

УДК 552.5 (235.47)

## ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ПИТАЮЩИЕ ПРОВИНЦИИ МЕЗОЗОЙСКИХ ПЕСЧАНИКОВ СИХОТЭ-АЛИНЯ

© 2012 г. **А. Н. Филиппов**

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН  
690022 Владивосток, проспект 100-летия Владивостока, 159;

E-mail: philippov@fegi.ru

Поступила в редакцию 19.11.2009 г.

В статье рассмотрен вещественный состав песчаников различных участков юрской аккреционной призмы Сихотэ-Алиня. Изученные разрезы расположены в Самаркинском (руч. Лямфана и р. Катэн, соответственно, верхний и средний? структурные уровни призмы) и Наданьхада-Бикинском (р. Улитка, нижний структурный уровень) террейнах. Полученные материалы позволили проследить изменение состава питающих провинций и тектонические обстановки в приконтинентальной области седиментации на разных этапах формирования призмы. В конце средней юры (руч. Лямфана) областью сноса была эродированная часть окраинно-континентальной магматической дуги, и господствовал субдукционный режим. В киммеридж-титонскую эпоху (р. Катэн) эрозия достигла гранитоидных батолитов дуги, и в области сноса вдоль сдвигов появились блоки кристаллического фундамента. В титон-берриаское время (р. Улитка) роль последних увеличилась, что указывает на усиление косо́й субдукции или возникновение трансформных разломов при аккреции.

На восточной окраине Азии широко распространены террейны юрской аккреционной призмы. Она формировалась в течение 70 млн лет при субдукции океанических плит Палеоокеана (океана Панталасса), и ее выходы прослеживаются на расстояние более 5000 км от Охотского моря на севере до о. Палаван (Филиппины) на юге [Натальин, Фор, 1991; Ханчук, 2000; Кемкин, 2006; Matsuda, Isozaki, 1991; Kojima, Kametaka, 2000; Zamoras, Matsuoka, 2004 и др.]. Эта призма содержит пакеты тектонических пластин с фрагментами осадочного чехла океанических плит, для которых реконструируется определенная последовательность. Она обычно состоит (снизу вверх) из пелагических кремней, гемипелагических кремнисто-глинистых пород, алевролитов и песчаников приконтинентальной области седиментации [Isozaki et al., 1990; Matsuda, Isozaki, 1991 и др.]. Такой формационный ряд отражает историю седиментации на океанической коре от ее зарождения в спрединговом хребте до захоронения в зоне субдукции. Изучение осадочных пород в этой последовательности дает информацию об условиях осадконакопления в разных частях древнего океана, сведений о которых в настоящее время недостаточно.

Минеральный и химический составы обломочных пород – надежные индикаторы различных типов областей питания, позволяющие, в свою очередь, реконструировать тектонические обстановки, в которых происходила седиментация [Хворова и др., 1975; Schwab, 1975; Dickinson, Suczek, 1978; Bhatia, 1983; Morton, 1991; Nechaev,

Isphording, 1993; Morton, Hallsworth, 1994; Garzanti, Ando, 2007 и др.]. Соответственно изучение вещественного состава песчаников, развитых в приконтинентальной области океана помогает восстановить геологические события в зоне конвергенции, что важно для понимания процессов формирования аккреционных призм.

О составе питающих провинций обломочных пород юрской аккреционной призмы Сихотэ-Алиня существуют различные представления. При исследовании вещественного состава песчаников и алевролитов геосинклинального комплекса, в который были объединены отложения, относящиеся в настоящее время к юрской аккреционной призме и раннемеловому террейну турбидитового бассейна, был сделан вывод, что исходными для обломочных отложений являются породы земной коры континентального типа [Геосинклинальный ..., 1987; Тихоокеанская ..., 1989]. По мнению Т. Охты [Ohta, 2002], состав породообразующих компонентов и особенности химического состава песчаников Хабаровского террейна призмы указывают на их образование при разрушении умеренно-кислых вулканитов окраинно-континентальной магматической дуги. В.П. Нечаев с соавторами [1997] по ассоциациям тяжелых минералов небольшого количества проб песчаников с разных участков юрской призмы предположили, что магматическая дуга не влияла на осадконакопление в приконтинентальной области.

