейна такого типа является раннемеловой Журавлевский террейн (Южный Сихотэ-Алинь), образованный мощными дислоцированными толщами терригенных пород, накапливавшихся без заметного влияния вулканизма.

В статье приведены результаты детальных литологических исследований нижнемеловых отложений террейна. На основании изучения строения и вещественного состава терригенных пород делаются выводы о составе областей питания бассейна седиментации, а также о палеогеографических и палеотектонических обстановках его формирования.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ

Современная структура Сихотэ-Алиня представляет собой коллаж разнотипных террейнов, причлененных к восточной окраине Азиатского материка в палеозое и мезозое [1, 13, 14, 16, 17, 32]. Более половины территории Сихотэ-Алиня образована раннемеловыми террейнами, имеющими различную геодинамическую природу. Формирование их тесно связано с режимом взаимодействия Евразийского континента и океанической плиты Иизанаги [1].

Положение Журавлевского террейна показано на рис. 1. В Северном Сихотэ-Алине, в бассейне р. Гур, Журавлевский террейн выклинивается, однако его продолжения предполагаются от приустьевой

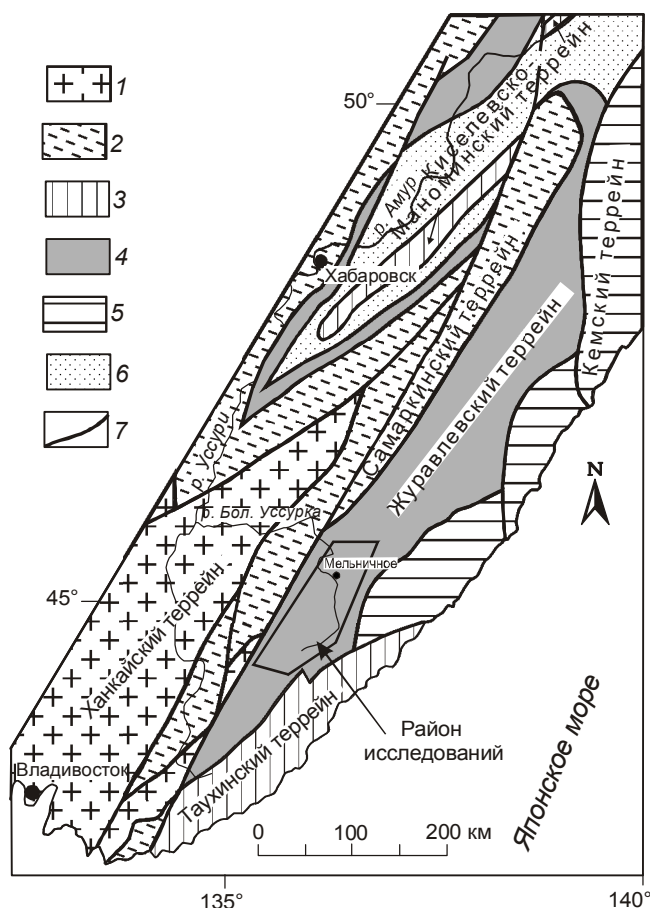


Рис. 1. Схема террейнов юга Дальнего Востока России, по [8, 17].

1–6 – террейны: 1 – домезозойские, 2 – юрской аккреционной призм, 3 – раннемеловой аккреционной призм, 4 – раннемеловые трансформных окраин, 5 – раннемеловые островодужные, 6 – ранне-позднемеловые и кайнозойские; 7 – разломы.

части р. Усури на северо-восток вдоль право- и левобережья р. Амур.

Берриас-альбские образования террейна, общей мощностью около 11 тыс. м, представлены главным образом терригенными породами – песчаниками, алевролитами и аргиллитами, пачками турбидитов, а также горизонтами и линзами конгломератов, гравелитов, микститов и кремнисто-глинистых пород. Породы интенсивно дислоцированы, смяты в систему тесно сжатых складок северо-восточного простирания, нарушенных, в свою очередь, многочисленными разломами преимущественно север-северо-восточного и меридионального простирания с доминированием левосдвиговых перемещений вдоль них.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования были раннемеловые терригенные породы, расположенные в южной части

Журавлевского террейна. Были изучены 14 наиболее представительных разрезов общей протяженностью более 75 км. Это или естественные береговые обнажения вдоль рек, или горные выработки (рис. 2). Условия залегания и текстуры пород изучались в обнажениях и в пришлифованных образцах. Для аналитических исследований отбирались образцы терригенных пород, наименее затронутые вторичными преобразованиями, что контролировалось петрографическими наблюдениями.

Петрографический состав пород исследовался с помощью поляризационного микроскопа. Тяжелые минералы песчаников извлекались и определялись общепринятыми методами. При подсчетах минералов учитывались лишь обломочные минералы, а аутигенные исключались с тем, чтобы максимально надежно выявить состав и относительную роль источников питания. Химический состав тяжелых минералов определен на рентгено-спектральном микроанализаторе JXA-8100. При интерпретации процентного соотношения и химического состава тяжелых минералов применялась разработанная в лаборатории осадочной геологии ДВГИ ДВО РАН оригинальная методика, позволяющая распознавать в геологическом прошлом аналоги современных геодинамических обстановок [8, 9, 28, 29]. Содержания петрогенных элементов в породах определялись традиционным весовым химическим методом. Все анализы выполнены в лабораториях ДВГИ ДВО РАН.

СТРОЕНИЕ И СОСТАВ РАЗРЕЗОВ

Из-за плохой обнаженности, значительного перекрытия отложений позднемеловыми вулканитами, а также сложной тектонической обстановки стратиграфическая колонка отложений Журавлевского террейна составлена из многочисленных фрагментов, характеризующих строение различных тектонических блоков (рис. 2, 3). Разрез отложений расчленен на 8 свит, согласно перекрывающих друг друга, возраст которых – от берриаса до позднего альба.

Залегающая в основании видимого разреза **журавлевская свита** (верхний берриас–нижний валанжин) [11] представлена преимущественно алевролитами и аргиллитами, содержащими прослои песчаников, пачками ритмичного переслаивания песчаников, алевролитов и аргиллитов с мощностями элементарных ритмов (циклитов) от 3–5 см до 20–30 см, а также редкими горизонтами микститов. На левобережье р. Бикин в разрезе свиты описаны единичные потоки базальтов с внутриплитовыми геохимическими характеристиками [5]. Мощность свиты – до 1800 м.

Вышележащая **ключевская свита** (валанжин) по литологическим признакам расчленена на 5 толщ.

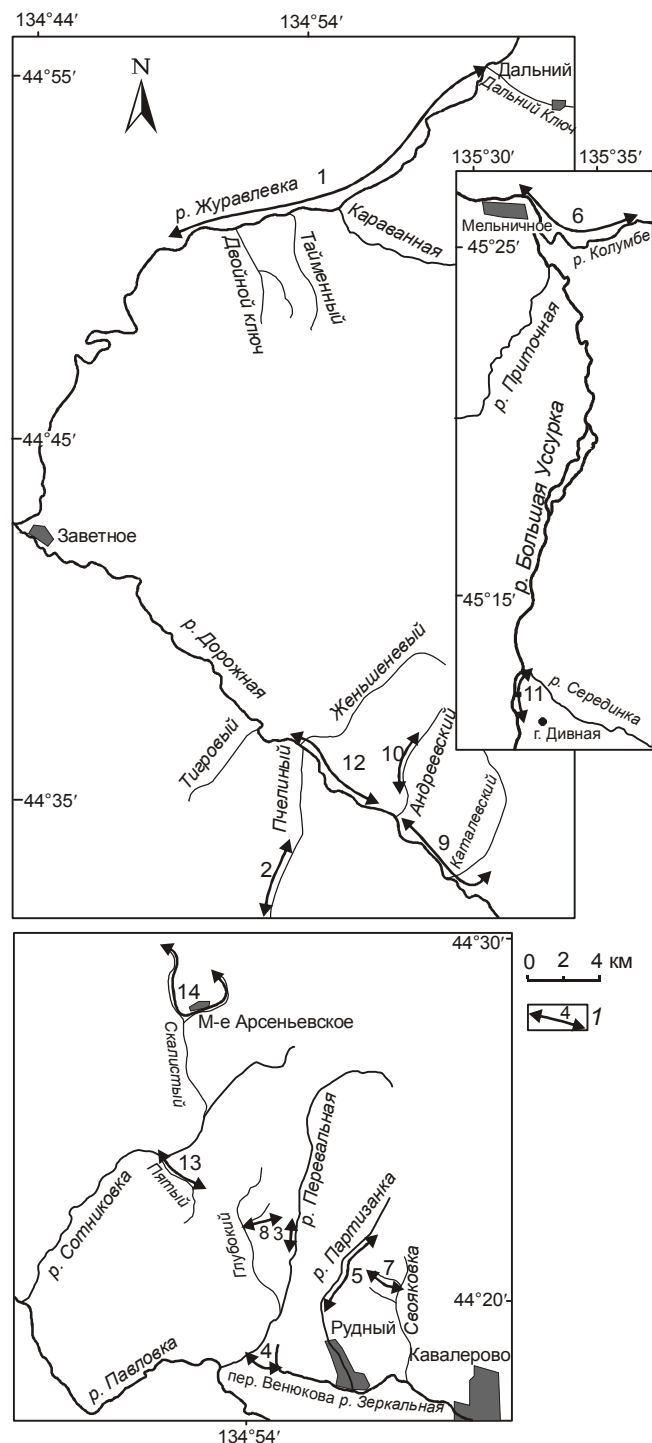


Рис. 2. Схема расположения изученных разрезов Журавлевского террейна.

I – изученные разрезы и их номера (см. колонки на рис. 3).

I толща сложена разнозернистыми песчаниками с растительным детритом и прослоями песчанистых алевролитов, гравелитов и конгломератов (700 м); *II толща* состоит преимущественно из алевролитов с редкими прослоями песчаников и пачками ритмично-

го переслаивания песчаников и алевролитов (600 м); *III толща* представлена в нижней части песчаниками, а в верхней – пачками ритмичного переслаивания песчаников и алевролитов, а также отдельными горизонтами гравелитов и конгломератов (570 м); *IV толща* состоит из чередующихся разнозернистых песчаников и алевролитов, а также отдельных пачек ритмичного переслаивания песчаников и алевролитов и горизонтов микститов (850 м); *V толща* сложена алевролитами и аргиллитами, иногда кремнистыми, содержащими редкие прослои песчаников (530 м). Суммарная мощность свиты – до 3250 м.

Возраст журавлевской и ключевской свит установлен на основании находок фауны, преимущественно бухий, значительно реже – аммонитов [2, 11].

Усть-колумбинская свита (готерив) сложена мелко-среднезернистыми песчаниками, содержащими маломощные прослои алевролитов, а также пачки ритмичного переслаивания песчаников и алевролитов. Мощность свиты до 2160 м.

Приманкинская свита (поздний готерив–баррем) в нижней части сложена пачками тонкого ритмичного переслаивания мелкозернистых песчаников и алевролитов с мощностью циклитов 3–10 см, разделенных редкими прослоями средне-крупнозернистых песчаников, содержащих обильный растительный детрит. В верхней части преобладают песчанистые алевролиты с редкими тонкими прослоями песчаников. Мощность свиты 700 м.

Готерив–барремский возраст усть-колумбинской и приманкинской свит определяется лишь на основании редких находок призматических слоев и единичных сохранившихся экземпляров раковин иноцерамов [2, 11].

Каталевская свита (апт) в основном состоит из мощных горизонтов разнозернистых песчаников, часто содержащих углефицированный растительный детрит и угловатые обломки алевролитов, разделенных пачками груборитмичного переслаивания песчаников и алевролитов с явным преобладанием песчаников, а также прослоями алевролитов, гравелитов и конгломератов. Мощность свиты – до 1560 м.

Дивнинская свита (ранний альб) сложена алевролитами и аргиллитами с редкими тонкими (до 30 см) прослоями мелкозернистых песчаников. В алевролитах часто встречается углефицированный растительный детрит. В бассейне р. Бол. Уссурка среди алевролитов отмечаются редкие пакеты ритмичного переслаивания песчаников и алевролитов с преобладанием последних, пласты мелко-среднезернистых песчаников, микститов, а также линзы гравелитов и конгломератов. Верхняя часть разреза здесь сложена толщей микститов: алевролитов, содержа-

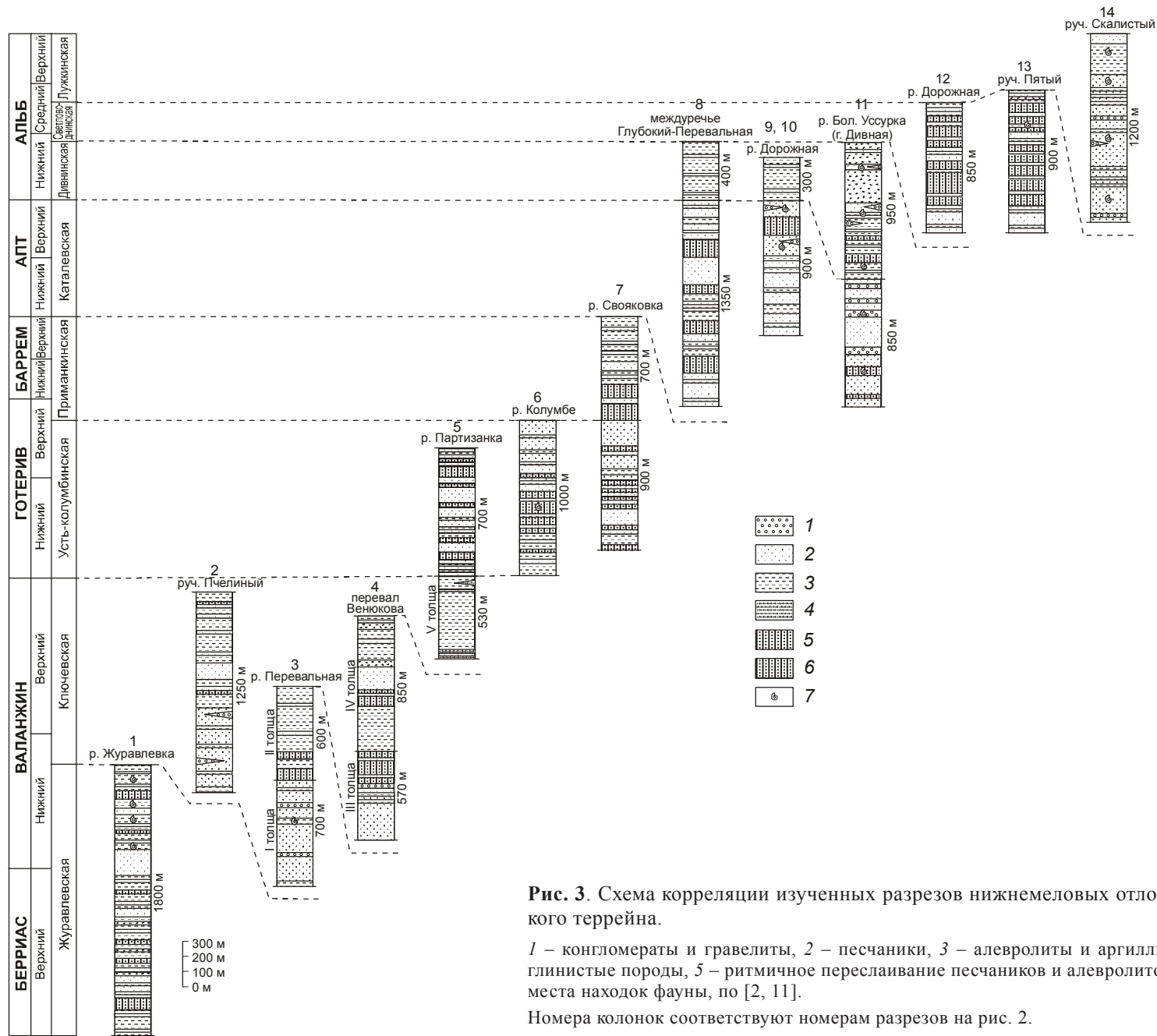


Рис. 3. Схема корреляции изученных разрезов нижнемеловых отложений Журавлевского террейна.

1 – конгломераты и гравелиты, 2 – песчаники, 3 – алевролиты и аргиллиты, 4 – кремнисто-глинистые породы, 5 – ритмичное переслаивание песчаников и алевролитов, 6 – микститы, 7 – места находок фауны, по [2, 11].

Номера колонок соответствуют номерам разрезов на рис. 2.

щих различного размера обломки песчаников и кремней. В микститах – прослой песчаников с линзами гравелитов. Мощность свиты до 950 м.

Облик **светловоднинской свиты** (ранний и средний альб) определяют пачки (150–300 м) ритмичного переслаивания песчаников и алевролитов. Мощности ритмов в них колеблются от 5–10 до 50–100 см. Соотношение песчаник/алевролит в ритмах чаще всего равное, и лишь иногда преобладает тот или иной компонент. Монотонная толща переслаивания иногда прерывается отдельными горизонтами алевролитов, микститов и песчаников, которые преобладают в нижней части свиты. Мощность свиты – до 2000 м.

Апт-раннеальбский возраст катаевской, дивинской и светловоднинской свит установлен по многочисленным находкам ауцеллин и аммонитов [2, 11].

Венчает разрез нижнемеловых отложений террейна **лужинская свита** (средний и поздний альб), сложенная песчаниками и песчанистыми алевролитами часто с углефицированным растительным детритом, содержащими редкие горизонты и линзы конгломератов, гравелитов и алевролитов. Возраст свиты устанавливается по многочисленным находкам характерного тригониево-актаеонеллового комплекса фауны [2, 11]. Мощность свиты – до 1200 м.

Таким образом, особенностями строения и состава барриас-альбских отложений Журавлевского террейна являются: 1) отчетливое различие берриас-аланжинской и готерив-альбской частей разреза. Для нижней части (журавлевская и ключевская свиты) свойственно преобладание в разрезе глинистых пород, а также присутствие горизонтов микститов и маломощных потоков базальтов. Характерной особенностью готерив-альбской части разреза является преобладание песчаников и наличие многочисленных пачек турбидитов; 2) разделение разреза на четыре мегаритма мощностью от 1.5 до 3 км, в основании каждого из которых преобладают песчаники, а в кровле – алевролиты; 3) значительная (до 13000 м) мощность отложений.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД И ЕГО ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Детально изучался вещественный состав песчаников, поскольку они несут наибольшую информацию о типе и составе питающих провинций, а также о геодинамических обстановках областей седиментации. Как дополнительные привлекались данные по составу глинисто-алевритовых и грубообломочных пород.

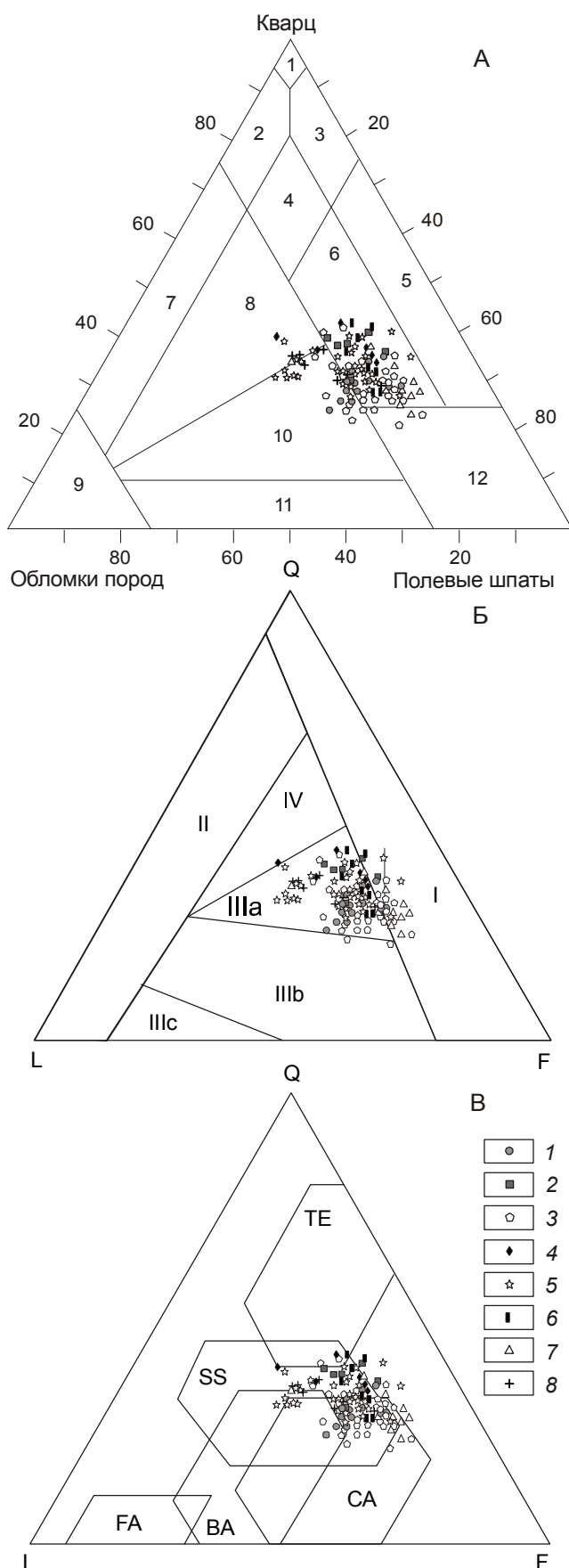
Песчаные породы во всех свитах, как правило, мелко- и среднезернистые, значительно реже крупнозернистые до гравелистых. Сортировка их довольно

хорошая, но с увеличением размерности она ухудшается. Иногда в песчаниках присутствуют рассеянные по всему объему породы мелкие (до 2 см), часто остроугольные обломки алевролитов и аргиллитов. Песчаные зерна обычно угловато-окатанные и полуокатанные, реже угловатые и окатанные. Наиболее хорошо окатаны зерна кислых интрузивных, кремнистых и осадочных пород, а наименее – эффузивных и метаморфических.

По составу породообразующих компонентов все изученные песчаники во многом близки и в целом относятся к полимиктовым. Обломочная часть занимает 70–90 % их объема и состоит из кварца, полевых шпатов, биотита, обломков терригенных, кремнистых, карбонатных, интрузивных, эффузивных и метаморфических пород, а также рудных минералов. На классификационной диаграмме В.Д. Шутова [19] (рис. 4А) песчаники образуют единое поле, относясь главным образом к граувакковым аркозам и, меньше, к кварцево-полевошпатовым и полевошпатово-кварцевым грауваккам.