Чтобы получить наиболее точные и объективные данные о вещественном составе изучаемых

пород были определены породообразующие компоненты, обломочные минералы тяжелой фракции (включая химический состав некоторых минералов-индикаторов источников сноса) и химический валовой состав песчаников, которые представляют разрезы различных структурных уровней юрской аккреционной призмы. Это позволило проследить изменение состава питающих провинций и тектонических обстановок седиментации на разных этапах ее формирования.

### РЕГИОНАЛЬНАЯ ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И СТРОЕНИЕ ИЗУЧЕННЫХ РАЗРЕЗОВ

Юрская аккреционная призма на Сихотэ-Алине представлена Баджальским, Хабаровским, Наданьхада-Бикинским, Самаркинским и Таухинским террейнами (рис. 1). Исследованные разрезы расположены в Самаркинском и Наданьхада-Бикинском террейнах. Самаркинский террейн протягивается полосой шириной до 100 км в северо-восточном направлении от южного побережья Приморья до правобережья нижнего течения р. Амура. Он состоит из среднеюрско-раннемеловых турбидитовых и олистостромовых образований, меланжевых комплексов и аллохтонных включений. Последние представлены среднепалеозойскими офиолитами, каменноугольно-пермскими известняками, поздне триасовыми терригенными породами, позднепалеозойско-юрскими кремнями и юрскими кремнистыми аргиллитами, а также поздне триасовыми известняками [Ханчук, 2000; Голозубов, 2006; Кемкин, 2006]. Обломочные породы приконтинентальной области седиментации древнего океана изучены в центральной части террейна на правобережье р. Матай (руч. Лямфана) и в бассейне среднего течения р. Катэн. Эти разрезы характеризуют соответственно верхний и средний? структурные уровни аккреционной призмы [Кемкин, Филиппов, 2002].

В стратиграфической последовательности палеоокеанических отложений по руч. Лямфана выделены верхнепермские кремни, нижнетриасовые кремнистые аргиллиты и фтаниты, среднетриасово-нижнеюрские кремни и плинсбах-тоарские кремнистые аргиллиты [Филиппов и др., 2001]. Выше залегают аален-байоские алевроаргиллиты с основными вулканитами, байос-батские алевролиты с прослоями песчаников, келловейские(?) базальты, а также микститы с глыбами песчаников (рис. 2). Разрез по р. Катэн состоит из оленекско-анизийских кремнистых аргиллитов с фтанитами, среднетриасово-среднеюрских кремней, бат-келловейских кремнистых аргиллитов, келловей-оксфордских алевритовых аргиллитов, позднеюрских алевролитов и песчаников [Филиппов и др., 2001].

Наданьхада-Бикинский террейн расположен в западной части Сихотэ-Алиня в бассейне нижне-