Кварц – преобладающий компонент песчаников, его общее содержание колеблется от 21 до 42 % (табл. 1). Наиболее распространен монокристаллический интрузивный кварц. Обычно это изометричные или слабо удлиненные зерна, насыщенные мельчайшими газово-жидкими включениями, а также игольчатым рутилом. Значительно реже встречаются чистые, часто с волнистым погасанием, неправильные, вытянутые, остроугольные либо слабо окатанные зерна эффузивного кварца и удлиненные, обычно поликристаллические с неправильными контурами зерна метаморфического кварца. Полевых шпатов в песчаниках от 23 до 62 %. Это преимущественно вытянутые, таблитчатые, реже изометричные зерна кислых плагиоклазов: альбита и олигоклаза. Среди калиевых полевых шпатов в основном преобладают изометричные пелитизированные зерна ортоклаза, значительно реже встречается решетчатый микроклин. Основные и средние плагиоклазы редки. Среди обломков пород, количество которых составляет от 15 до 45 %, преобладают кремневые и терригенные породы, в несколько меньших количествах содержатся обломки метаморфических и кислых изверженных пород, обломки же эффузивных и карбонатных пород крайне редки. Глинистая составляющая песчаных пород всех свит довольно однообразна и представлена, главным образом, гидрослюдой (до 90 %), а также смектитом и хлоритом.

Таким образом, породообразующие компоненты песчаников позволяют предполагать, что исходные породы главной питающей провинции в период накопления отложений Журавлевского террейна были сложены комплексом разнообразных осадоч-



ных, кислых интрузивных и метаморфических пород. Преимущественно аркозовый состав песчаников свидетельствует о размыве гранитно-метаморфической коры. Можно также предполагать, что кремневые и терригенные породы, составляющие порою значительную часть обломков песчаников, являются результатом размыва фрагментов юрской аккреционной призмы (Самаркинский террейн), в современной структуре непосредственно примыкающих с запада-северо-запада к Журавлевскому террейну.

Геологическая интерпретация состава породообразующих компонентов песчаников осуществлялась по широко известным методикам, предложенным В. Диккинсоном, К. Сучеком, Дж. Мейнардом и др. На диаграмме В. Диккинсона и К. Сучека [24], выявляющей тектонические типы источников питания (рис. 4Б), видно, что песчаники Журавлевского террейна могли формироваться как за счет размыва выступов кристаллического фундамента, располагавшихся вдоль рифтовых поясов или трансформных разломов (I), так и за счет полнокристаллических батолитов, слагавших корневые части зрелых, глубоко эродированных магматических дуг (IIIa). Геотектонические обстановки самих бассейнов седиментации реконструируются при помощи диаграммы Дж. Мейнарда и соавторов [28] (рис. 4В), на которой изученные песчаники наиболее соответствуют бассейнам, сопряженным с континентальными окраи-

Рис. 4. Породообразующие компоненты песчаников из нижнемеловых отложений Журавлевского террейна и их палеогеодинамическая интерпретация.

А – классификационная диаграмма типов пород [19]. Поля: 1–4 – кварцевые песчаники: 1 – мономиктовые кварцевые, 2 – кремнекласитово-кварцевые, 3 – полевошпатово-кварцевые, 4 – мезомиктовые кварцевые; 5–6 – аркозовые песчаники: 5 – чистые аркозы, 6 – граувакковые аркозы; 7–11 – граувакковые песчаники: 7 – кварцевые граувакки, 8 – полевошпатово-кварцевые граувакки, 9 – собственно граувакки, 10 – кварцево-полевошпатовые граувакки, 11 – полевошпатовые граувакки; 12 – кристаллотуфы.

Б – типы источников питания [24]. I – устойчивые кратоны и поднятые блоки основания, II – ремобилизованные орогены, III – магматические дуги (IIIa – расчлененные, глубоко эродированные, IIIb – переходные, IIIc – нерасчлененные, слабо эродированные), IV – смешанные источники питания.

В – типы бассейновых обстановок [28]. Пассивные обстановки (TE – интерконтинентальные рифты и авлакогены); бассейны активных континентальных окраин, сопряженные: со сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам (SS), с окраинно-континентальной магматической дугой (CA), с океанической вулканической дугой (бассейны: FA – преддуговые и BA – задуговые).

1–8 – свиты: 1 – журавлевская, 2 – ключевская, 3 – усть-колумбинская, 4 – приманкинская, 5 – каталевская, 6 – дивинская, 7 – светловоднинская, 8 – лужкинская.

Таблица 1. Содержания порообразующих компонентов в песчаниках Журавлевского террейна, (%).

Компонент	Журавлев- ская свита (13)	Ключев- ская свита (6)	Усть-колум- бинская свита (28)	Приманкин- ская свита (6)	Каталев- ская свита (31)	Дивнин- ская свита (8)	Светло- воднинская свита (21)	Лужкин- ская свита (7)
Кварц	24–35 29 ± 3.1	30–40 36 ± 4.5	21–41 29 ± 5.2	34–42 37 ± 2.9	26–40 33 ± 1.2	28–42 35 ± 5.5	23–37 30 ± 4.1	29–36 33 ± 2.8
Калишпаты	8–15 10 ± 2.4	5–6 5 ± 0.6	2–19 10 ± 5.7	2–7 4 ± 1.7	2–16 8 ± 1.2	2–11 5 ± 3.0	5–23 13 ± 6.3	1–6 4 ± 1.6
Основные и сред- ние плагиоклазы	0–2 1 ± 0.8	2–4 3 ± 1.0	0–5 2 ± 1.3	1–4 2 ± 1.7	0–4 2 ± 1.2	0–2 1 ± 0.9	0–4 1 ± 1.3	0–2 1 ± 0.6
Кислые плагиоклазы	32–42 37 ± 3.6	30–41 36 ± 4.6	28–49 39 ± 6.3	21–40 34 ± 7.4	21–46 35 ± 7.4	31–46 40 ± 4.9	26–51 38 ± 7.7	30–45 36 ± 6.4
Основные и сред- ние вулканиты	0–3 2 ± 0.9	1–2 2 ± 0.6	1–4 2 ± 1.1	0–2 1 ± 0.8	0–2 1 ± 0.8	0–2 1 ± 1.1	0–3 1 ± 1.2	1–3 1 ± 0.9
Кислые вулканиты	1–4 2 ± 1.1	1–4 3 ± 1.3	1–7 3 ± 1.9	1–4 2 ± 1.2	0–4 1 ± 1.2	0–3 1 ± 1.1	1–4 1 ± 1.2	1–4 3 ± 1.0
Кислые интрузив- ные породы	2–7 4 ± 1.7	2–5 4 ± 1.4	2–10 4 ± 2.1	2–8 4 ± 2.3	2–9 4 ± 1.2	1–4 2 ± 1.2	1–7 3 ± 1.6	1–2 1 ± 0.5
Метаморфи- ческие породы	1–6 3 ± 1.6	1–4 2 ± 1.5	2–11 4 ± 2.4	1–4 2 ± 1.0	2–12 5 ± 1.2	2–4 3 ± 0.7	1–9 4 ± 2.0	1–8 4 ± 2.7
Кремни	5–15 10 ± 3.6	5–9 7 ± 1.8	2–14 7 ± 2.9	5–10 8 ± 2.0	3–24 9 ± 1.2	2–10 6 ± 2.5	1–7 4 ± 1.2	5–16 13 ± 3.9
Терригенные породы	1–8 4 ± 2.0	2–7 4 ± 2.4	2–11 4 ± 2.2	3–15 7 ± 5.6	2–13 5 ± 1.2	4–13 7 ± 2.8	2–10 4 ± 1.7	3–7 5 ± 1.5
Карбонатные породы	0–2 1 ± 0.5	0–2 1 ± 0.8	0–1 1 ± 0.2	0–2 1 ± 0.8	0–3 2 ± 0.9	0–1 1 ± 0.2	0–4 1 ± 1.2	0–1 1 ± 0.2

Примечание. В каждой пробе подсчитывалось не менее 200 зерен. В числителе – пределы содержаний, в знаменателе – средние значения и величины среднеквадратичных отклонений. В скобках – количество образцов, в которых производился подсчет.

нами, осложненным сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам при малой роли вулканизма, типа Калифорнийского залива (SS), и, частично, бассейнам, связанным с окраинно-континентальными магматическими дугами (CA).

Таким образом, в целом, обстановки осадконакопления, реконструируемые по порообразующим компонентам, можно отнести к обстановкам бассейнов, сопряженных с континентальными окраинами, осложненными крупными сдвигами, т.е. к обстановкам трансформных континентальных окраин [2, 4, 26].

Известно, что различным тектоническим обстановкам седиментации свойственны свои ассоциации тяжелых минералов [9, 10, 27, 30, 31]. Тяжелые обломочные минералы в песчаниках Журавлевского террейна составляют 0.01–0.8 % всего объема породы, редко достигая 2 %. Следует отметить, что минеральный состав тяжелой фракции по разрезу изменяется незначительно. На рис. 5 показано соотношение между средними содержаниями отдельных минералов. Все тяжелые минералы, с известной долей условности, можно разделить на две минералогические ассоциации. В первую, преобладающую, сиалическую ассоциацию, часто составляющую до 100 % об-

щего количества тяжелых минералов, входят минералы, связанные с разрушением кислых изверженных и метаморфических пород: циркон, гранат, турмалин, эпидот, сфен, рутил, апатит, анатаз, брукит. Основной минерал ассоциации – циркон, среднее содержание которого – 60 %, в некоторых же пробах оно достигает 96 % от всех минералов. Он представлен в основном бесцветными или слабо окрашенными призматическими кристаллами, содержащими мелкие газово-жидкие включения, что является типоморфным признаком цирконов гранитных пород [7]. Во вторую, фемическую ассоциацию, находящуюся в подчиненном количестве (в среднем до 5 % всех минералов), входят типичные минералы вулканокластиков: орто- и клинопироксены, роговая обманка, хромит, магнетит. Анализ ассоциаций тяжелых минералов песчаников Журавлевского террейна на диаграмме *MF-MT-GM* [30, 31] (рис. 6), показывает, что на осадконакопление главное влияние оказывала размывавшаяся зрелая континентальная окраина (пассивная или трансформная), сложенная в основном кислыми изверженными и метаморфическими породами. Влияние вулканического источника на седиментацию было крайне незначительным.

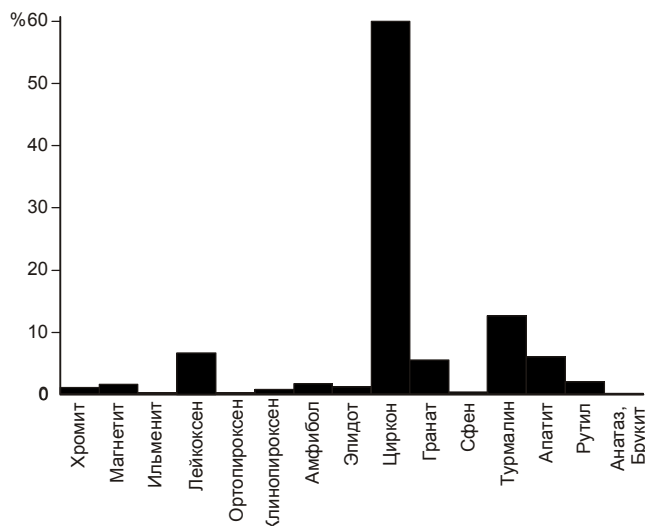


Рис 5. Характер распределения тяжелых обломочных минералов в песчаных породах Журавлевского террейна (средние содержания).