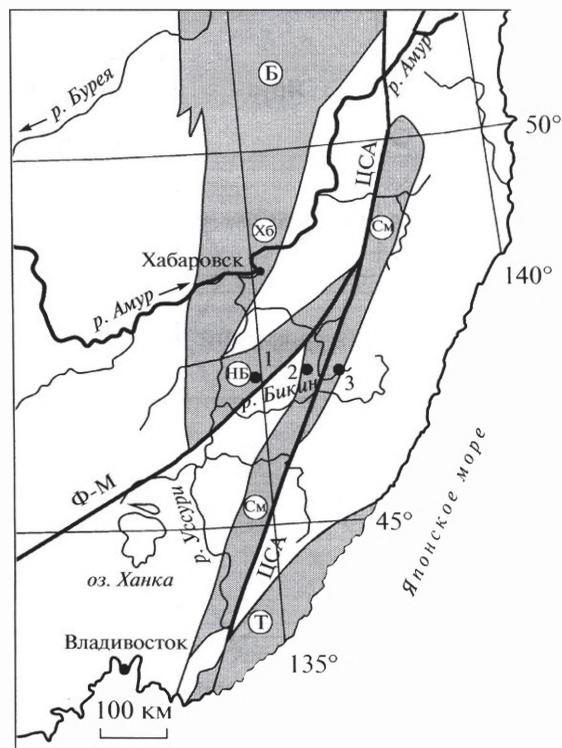
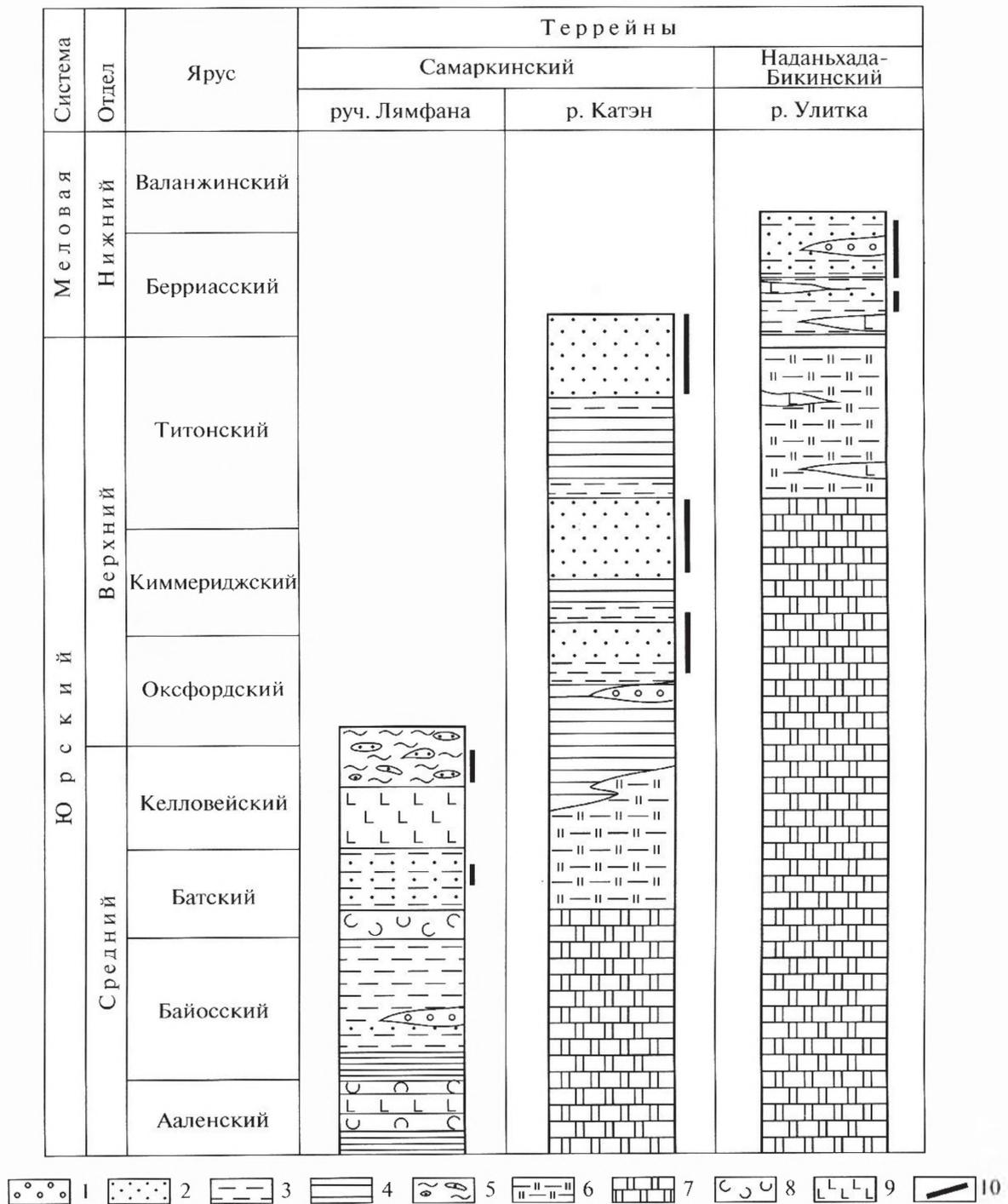


Рис. 1. Схема расположения террейнов юрской аккреционной призмы на Сихотэ-Алине, по [Ханчук, 2000], разломов и изученных разрезов.

Террейны: Б – Баджальский, ХБ – Хабаровский, См – Самаркинский, НБ – Наданьхада-Бикинский, Т – Таухинский. Крупные разломы (сдвиги): ЦСА – Центрально-Сихотэ-Алинский, Ф-М – Фушунь-Мишаньский. Изученные разрезы: 1 – р. Улитка, 2 – руч. Лямфана, 3 – р. Катэн.

го течения р. Уссури и протягивается в виде полосы, образующей острый угол северо-восточного простирания шириной около 60 км и протяженностью около 350 км (см. рис. 1). Он отличается от Самаркинского большим количеством поздне триасовых пелагических известняков и позднеюрско-раннемеловых щелочных базальтов. Изученный разрез (р. Улитка) представляет палеоокеанические отложения, аккрецированные на заключительной стадии формирования призмы [Филиппов, Кемкин, 2003], и состоит из верхнетриасово-верхнеюрских кремней с линзами известняков, титонских кремнистых аргиллитов, берриасских алевритовых аргиллитов, алевролитов и песчаников с конгломератами [Филиппов, Кемкин, 2004]. В кремнисто-глинистых и обломочных породах встречаются пласты щелочных базальтов (рис. 2).

В целом, обломочные породы исследованных разрезов характеризуют позднюю стадию средне-



**Рис. 2.** Литолого-стратиграфические колонки изученных разрезов и возрастное положение проб, отобранных для исследования их вещественного состава.

1 – гравелиты и конгломераты, 2 – песчаники, 3 – алевролиты, 4 – алевролитовые аргиллиты и аргиллиты, 5 – микститы, 6 – кремнистые аргиллиты, 7 – кремни, 8 – гиалокластиты, 9 – основные вулканиты, 10 – интервалы опробования.

юрского (руч. Лямфана), позднеюрский (р. Катэн) и титон-берриасский (р. Улитка) этапы формирования юрской аккреционной призмы Сихотэ-Алиня.

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вещественный состав обломочных пород определялся в шлифах на поляризационном микроскопе, а также с помощью химического анализа