Для получения дополнительной информации о характере источников поступления тяжелых обломочных минералов был исследован химический состав обломочных гранатов и хромитов (табл. 2). Обломочные *гранаты* из песчаников по составу относятся, главным образом, к альмандину, и лишь изредка в них присутствуетgrossуляровый либо спессартитовый компонент. Судя по расположению фигуративных точек на диаграмме *Mg-Mn-Ca* [36], они происходили, скорее всего, из размывавшихся метаморфических пород гранулитовой и амфиболитовой фаций, а также кислых интрузивных пород (рис. 7). Источником гранатов, вероятно, была зрелая континентальная земная кора, в строении которой участвовали достаточно глубоко метаморфизованные породы и гранитоиды. Обломочные *хромиты* по химическому составу очень однородны. Отличительной их особенностью является отсутствие либо крайне низкие содержания титана. На диаграмме $Al_2O_3-Cr_2O_3-10TiO_2$ [20] (рис. 8) они соответствуют хромитам дунит-гарцбургитовой альпино-типной формации. В числе источников хромитов были, вероятно, гипербазиты офиолитов, входивших в состав юрской аккреционной призмы Самаркинского террейна, располагающегося к западу-северо-западу от Журавлевского седиментационного бассейна.

Таким образом, состав тяжелых минералов песчаников показывает, что основным источником клас-тики была зрелая континентальная окраина, сложенная кислыми изверженными и метаморфическими породами. В меньшей мере размывались комплексы офиолитов, вероятно принадлежащих фрагментам домеловых активных окраин.

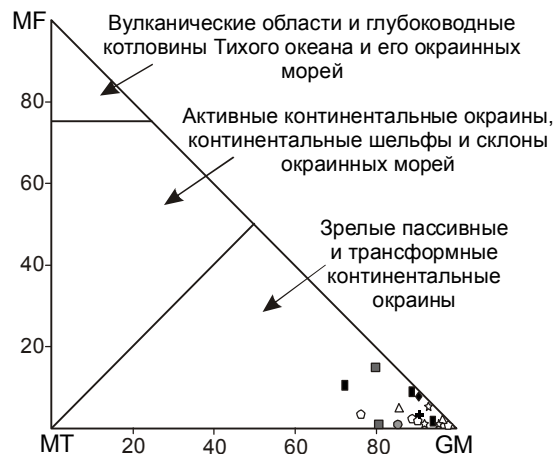


Рис 6. Сравнение состава тяжелой фракции песчаников из нижнемеловых отложений Журавлевского террейна с современными осадками из различных геодинамических обстановок [30, 31] (средние содержания в свитах по отдельным разрезам).

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. рис. 4.

По химическому составу (табл. 3) песчаники Журавлевского террейна довольно однородны, отмечаются лишь незначительные его колебания в отдельных пробах: SiO_2 в них от 65.55 до 85.90%, TiO_2 (0.08–0.53 %), Al_2O_3 (6.55–15.27 %), $FeO+Fe_2O_3$ (0.84–5.97 %), MgO (0.21–1.93 %), CaO (0.02–5.58 %), Na_2O (0.04–5.64 %), K_2O (0.75–3.56 %). По этим геохимическим параметрам они близки к кислым изверженным породам и занимают промежуточное положение между аркозами и граувакками [15].

Поскольку абсолютные содержания породообразующих оксидов отражают состав не только обломочной части терригенных пород, но и их цемента, более объективно их геохимические особенности выявляются при рассмотрении ряда наиболее информативных петрохимических модулей и модульных диаграмм (табл. 3, рис. 9) [21, 22]. По этим показателям песчаники близки друг другу и характеризуются: 1) относительно невысоким уровнем зрелости (гидролизатный модуль ГМ от 0.10 до 0.29), что свидетельствует об их образовании за счет преимущественно механического разрушения материнских пород при подчиненной роли химического выветривания; 2) низким показателем фемичности (фемический модуль ФМ от 0.02 до 0.09), что хорошо согласуется с низким содержанием в них обломков основных вулканитов, но высоким – кварца, кремнистых пород, гранитоидов; по этому показателю они занимают промежуточное положение между граувакками

Таблица 2. Химический состав (вес. %) гранатов и хромитов из песчаников Журавлевского террейна.

Номер пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Сумма
Гранаты									
Ж-21/1	36.92	-	21.33	-	35.52	0.57	4.36	0.79	99.49
Ж-21/2	36.91	-	20.85	-	36.09	0.61	4.58	0.74	99.78
Ж-21/3	36.48	-	20.81	-	34.94	2.98	2.64	1.73	99.58
Ж-21/4	36.74	-	21.00	-	35.49	2.60	2.80	1.97	100.60
Ж-21/5	38.95	-	22.38	-	31.46	0.50	4.85	0.83	98.97
Ж-21/6	37.77	-	21.33	-	34.18	2.45	2.77	1.64	100.14
Ж-31/1	43.14	-	40.66	-	10.22	2.16	3.59	-	99.77
Ж-31/2	43.18	0.99	36.62	-	10.56	2.91	5.21	0.33	99.80
Ж-31/3	43.34	0.73	36.99	-	10.20	2.95	5.56	0.27	100.04
Ж-31/4	43.34	0.37	36.64	-	10.13	3.26	5.91	0.34	99.99
Ж-33/1	36.79	-	20.70	-	36.74	1.19	2.77	1.97	100.16
Ж-33/2	37.29	-	20.49	-	35.25	0.89	4.61	1.16	99.69
Ж-33/3	36.93	-	20.85	-	35.28	0.66	4.68	1.04	99.44
Ж-33/4	36.47	-	20.27	-	36.83	1.19	2.70	1.97	99.43
Ж-33/5	41.87	-	23.84	-	26.66	0.63	5.16	1.17	99.33
Ж-33/6	38.31	-	21.13	-	34.39	1.29	2.89	1.96	99.97
Ж-33/7	41.83	-	22.41	-	28.12	0.73	5.58	1.34	100.01
Ж-45	37.04	0.05	20.25	0.07	34.98	1.51	4.08	1.21	99.19
Ж-56/1	37.08	0.07	20.43	0.04	29.63	9.35	2.03	0.60	99.22
Ж-56/2	38.35	0.02	20.81	0.11	29.86	0.56	8.04	1.06	98.82
Ж-56/3	38.00	-	21.25	0.06	30.34	0.53	8.39	1.12	99.69
Ж-56/4	39.43	0.11	21.93	0.14	31.90	0.76	6.98	1.03	102.27
Ж-56/5	38.02	0.01	20.30	0.04	34.75	2.13	4.44	1.04	100.72
Ж-56/6	37.55	0.18	20.71	0.01	33.83	2.21	4.46	0.68	99.63
Ж-57/1	37.19	0.01	20.25	-	34.61	1.59	3.48	2.24	99.38
Ж-57/2	37.11	0.09	20.68	0.14	34.64	1.40	3.58	2.45	100.08
Ж-57/3	36.66	0.09	20.47	0.09	36.85	0.98	1.41	2.87	99.41
Ж-84	37.13	-	20.70	0.06	35.14	0.80	4.09	1.31	99.23
Ж-85	37.92	0.04	21.25	-	30.27	3.70	5.74	1.39	100.32
Жр-15/1	37.56	-	21.51	-	22.20	10.00	6.81	1.19	99.27
Жр-15/2	36.34	-	21.28	-	34.76	1.33	4.54	0.78	99.03
Жр-24/1	37.22	-	21.17	-	31.35	0.90	7.38	1.27	99.29
Жр-24/2	37.75	-	21.77	-	30.10	0.59	8.36	1.05	99.64
Жр-63/1	36.35	-	20.92	-	24.74	9.26	2.41	6.55	100.24
Жр-63/2	37.13	-	21.36	-	31.84	0.71	6.88	1.41	99.33
Жр-63/3	34.56	0.48	19.08	-	14.48	27.78	0.78	0.83	97.98
Жр-63/4	34.88	0.45	19.58	-	14.06	28.02	1.10	0.86	98.95
Жр-88/1	37.94	-	22.16	-	33.23	0.56	6.57	1.14	101.59
Жр-88/2	37.50	-	21.93	-	33.40	0.53	6.63	1.10	101.08
Хромиты									
Ж-1/1	-	-	6.17	64.77	18.66	-	9.41	-	99.01
Ж-1/2	-	-	2.76	68.62	19.58	0.30	8.63	-	99.89
Ж-1/3	-	-	9.48	56.49	25.39	0.82	7.41	-	99.59
Ж-1/4	-	-	3.31	68.43	19.28	0.75	8.33	-	100.10
Ж-1/5	-	-	9.52	59.25	22.70	-	8.40	-	99.87
Ж-1/6	-	-	9.52	57.14	24.52	0.80	8.34	-	100.32
Ж-2/1	-	-	11.67	60.31	15.32	0.41	11.31	-	99.02
Ж-2/2	-	-	10.76	55.66	25.69	-	6.32	-	98.43
Ж-2/3	-	-	10.38	62.07	16.08	0.46	11.04	-	100.03
Ж-2/4	-	-	10.27	61.90	16.46	0.46	11.08	-	100.17
Ж-2/5	-	-	10.79	56.69	25.12	0.26	7.57	-	100.43
Ж-2/6	-	-	10.49	56.55	25.82	0.32	6.58	-	99.76
Ж-2/7	-	-	11.55	60.37	15.52	0.29	11.67	-	99.40
Ж-2/8	-	-	11.85	58.69	16.88	0.77	10.72	-	98.91

Таблица 2. (Продолжение).