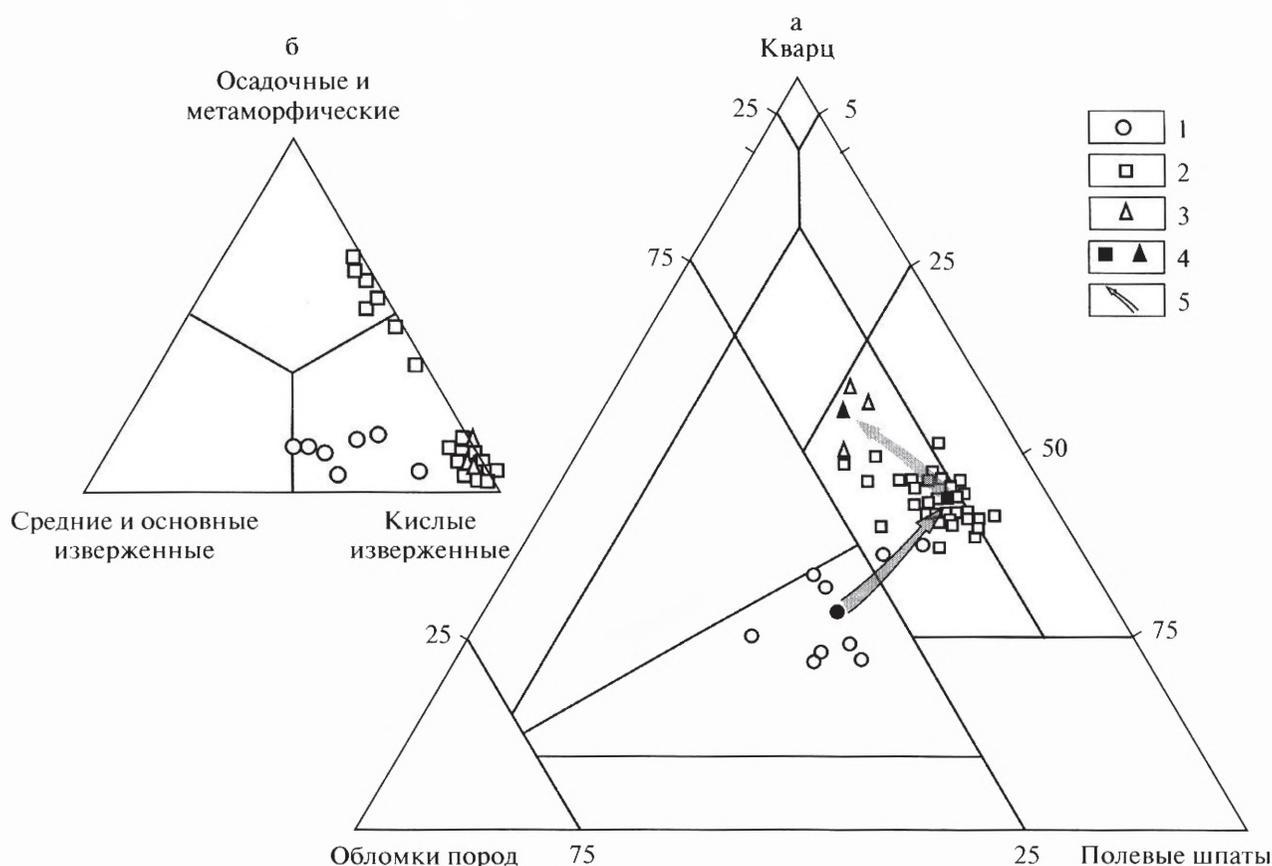


Рис. 3. Диаграмма породообразующих компонентов песчаников [Шутов, 1967].

а – основные компоненты, б – обломков пород.

1–3 – песчаники разрезов: 1 – руч. Лямфана, 2 – р. Катэн, 3 – р. Улитка; 4 – средние составы песчаников; 5 – направление изменения состава песчаников на разных этапах формирования аккреционной призмы.

валовых проб и исследования тяжелых минералов. Минералого-петрографическое изучение песчаников проводилось в стандартных петрографических шлифах. Главные породообразующие компоненты (более 300 зерен в шлифе) подсчитывались по методике В.Д. Шутова [1967]. Среди полевых шпатов выделялись плагиоклазы и калиевые разности. Обломочные частицы по составу и структурным особенностям подразделялись на кислые, средние и основные изверженные породы, а также осадочные и метаморфические образования. Валовый химический состав большей части песчаников определялся методом “мокрой химии” способом (химики-аналитики В.Н. Каминская и Л.А. Вржосек). В пробах 41/13, 47/1, 47/2, 49/1 и 52 содержания  $H_2O^-$ ,  $SiO_2$  и п.п.п. определены методом гравиметрии (аналитик В.Н. Залевская), а остальных элементов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (аналитики Г.А. Горбач и Н.В. Хуркало). Тяжелые минералы извлекались бромформом после дробления проб весом 0.2–0.5 кг до 0.25 мм и удаления фракции меньше 0.01 мм. Они определялись и подсчитывались в проходящем и

поляризованном свете под микроскопом с помощью иммерсионных жидкостей. Химический состав некоторых тяжелых минералов определен на рентгеновском микроанализаторе JXA-8100 в ДВГИ ДВО РАН.

### ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ КОМПОНЕНТЫ

Исследованные песчаники неравномернoзернистые, реже тонко- и среднeзернистые. Обломочные зерна в основном угловатые. Сортировка чаще всего плохая. По соотношению породообразующих компонентов песчаники руч. Лямфана кварц-полевошпатовые граувакки, реже граувакковые аркозы (табл. 1, рис. 3а). Псаммиты р. Катэн и р. Улитка главным образом граувакковые аркозы.

Содержание кварца в песчаниках – 22–59%; наибольшее его количество отмечено в отложениях р. Улитка, а наименьшее – в псаммитах руч. Лямфана (табл. 1). Доминирует монокристаллический кварц с волнистым погасанием, часто с включе-

Таблица 1. Петрографический состав (%) песчаников юрского аккреционного комплекса Сихотэ-Алиня