Номер пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Сумма
Ж-2/9	-	-	11.57	62.68	13.60	-	11.77	-	99.62
Ж-23/1	-	-	7.35	63.19	19.84	0.53	9.54	-	100.45
Ж-23/2	-	-	6.71	63.16	20.11	0.31	8.36	-	98.64
Ж-23/3	-	-	7.00	64.77	17.90	0.53	10.95	-	101.15
Ж-23/4	-	-	6.52	65.66	18.43	0.38	9.70	-	100.69
Ж-23/5	-	-	6.85	64.61	17.64	0.59	9.54	-	99.23
Ж-23/6	-	-	6.99	65.38	18.43	-	9.01	-	99.81
Ж-30/1	-	-	5.24	64.64	20.54	0.37	8.41	-	99.20
Ж-30/2	-	-	12.93	58.34	17.18	0.25	10.51	-	99.21
Ж-30/3	-	-	5.20	65.29	20.34	0.15	7.71	-	98.68
Ж-30/4	-	-	12.99	57.82	17.58	0.50	10.69	-	99.58
Ж-30/5	-	-	5.20	65.81	19.04	-	8.32	-	98.37
Ж-30/6	-	-	13.47	57.34	18.77	-	10.20	-	99.78
Ж-31/1	-	-	10.88	57.92	21.53	-	7.88	-	98.98
Ж-31/2	-	-	11.24	59.37	20.42	-	7.45	-	98.48
Ж-33/1	-	-	13.69	58.07	14.47	-	12.31	-	98.54
Ж-33/2	-	-	22.50	49.39	13.39	0.23	14.44	-	99.96
Ж-33/3	-	-	14.14	58.16	14.01	0.34	12.67	-	99.32
Ж-33/4	0.18	0.18	6.97	63.96	17.64	-	10.96	-	99.89
Ж-33/5	0.05	0.01	18.35	52.61	17.31	-	11.29	-	99.62
Ж-45/1	0.04	0.44	23.37	43.34	19.97	-	11.50	-	98.65
Ж-45/2	0.05	0.11	17.75	48.04	23.63	-	9.76	-	99.34
Ж-56	0.18	0.48	11.99	52.90	22.52	-	10.50	-	98.56
Ж-64/1	-	0.04	15.23	55.97	14.39	-	12.75	-	98.39
Ж-64/2	0.11	-	15.90	53.63	16.25	-	11.76	-	97.64
Ж-64/3	0.19	0.03	16.09	54.14	15.88	-	11.73	-	98.07
Ж-64/4	0.22	-	13.51	59.23	14.41	-	12.60	-	99.97
Ж-74	0.10	0.20	21.28	43.17	22.68	-	10.55	-	97.99
Ж-76/1	0.33	2.05	10.95	48.32	23.26	-	13.00	-	97.91
Ж-76/2	0.08	0.64	10.66	51.58	26.47	-	9.42	-	98.84
Ж-85	0.10	0.27	14.86	51.04	18.87	-	12.76	-	97.89
Жр-15	-	0.64	9.94	48.67	31.92	0.64	7.42	-	99.23
Жр-22	-	2.04	13.00	45.05	27.37	0.78	11.24	-	99.48
Жр-63	-	-	8.27	64.08	18.03	0.70	9.69	-	100.77

Примечание. FeO* – общее железо. Прочерк – не обнаружено. Анализы выполнены на рентгено-спектральном микроанализаторе JXA-8100 в ДВГИ ДВО РАН Н.И. Екимовой и Г.Б. Молчановой.

и аркозами; 3) низкой титанистостью (титановый модуль ТМ от 0.009 до 0.042), что связано с примесью в песчаниках обломков кислых изверженных пород, в свою очередь отличающихся низкими значениями ТМ, а также практически полным отсутствием основной вулканокластики; 4) относительно высокой нормативной щелочностью (модуль нормативной щелочности НКМ от 0.30 до 0.69), характерной для аркозов, отражающей довольно высокое содержание в них слюд и полевых шпатов, в том числе калиевых.

По химическому составу глинисто-алевритовые породы близки к песчаникам, отличаясь от них меньшими содержаниями SiO₂ (от 58.90 до 73.51 %) и Na₂O (0.39–3.59 %), но большими – Al₂O₃ (11.38–20.79 %), TiO₂ (0.18–0.90 %), FeO+Fe₂O₃ (1.69–7.14 %), CaO (0.08–6.04 %), MgO (0.14–2.81 %) и

K₂O (1.37–5.16 %) (табл. 3). Кроме того, в глинисто-алевритовых породах выше значения гидролизатного (0.21–0.45), фемического (0.04–0.17) и титанового (0.022–0.054) модулей, но ниже значения модуля нормативной щелочности (0.28–0.45), что, очевидно, связано с меньшими содержаниями в них кварца и полевых шпатов и большим – глинистого вещества, а также, вероятно, с тем, что при формировании терригенных отложений не происходило существенной механической дифференциации пелитовой и псаммитовой фракций [22]. На модульных диаграммах (рис. 9) глинисто-алевритовые породы довольно четко обособляются от поля, занимаемого песчаниками, вместе с тем образуя с ними положительную корреляцию между парами ФМ-ТМ, ГМ-ТМ и отрицательную между ГМ-НКМ, ФМ-НКМ, ТМ-НКМ и

Таблица 3. Средний химический состав (% массы) терригенных пород Журавлевского террейна по отдельным изученным разрезам.

Место отбора проб	n	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	п.п.п.	H ₂ O ⁻	Сумма	ГМ	ТМ	ФМ	НКМ
Песчаные породы																			
Журавлевская свита																			
р. Журавлевка	8	75.33	0.21	12.05	1.40	1.20	0.04	0.83	0.58	3.43	2.72	0.10	1.51	0.18	99.58	0.20	0.018	0.05	0.51
Ключевская свита																			
р. Перевальная	3	80.56	0.19	8.89	1.62	0.48	0.09	0.43	1.38	2.63	1.16	0.14	2.24	0.07	99.84	0.14	0.022	0.03	0.42
Усть-колумбинская свита																			
р. Свояковка	2	73.75	0.27	10.44	1.48	1.01	0.06	1.27	3.24	2.89	1.80	0.19	3.19	0.21	99.80	0.18	0.026	0.05	0.45
р. Партизанка	2	73.84	0.35	9.33	1.99	1.05	0.06	1.27	3.41	2.58	2.00	0.17	3.76	0.26	100.07	0.17	0.038	0.06	0.49
р. Партизанка	5	74.60	0.34	9.04	1.73	0.93	0.07	1.36	3.93	1.14	1.88	0.18	4.45	0.27	99.92	0.16	0.038	0.05	0.33
р. Колумбе	6	70.29	0.44	14.43	1.56	1.56	0.05	1.11	1.22	4.57	2.52	0.14	1.87	0.10	99.86	0.26	0.030	0.06	0.49
Приманкинская свита																			
р. Свояковка	4	76.89	0.31	9.87	3.23	0.72	0.07	0.72	1.07	2.67	1.81	0.17	2.16	0.18	99.86	0.19	0.031	0.06	0.45
Каталевская свита																			
руч. Глубокий–	5	75.10	0.34	12.06	1.65	1.36	0.04	0.68	0.70	2.74	3.03	0.16	1.73	0.24	99.83	0.21	0.028	0.05	0.48
р. Перевальная	6	72.12	0.3	11.59	2.11	0.85	0.05	0.82	2.35	1.4	3.28	0.09	4.4	0.27	99.63	0.21	0.026	0.05	0.40
р. Дорожная	6	82.92	0.13	7.51	1.51	1.17	0.03	0.47	0.21	1.64	2.19	0.17	1.76	0.19	99.90	0.12	0.017	0.04	0.51
Дивнинская свита																			
р. Бол. Уссурка	2	80.70	0.17	8.15	1.50	1.29	0.01	0.67	0.07	2.59	1.60	1.05	2.17	0.20	100.17	0.14	0.021	0.04	0.51
Светловоднинская свита																			
руч. Пятый	5	71.52	0.38	12.61	1.97	1.32	0.13	0.66	2.13	2.86	2.62	0.14	3.27	0.24	99.85	0.23	0.030	0.06	0.43
р. Дорожная	6	72.08	0.26	12.28	1.03	1.61	0.11	0.89	2.29	4.1	2.36	0.11	2.78	0.07	99.97	0.21	0.021	0.05	0.53
Лужкинская свита																			
руч. Скалистый	5	70.80	0.58	14.59	1.49	1.28	0.03	0.81	2.25	0.49	3.75	0.24	3.71	0.16	100.18	0.16	0.027	0.03	0.42
Глинисто-алевритовые породы																			
Журавлевская свита																			
р. Журавлевка	6	66.20	0.56	16.19	3.00	1.86	0.05	1.70	0.44	2.45	3.38	0.16	3.15	0.44	99.57	0.33	0.034	0.10	0.36
Ключевская свита																			
р. Партизанка	2	66.35	0.69	14.77	5.14	0.27	0.19	1.70	1.55	1.61	3.28	0.28	3.95	0.00	99.78	0.32	0.047	0.11	0.33
пер. Венюкова	3	67.16	0.58	15.83	3.64	0.42	0.12	0.90	2.24	1.98	2.98	0.22	3.56	0.08	99.71	0.31	0.037	0.08	0.31
р. Перевальная	4	67.45	0.62	15.41	2.82	1.59	0.04	1.05	1.62	2.46	3.45	0.23	2.99	0.09	99.82	0.30	0.040	0.08	0.38
Усть-колумбинская свита																			
р. Партизанка	2	65.65	0.55	12.04	4.04	0.22	0.15	2.48	4.51	1.28	3.13	0.35	5.55	0.30	100.25	0.26	0.046	0.10	0.37
р. Колумбе	4	64.94	0.58	16.45	3.13	2.26	0.05	1.83	0.58	3.34	3.18	0.19	2.88	0.31	99.72	0.35	0.035	0.11	0.40
Приманкинская свита																			
р. Свояковка	5	69.30	0.51	13.94	4.19	0.5	0.08	1.32	0.92	2.04	2.82	0.21	3.79	0.04	99.66	0.28	0.037	0.09	0.35

Таблица 3. (Продолжение).

Место отбора проб	n	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	п.п.п.	H ₂ O ⁺	Сумма	ГМ	ТМ	ФМ	НКМ
Каталевская свита																			
руч. Глубокий-р. Перевальная	3	64.17	0.77	16.94	2.79	2.41	0.05	1.54	1.14	2.56	3.70	0.24	3.36	0.21	99.88	0.36	0.045	0.11	0.37
р. Дорожная	2	62.17	0.77	18.22	4.08	0.97	0.03	1.27	0.36	1.22	4.75	0.13	5.00	0.71	99.68	0.39	0.042	0.10	0.33
р. Бол. Уссурия	2	66.11	0.59	13.8	3.25	2.53	0.09	1.83	0.69	1.56	3.43	0.85	4.61	0.58	99.92	0.31	0.043	0.12	0.36
Дивинская свита																			
руч. Глубокий-р. Перевальная	5	62.98	0.69	15.97	4.23	0.78	0.06	1.88	2.95	2.53	3.39	0.34	3.85	0.07	99.72	0.35	0.043	0.11	0.37
руч. Андреевский	4	62.54	0.63	15.94	4.19	1.51	0.04	1.76	1.49	2.03	3.46	0.17	5.41	0.54	99.71	0.36	0.040	0.12	0.349
р. Бол. Уссурия	5	66.10	0.51	12.83	2.1	3.1	0.03	1.63	0.75	2.12	3.28	1.63	5.17	0.82	100.07	0.28	0.040	0.10	0.42
Светловодинская свита																			
руч. Пятый	2	62.55	0.7	18.38	3.27	1.84	0.07	1.45	0.35	2.82	3.61	0.37	4.24	0.10	99.75	0.39	0.038	0.11	0.35
р. Дорожная	6	66.10	0.66	16.17	2.35	2.46	0.03	1.91	0.70	2.09	3.93	0.18	3.16	0.20	99.94	0.33	0.041	0.10	0.37
Лужинская свита																			
руч. Скалистый	3	70.80	0.58	14.59	1.49	1.28	0.03	0.81	2.25	0.49	3.75	0.24	3.71	0.16	100.18	0.25	0.040	0.051	0.29

Примечание. n – количество анализов. Анализы выполнены в ДВГИ ДВО РАН А.И. Малыкиной, В.Н. Каминской, В.Н. Залевской и В.У. Крамаренко.

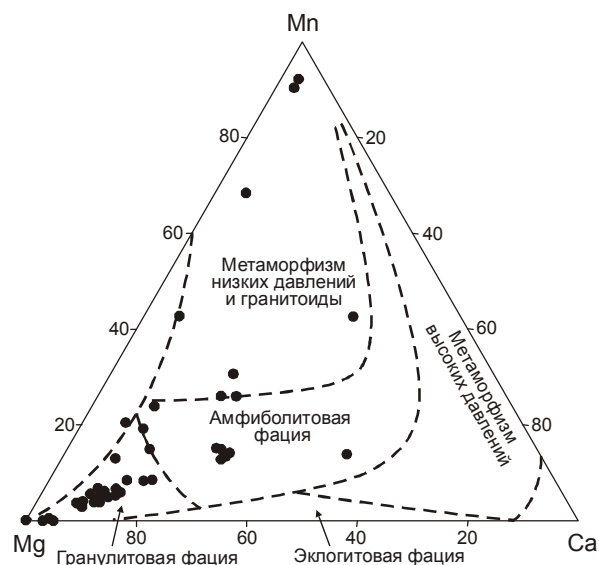


Рис. 7. Диаграмма состава обломочных гранатов из различных метаморфических пород и гранитоидов [36].

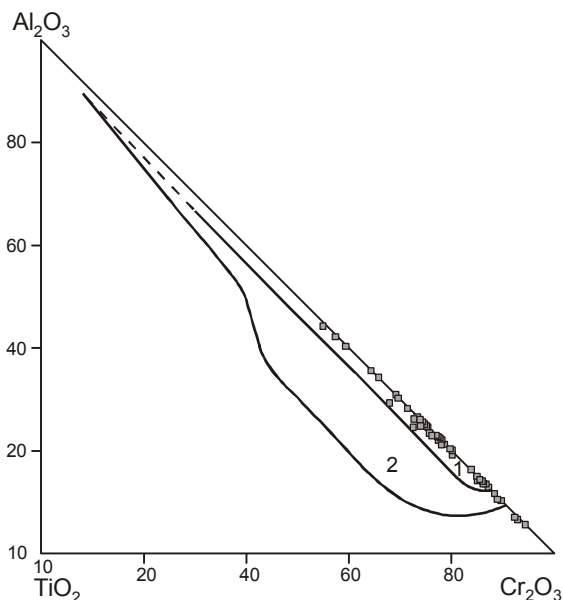


Рис. 8. Диаграмма состава обломочных хромитов из различных магматических пород [20].

Линиями ограничены поля хромитов: 1 – дунит-гарцбургитовой (альпинотипной) формации, 2 – базальтоидных гипербазитов.

ФМ-SiO₂, что свидетельствует о преимущественно петрогенной (за счет размыва кислых интрузивов) природе изученных пород.

Генетическая интерпретация химического состава терригенных пород, основанная на тех же принципах, что и интерпретация породообразующих компонентов песчаников, приведена на дискриминационных диаграммах (рис. 10).

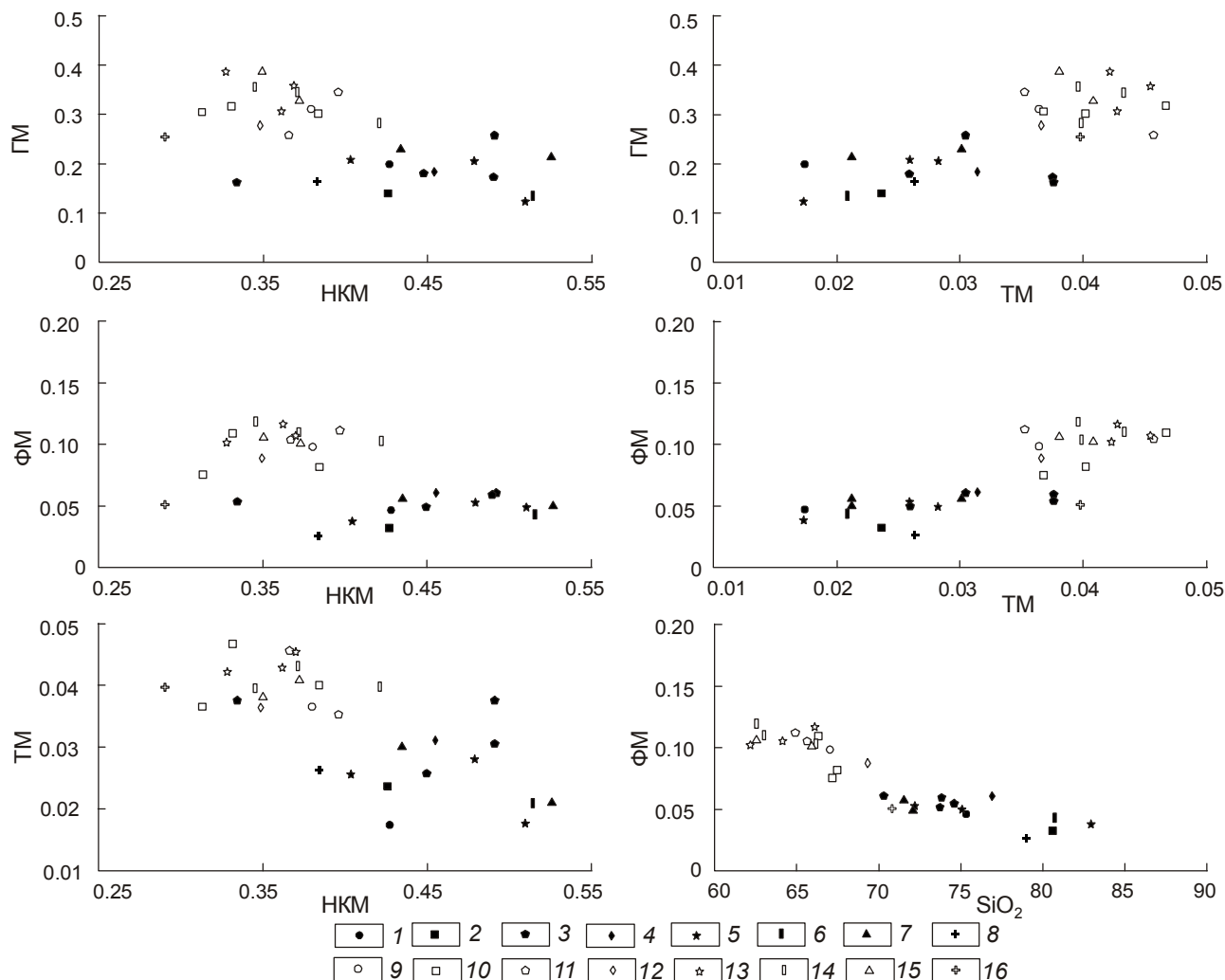


Рис. 9. Модульные диаграммы для песчаных и глинисто-алевритовых пород Журавлевского террейна [21, 22].

1–8 – песчаные породы; 9–16 – глинисто-алевритовые породы. Свиты: 1, 9 – журавлевская; 2, 10 – ключевская; 3, 11 – усть-колумбинская; 4, 12 – приманкинская; 5, 13 – каталевская; 6, 14 – дивнинская; 7, 15 – светловоднинская; 8, 16 – лужкинская. Модули: ГМ – гидролизатный ($(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})/\text{SiO}_2$), ФМ – фемический ($(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})/\text{SiO}_2$), ТМ – титановый ($\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$), НКМ – нормативной щелочности ($(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$).

На диаграммах М. Бхатиа [23] (рис. 10А), используемых для разделения песчаников из бассейнов различных тектонических обстановок, большинство журавлевских песчаников соответствует либо приближается к песчаникам активных континентальных окраин, которые, в понимании автора, включают в себя и бассейны трансформных границ плит, в том числе калифорнийские. Часть точек смещена в сторону полей пассивных окраин, что обусловлено обогащенностью песчаников отдельных уровней разреза обломками кварца и кремнистых пород. Геотектонические обстановки самих бассейнов седиментации реконструируются при помощи диаграммы Дж. Мейнарда и его соавторов [28] (рис. 10Б), на которой положение журавлевских песчаников характеризуется

значительным разбросом точек, что не позволяет дать им однозначную интерпретацию. В целом, песчаники занимают промежуточное положение между песками из бассейнов как пассивных, так и активных континентальных окраин.

Палеотектоническая интерпретация химического состава глинисто-алевритовых пород на диаграмме Дж. Мейнарда и его соавторов [28] (рис. 10В) не противоречит сделанной по составу песчаников, хотя также неоднозначна: глинисто-алевритовые породы занимают промежуточное положение между осадками бассейнов пассивных и активных континентальных окраин. Более определенно состав песчаных и глинисто-алевритовых пород интерпретируется на диаграмме $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$, предложенной Б. Роузе-

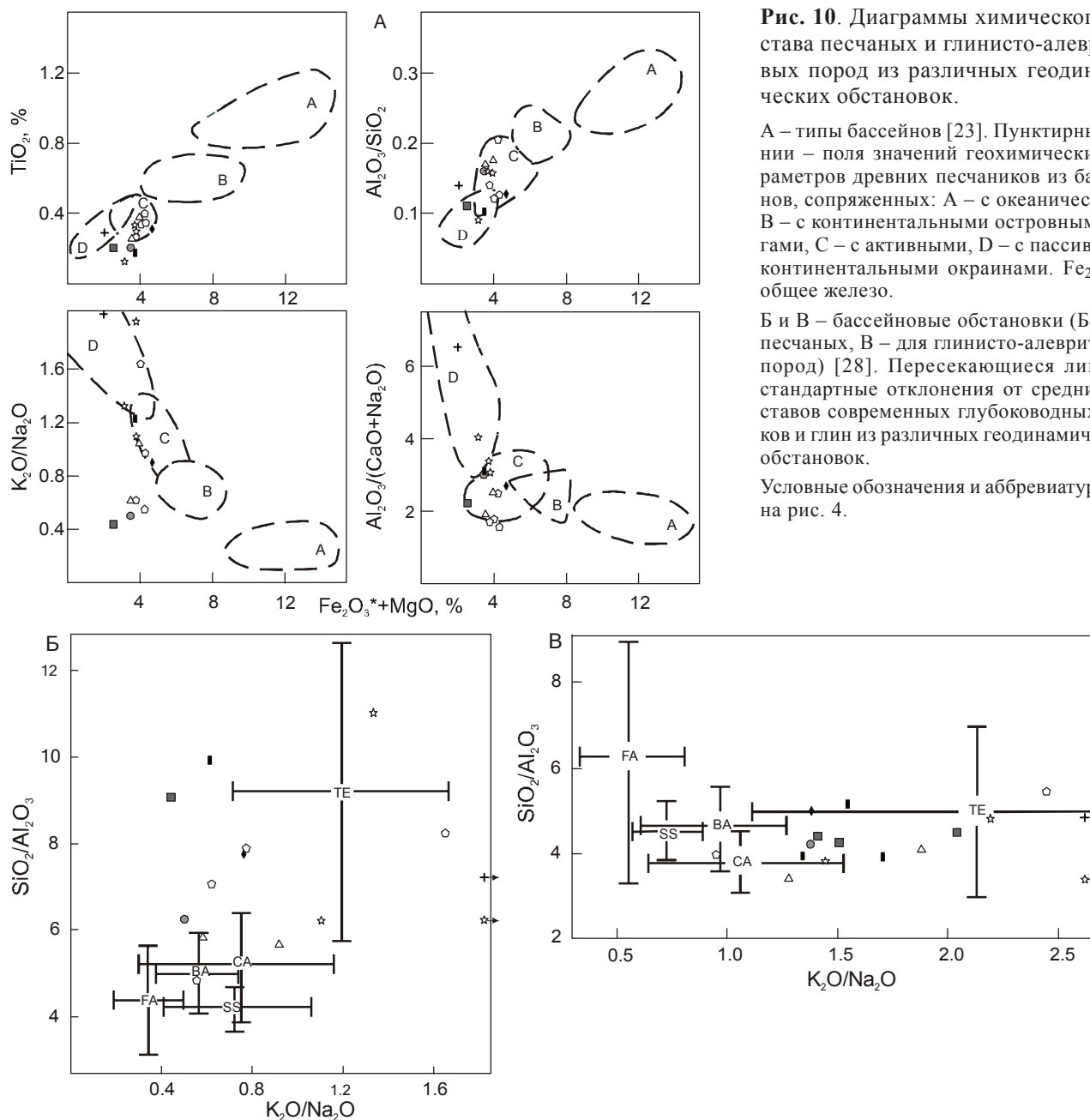


Рис. 10. Диаграммы химического состава песчаных и глинисто-алевритовых пород из различных геодинамических обстановок.