| Проба        | Компоненты в целом |               |               | Полевые шпаты |          | Обломки пород      |                                |                             |
|--------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|----------|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|
|              | Кварц              | Полевые шпаты | Обломки пород | Плагиоклазы   | Калиевые | Кислые изверженные | Средние и основные изверженные | Осадочные и метаморфические |
| 1            | 2                  | 3             | 4             | 5             | 6        | 7                  | 8                              | 9                           |
| руч. Лямфана |                    |               |               |               |          |                    |                                |                             |
| Л86          | 36                 | 42            | 22            | 84            | 16       | 58                 | 37                             | 5                           |
| Л89          | 25                 | 32            | 43            | 88            | 12       | 61                 | 21                             | 18                          |
| Л91          | 31                 | 39            | 30            | 89            | 11       | 49                 | 38                             | 13                          |
| Л92          | 22                 | 45            | 33            | н.о.          | н.о.     | н.о.               | н.о.                           | н.о.                        |
| Л93          | 24                 | 43            | 33            | 90            | 10       | 48                 | 39                             | 13                          |
| Л94          | 23                 | 40            | 37            | 72            | 28       | 53                 | 35                             | 12                          |
| Л97          | 22                 | 40            | 38            | н.о.          | н.о.     | н.о.               | н.о.                           | н.о.                        |
| Л98          | 33                 | 36            | 31            | 91            | 9        | 57                 | 28                             | 15                          |
| Л99          | 37                 | 45            | 18            | 87            | 13       | 77                 | 16                             | 7                           |
| Среднее      | 27                 | 40            | 33            | 86            | 14       | 57                 | 31                             | 12                          |
| р. Катэн     |                    |               |               |               |          |                    |                                |                             |
| К15          | 42                 | 45            | 13            | 38            | 62       | 93                 | 4                              | 3                           |
| К99          | 44                 | 43            | 13            | 43            | 57       | 86                 | 5                              | 9                           |
| К107         | 44                 | 43            | 13            | 36            | 64       | 94                 | 2                              | 4                           |
| К108         | 44                 | 45            | 11            | 43            | 57       | 94                 | 2                              | 4                           |
| К109         | 45                 | 44            | 11            | н.о.          | н.о.     | н.о.               | н.о.                           | н.о.                        |
| К111         | 40                 | 50            | 10            | 35            | 65       | 90                 | 2                              | 8                           |
| К112         | 42                 | 46            | 12            | 42            | 58       | н.о.               | н.о.                           | н.о.                        |
| К116         | 43                 | 40            | 17            | 60            | 40       | 88                 | 1                              | 11                          |
| К120         | 50                 | 33            | 17            | 56            | 44       | 91                 | 4                              | 5                           |
| К130         | 51                 | 40            | 9             | н.о.          | н.о.     | н.о.               | н.о.                           | н.о.                        |
| К135         | 46                 | 45            | 9             | н.о.          | н.о.     | н.о.               | н.о.                           | н.о.                        |
| К137         | 48                 | 40            | 12            | 53            | 47       | 93                 | 2                              | 5                           |
| К140         | 45                 | 40            | 15            | 43            | 57       | 82                 | 1                              | 17                          |
| К153         | 42                 | 47            | 11            | 48            | 52       | 91                 | 3                              | 6                           |
| К158         | 42                 | 42            | 16            | 26            | 74       | 52                 | 2                              | 46                          |
| К159         | 38                 | 46            | 16            | 35            | 65       | 96                 | —                              | 4                           |
| К161         | 40                 | 38            | 22            | 41            | 59       | 63                 | 2                              | 35                          |
| К163         | 41                 | 44            | 15            | н.о.          | н.о.     | н.о.               | н.о.                           | н.о.                        |
| К169         | 40                 | 46            | 14            | н.о.          | н.о.     | н.о.               | н.о.                           | н.о.                        |
| К170         | 41                 | 48            | 11            | н.о.          | н.о.     | н.о.               | н.о.                           | н.о.                        |
| К191         | 41                 | 45            | 14            | 60            | 40       | 36                 | 2                              | 62                          |
| К216         | 39                 | 49            | 12            | 46            | 54       | 88                 | 3                              | 9                           |
| К218         | 42                 | 50            | 8             | н.о.          | н.о.     | н.о.               | н.о.                           | н.о.                        |
| К219         | 41                 | 49            | 10            | 42            | 58       | 87                 | 4                              | 9                           |
| К230         | 46                 | 39            | 15            | 61            | 39       | 33                 | 3                              | 64                          |
| К238         | 43                 | 42            | 15            | 48            | 52       | 42                 | 5                              | 53                          |
| К239         | 44                 | 46            | 10            | н.о.          | н.о.     | н.о.               | н.о.                           | н.о.                        |
| К245         | 47                 | 41            | 12            | н.о.          | н.о.     | н.о.               | н.о.                           | н.о.                        |
| К247         | 49                 | 31            | 20            | 55            | 45       | 43                 | 3                              | 54                          |
| К253         | 47                 | 39            | 14            | н.о.          | н.о.     | н.о.               | н.о.                           | н.о.                        |
| К265         | 47                 | 34            | 19            | н.о.          | н.о.     | н.о.               | н.о.                           | н.о.                        |
| К266         | 47                 | 37            | 16            | 50            | 50       | 66                 | 3                              | 31                          |
| Среднее      | 44                 | 43            | 13            | 46            | 54       | 75                 | 3                              | 22                          |
| р. Улитка    |                    |               |               |               |          |                    |                                |                             |
| 47/1         | 59                 | 26            | 15            | 87            | 13       | 85                 | —                              | 15                          |
| 47/2         | 56                 | 30            | 14            | 90            | 10       | 90                 | 3                              | 7                           |
| 49/1         | 55                 | 28            | 17            | 84            | 16       | 90                 | 2                              | 8                           |
| 52           | 49                 | 30            | 21            | 82            | 18       | 88                 | 4                              | 8                           |
| Среднее      | 55                 | 28            | 17            | 86            | 14       | 89                 | 2                              | 9                           |