А – типы бассейнов [23]. Пунктирные линии – поля значений геохимических параметров древних песчаников из бассейнов, сопряженных: А – с океаническими, В – с континентальными островными дугами, С – с активными, D – с пассивными континентальными окраинами. Fe_2O_3^* – общее железо.

Б и В – бассейновые обстановки (Б – для песчаных, В – для глинисто-алевритовых пород) [28]. Пересекающиеся линии – стандартные отклонения от средних составов современных глубоководных песков и глин из различных геодинамических обстановок.

Условные обозначения и аббревиатуры см. на рис. 4.

ром и Р. Коршем [34] (рис. 11). На ней фигуративные точки изученных пород расположены преимущественно в поле бассейнов, сопряженных с активными континентальными окраинами, и лишь иногда – в поле пород из бассейнов пассивных обстановок. В целом, такое “промежуточное” положение фигуративных точек химического состава терригенных пород на всех рассмотренных диаграммах, вероятно, и является характерным для седиментационных бассейнов, связанных с обстановками трансформного скольжения литосферных плит.

Грубообломочные породы (конгломераты и гравелиты) встречаются практически на всех уровнях

изученного разреза. Среди обломков в них преобладают кремнистые и кремнисто-глинистые породы (до 80 %), значительно меньше осадочных (до 30 %), метаморфических и кислых интрузивных пород (до 20 %). Преобладание среди обломков псефитов кремнистых пород объясняется, вероятно, их значительно большей устойчивостью к разрушению при выветривании по сравнению с гранитоидами, довольно легко дезинтегрирующимися на составные части, которые, в свою очередь, в виде зерен кварца и полевого шпата преобладают в матриксе.

Таким образом, вещественный состав терригенных пород террейна свидетельствует о преобладании

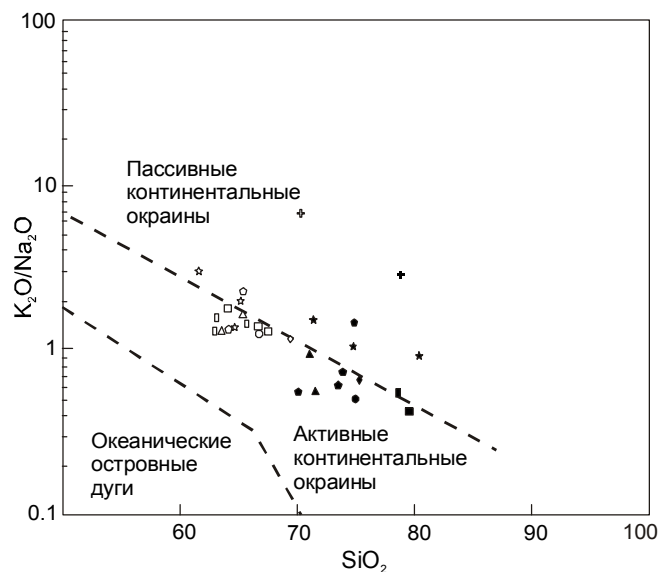


Рис. 11. Диаграмма K_2O/Na_2O-SiO_2 для песчаных и глинисто-алевритовых пород из различных бассейновых обстановок [34].

Условные обозначения см. на рис. 9.

в области сноса кислых изверженных и метаморфических пород. Кроме того, можно предполагать участие в составе источников питания юрской аккреционной призм, в строении которой участвовали пластины кремней и офиолитовые комплексы. Реконструируемые по вещественному составу обстановки осадконакопления соответствуют обстановкам бассейнов активных континентальных окраин (наиболее вероятно бассейнов, осложненных сдвиговыми деформациями по трансформным разломам). Формально на некоторых диаграммах изученные породы близки породам из бассейнов пассивных континентальных окраин, что связано, скорее всего, не с общим геотектоническим режимом, а с особенностями питания бассейна различными источниками обломочного вещества.

ОБСТАНОВКИ И УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД

Наиболее характерной особенностью отложений Журавлевского террейна является присутствие в разрезе большого количества пачек ритмичного переслаивания песчаников и алевролитов, обладающего всеми типичными признаками турбидитов. Турбидиты нередко ассоциируют с микститами, песчаниками, гравелитами и мелкогалечными конгломератами. Хаотическое строение, обилие матрикса, отсутствие сортировки и слоистости, свойственные грубообломочным породам, указывают на их отложение высокоплотными зерновыми и дебризными потоками

[37]. Кроме того, совместно с турбидитами довольно часто встречаются маломощные горизонты тонкого (от 3–5 мм до первых сантиметров) переслаивания алевролитов и песчаников, относящиеся к доннотечением (контурным) образованиям [35]. Такой генетический набор отложений предполагает их накопление в нижней части и у подножья подводного склона, а также на прилегающих к нему участках бассейновой равнины (рис. 12) [6, 35]. Основными агентами транспортировки и отложения обломочного материала были гравитационные потоки различной плотности, состава и происхождения, а также донные течения, интенсивно перерабатывавшие осадочный материал, доставляемый в область седиментации турбидными потоками. С гравитационными и доннотечением отложениями обычно тесно связаны достаточно мощные толщи массивных алевроаргиллитов, которые могут рассматриваться как гемипелагические осадки, накапливавшиеся в относительно спокойных условиях. Встречающаяся в породах тонкая горизонтальная или пологоволнистая слоистость может указывать на незначительную переработку вещества волнениями и течениями [12]. Еще одним широко распространенным в Журавлевском террейне типом отложений являются мощные толщи разнотернистых песчаников, содержащих прослои и линзы конгломератов и гравелитов, а также обильный растительный детрит и мелководную фауну. Эти осадки, вероятно, накапливались в относительно мелководных условиях, характерных для обстановок литорали и сублиторали открытого моря [12].

ОБСУЖДЕНИЕ

Приведенными выше материалами однозначно установлено, что главным источником кластики для терригенных пород Журавлевского террейна была сиалическая суша. Об этом свидетельствует, в частности, доминирование кварца и кислого плагиоклаза в обломочной части песчаников, а также резкое преобладание среди тяжелых обломочных минералов их типично сиалической ассоциации. Об этом же свидетельствует преимущественно гидрослюдистый состав глинистых минералов, как в цементе песчаников, так и в глинисто-алевритовых породах. Этому выводу не противоречит химический состав обломочных гранатов, характерных для глубоко метаморфизованных пород и гранитоидов.

Вместе с тем, существенную роль в составе питающей провинции играли, по-видимому, и фрагменты домеловых активных окраин, в первую очередь аккреционных призм, на отдельных структурных уровнях которых существовали пластины кремней и офиолитов. Таковыми можно считать юрско-раннемеловые

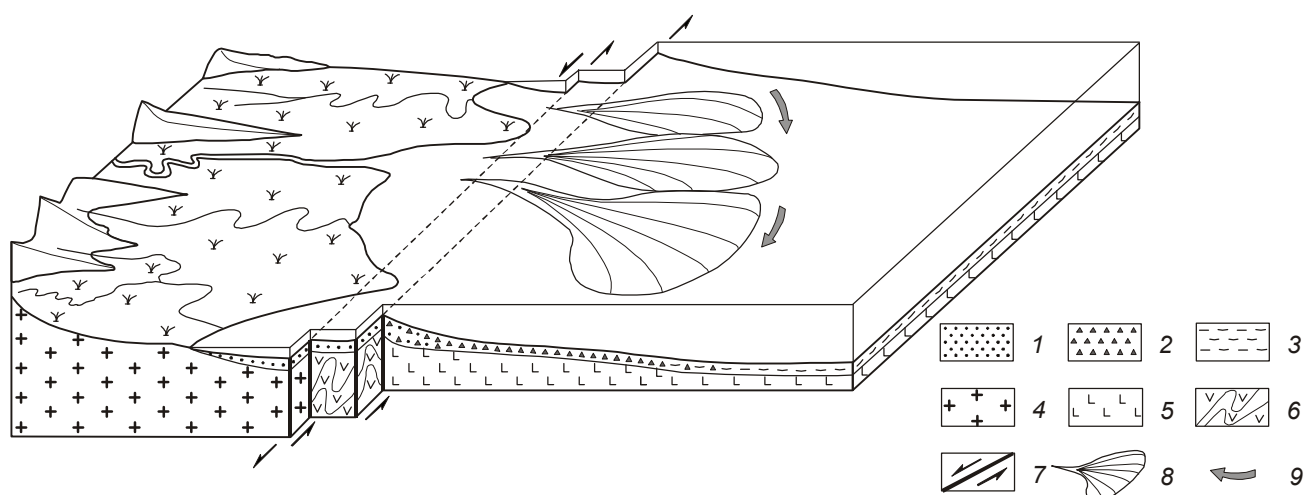


Рис. 12. Модель седиментации в раннем мелу (Журавлевский террейн).

1–3 – типы отложений: 1 – шельфа (литорали и сублиторали), 2 – подводного склона, его подножия и прилегавшей бассейновой равнины, 3 – гемипелагиали; 4–5 – типы земной коры: 4 – континентальная, 5 – океаническая; 6 – фрагменты аккреционных призм; 7 – левосторонние сдвиги; 8 – подводные конусы выноса; 9 – контурные течения.

аккреционные призмы “самаркинского” типа, прослеживающиеся в виде практически непрерывной полосы вдоль восточной окраины Азии от побережья Охотского моря на севере до о. Калимантан на юге [29]. Прямым подтверждением этому являются высокие содержания кремней в обломочной части песчаников и полное их преобладание среди обломков гравелитов и конгломератов. На это же указывают и особенности состава обломочных хромитов, в первую очередь, их низкая титанистость, свойственная гипербазитам офиолитовых поясов и активных окраин.

Смешение этих двух резко различных источников питания демонстрируют также диаграммы, интерпретирующие как состав породообразующих компонентов и тяжелых обломочных минералов, так и химический состав терригенных пород Журавлевского террейна (рис. 4, 5, 11, 13). Такое смешение является, по-видимому, главным характерным признаком седиментации в обстановке трансформной окраины, когда в область размыва попадают как краевые части континентов, так и ранее аккрецированные к ним фрагменты активных окраин. Например, вдоль западной окраины Северо-Американского кратона, осложненной системой правосторонних сдвигов Королевы Шарлотты, таковыми фрагментами являются магматические дуги Стикиния и Врангелия [33].

Естественно, такое смешение различных источников возможно и вдоль активных окраин андийского типа. В этом случае, однако, определяющим является присутствие в отложениях синседиментацион-

ного вулканического материала (например, горизонтов туфов), который практически отсутствует в породах рассматриваемого Журавлевского террейна.

Сочетание в пределах одной окраины фрагментов разновозрастных структур, связанных с субдукцией или с трансформными скольжениями – достаточно распространенное явление в пределах Тихоокеанской окраины. При однонаправленном дрейфе океанических плит относительно различно ориентированных участков краевых частей континентов получаем широкий спектр углов относительной конвергенции и, соответственно, доминирование того или иного типа взаимодействия. При сменах направлений движений океанских плит на конкретных участках окраины субдукция может смениться трансформными скольжениями и наоборот. В пределах Сихотэ-Алинского участка раннемеловой окраины, ориентированного в северо-восточном направлении, трансформные скольжения (и формирование Журавлевского палеобассейна) происходили в обстановке близмеридиональных (с юга на север) перемещений прилегающей к Евразии океанической плиты Изанаги (рис. 13). До и после этого, в позднюрское и позднемеловое время плита Изанаги перемещалась в северо-западном и запад-северо-западном направлениях [25], и вдоль этого же участка окраины реконструируется активная окраина (юрские террейны – фрагменты аккреционных призм, Восточно-Сихотэ-Алинский надсубдукционный вулканоплутонический пояс).

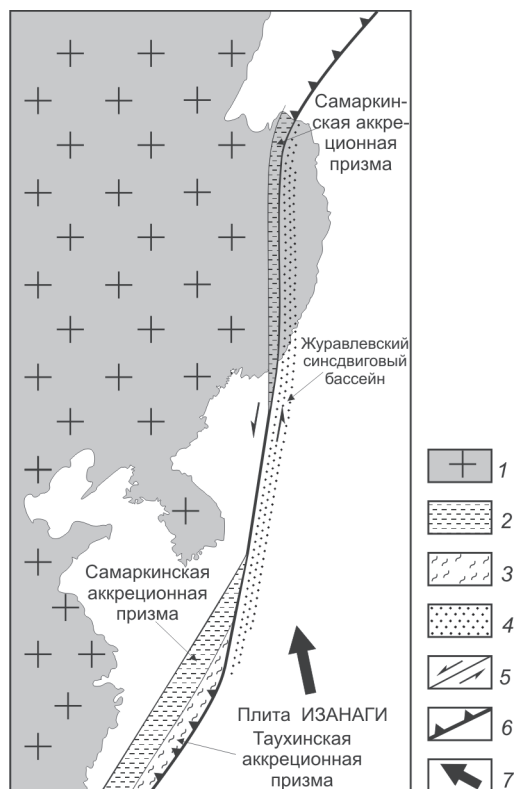


Рис. 13. Геодинамическая реконструкция восточной окраины Азии для начала раннего мела.

1 – доюрский континент, 2 – юрская аккреционная призма, 3 – раннемеловая аккреционная призма, 4 – раннемеловой окраинно-континентальный синдвиговой бассейн, 5 – левые сдвиги системы Тан-Лу, 6 – зоны субдукции, 7 – направление перемещения плиты Иизанаги.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, строение, вещественный состав и текстурные особенности терригенных отложений Журавлевского террейна свидетельствуют, что в раннемеловое время основными источниками обломочного материала, поступавшего в его седиментационные бассейны, были размывавшиеся гранитно-метаморфические породы зрелой континентальной земной коры. Вместе с тем, в составе питающей провинции заметную роль играли и фрагменты домеловой активной окраины, сложенной фрагментами аккреционных призм, в строении которых участвовали пластины кремней и офиолитов. Такой “смешанный” состав кластики, вероятно, является главным и характерным признаком седиментации в обстановке трансформного скольжения литосферных плит.

Преимущественно сиалический состав кластики позволяет предполагать, что рассматриваемый палеобассейн при своем формировании примыкал к

краю Евразийского континента. Мощные толщи терригенных отложений террейна, среди которых достаточно велика роль гравитационных образований, накапливались на шельфе, подводном континентальном склоне и у его подножия, а также на прилегающих участках бассейновой равнины полностью открытого в сторону океана окраинного моря (рис. 12). Седиментация происходила на фоне крупномасштабных перемещений вдоль разграничивающей континентальную и океаническую плиты системы левосторонних сдвигов Тан-Лу при малой роли вулканических процессов [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке ДВО РАН (проекты №№ 09-III-A-08-404 и 09-1-ОНЗ-01).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голозубов В.В., Ханчук А.И. Таухинский и Журавлевский террейны (Южный Сихотэ-Алинь) – фрагменты раннемеловой Азиатской окраины // Тихоокеан. геология. 1995. Т. 14, № 2. С. 13–25.
2. Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 239 с.
3. Голозубов В.В., Ханчук А.И., Кемкин И.В. и др. Сихотэ-Алинь – Северо-Сахалинский орогенный пояс // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. В 2-х кн. / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 161–202.
4. Кеннет Дж.П. Морская геология. В 2-х т. М.: Мир, 1987. Т. 1. 397 с.; Т. 2. 384 с.
5. Левашов Г.Б., Рыбалко В.И., Изосов Л.А. и др. Тектономагматические системы аккреционной коры (Сихотэ-Алинь). Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 340 с.
6. Лисицин А.П. Лавинная седиментация и перерывы в осадконакоплении в морях и океанах. М.: Наука, 1988. 309 с.
7. Ляхович В.В. Акцессорные минералы горных пород. М.: Недра, 1979. 296 с.
8. Малиновский А.И., Филиппов А.Н., Голозубов В.В. и др. Нижнемеловые отложения р. Кема (Восточный Сихотэ-Алинь): осадочное выполнение задугового бассейна // Тихоокеан. геология. 2002. Т. 21, № 1. С. 52–66.
9. Малиновский А.И., Маркевич П.В. Тяжелые обломочные минералы островодужных комплексов Дальнего Востока // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26, № 1. С. 81–93.
10. Маркевич П.В., Филиппов А.Н., Малиновский А.И. и др. Меловые вулканогенно-осадочные образования Нижнего Приамурья. Владивосток: Дальнаука, 1997. 300 с.
11. Маркевич П.В., Коновалов В.П., Малиновский А.И., Филиппов А.Н. Нижнемеловые отложения Сихотэ-Алиня. Владивосток: Дальнаука, 2000. 300 с.
12. Мурдмаа И.О. Фации океанов. М.: Наука, 1987. 303 с.
13. Натальин Б.А. Мезозойская аккреционная и коллизионная тектоника юга Дальнего Востока России // Тихоокеан. геология. 1991. № 5. С. 3–23.
14. Парфенов Л.М. Континентальные окраины и островные

- дуги мезозойд Северо-Востока Азии. Новосибирск: Наука, 1984. 195 с.
15. Петтиджон Ф.Дж., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники. М.: Мир, 1976. 535 с.
16. Ханчук А.И. Геологическое строение и развитие континентального обрамления Северо-Запада Тихого океана: Автореф. дис... д-ра геол.-минер. наук. М.: ГИН РАН, 1993. 31 с.
17. Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д. и др. Геология и полезные ископаемые Приморского края. Очерк. Владивосток: Дальнаука, 1995. 82 с.
18. Ханчук А.И., Иванов В.В. Геодинамика Востока России в мезо-кайнозой и золотое оруденение // Геодинамика и металлогения. Владивосток: Дальнаука, 1999. С. 7–30.
19. Шутов В.Д. Классификация песчаников // Литоология и полез. ископаемые. 1967. № 5. С. 86–102.
20. Щека С.А., Вржосек А.А. Ультраосновной вулканизм Тихоокеанского комплекса и вопросы систематики меймечитов и коматиитов // Вулканология и сейсмология. 1983. № 2. С. 3–16.
21. Юдович Я.Э. Региональная геохимия осадочных толщ. Л.: Наука, 1981. 276 с.
22. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
23. Bhatia M.R. Plate tectonic and geochemical composition of sandstones // J. Geol. 1983. V. 91, N 6. P. 611–627.
24. Dickinson W.R., Suczek C.A. Plate tectonics and sandstone composition // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 1979. V. 63, N 12. P. 2164–2182.
25. Engebretson D., Cox A., Gordon R.G. Relative motions between oceanic and continental plates in the northern Pacific basin // Spec. Pap. Am. 1985. N 206. P. 1–59.
26. Khanchuk A.I. Pre-Neogene tectonics of the Sea-of-Japan region: a view from the Russian side // Earth Science. 2001. V. 55, N 5. P. 275–291.
27. Markevich P.V., Malinovsky A.I., Tuchkova M.I. et al. The use of heavy minerals in determining the provenance and tectonic evolution of Mesozoic and Cenozoic sedimentary basins in the continent Pacific Ocean transition zone: examples from Sikhote-Alin and Koryak-Kamchatka Regions (Russian Far East) and Western Pacific // Developments in sedimentology. Heavy Minerals in Use. Amsterdam: Elsevier. 2007. V. 58. P. 789–822.
28. Maynard J.B., Valloni R., Yu H.S. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins / Leggett J.K. (ed.). Trench-Forearc Geology: Sedimentation and Tectonics on Modern and Ancient Active Plate Margins. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1982. P. 2. P. 551–561.
29. Mizutani S., Ji'an S., Qinlong Z. The Nadanhada terrane in relation to Mesozoic tectonics of continental margins of East Asia // Acta Geologica Sinica. 1990. V. 3, N 1. P. 15–29.
30. Nechaev V.P., Isphording W.C. Heavy-mineral assemblages of continental margins as indicators of plate-tectonic environments // J. Sed. Petrol. 1993. V. 63. N 6. P. 1110–1117.
31. 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. N 43. P. 69–81.
32. Nokleberg W.J., Parfenov L.M., Monger J.W. et al. Phanerozoic tectonic evolution of the Circum-North Pacific. U.S. Geol. Survey, Prof. Pap. 1626. 2000. 122 p.
33. Plafker G. Regional geology and tectonic evolution of Alaska and adjacent parts of the Northeast Pacific Ocean Margin // Proceeding of the Pacific Rim Congress 90, Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Queensland, Australia. 1990. P. 841–853.
34. 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. V. 94, N 5. P. 635–650.
35. Stow D.A.V. Distinguishing between fine-grained turbidites and contourites on the Nova-Scotian deep-water margin // Sedimentology. 1979. V. 26, N 2. P. 381–388.
36. Teraoka Y. Detrital garnets from Paleozoic to Tertiary sandstones in Southwest Japan // Bull. Geol. Surv. Japan. 2003. V. 54, N 5-6. P. 171–192.
37. Walker R.G. Deep-water sandstone facies and ancient submarine fans: models for exploration for stratigraphic traps // Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 1978. V. 62, N. 7. P. 932–966.

Рекомендована к печати Г.Л. Кирилловой