Примечание. Прочерк — не обнаружено, н.о. — не определялось. Породообразующие компоненты в целом, полевые шпаты и обломки пород приведены к 100%.

ниями полевого шпата; поликристаллический кварц редок или отсутствует.

Содержание полевых шпатов в песчаниках — 26–50%. Меньше всего их в разрезе р. Улитка (см. табл. 1). Плагиоклазы преобладают в песчаниках руч. Лямфана и р. Улитка, а калиевых полевых шпатов больше в отложениях р. Катэн. Плагиоклазы в основном кислые, встречаются в виде короткопризматических и таблитчатых кристаллов, редко неправильной формы. По плагиоклазам развиты чешуйчатые агрегаты хлорита и серицита. В некоторых образцах плагиоклазы сильно альбитизированы. Калиевые полевые шпаты представлены в различной степени пелитизированным ортоклазом, микропертитом (до 20–30%) и решетчатым микроклином.

В песчаниках руч. Лямфана содержится обломков пород до 43%, а на р. Катэн и р. Улитка — 10–20% (см. табл. 1, рис. 3а). Выделено около 15 их разновидностей, которые объединены в три генетические группы: кислые изверженные, средние и основные изверженные, осадочные и метаморфические (см. рис. 3б).

Наиболее распространены зерна кислых изверженных пород — в среднем 60–70% от общего количества обломков. Больше всего их в песчаниках р. Улитка (до 90%), меньше — в псаммитах руч. Лямфана. В песчаниках р. Катэн их количество, в отдельных разностях достигая 96%, составляет 33–66% (см. табл. 1, рис. 3б). Ведущие среди них — микрофельзиты, которые характеризуются однородным составом тонкозернистой массы с точечно-агрегатной поляризацией. Отдельные зерна содержат порфиновые выделения кварца и полевого шпата. Микрофельзиты обычно составляют 30–45% от обломков кислых изверженных пород. В некоторых песчаниках р. Катэн их количество не превышает 15%. С микрофельзитами связаны взаимопереходами обломки с микрогранитовой или лучше раскристаллизованной фельзитовой структурой. Они имеют ясноагрегатное строение с четкими неправильными контурами отдельных зерен кварца и полевого шпата. Некоторые песчаники содержат много обломков с микрогипидиоморфнозернистой структурой, вероятный источник которых — субинтрузивные тела или корневые части кислых эффузивов. Реже и не везде встречаются обломки альбитофинов, аплитов, зерна со сферолитовой и призматически-зернистой структурами. Последние в основном присутствуют в песчаниках р. Катэн и состоят из лейст плагиоклаза, промежуток между которыми заполнены ксеноморфным кварцем. Их можно определить как дациты. Часть обломков имеют кварц-серицитовый состав и, возможно, являются кислыми туфами. В группу кислых изверженных пород также входят обломки гранитоидов, представляющие собой сростки

относительно крупных кристаллов кварца, калиевого полевого шпата и плагиоклаза. Их количество в песчаниках руч. Лямфана и р. Улитка не превышает 3%, а в псаммитах р. Катэн — 10–15%.

Количество обломков средних и основных изверженных пород в песчаниках р. Улитка и р. Катэн составляет около 5%, а на руч. Лямфана достигает 39% (см. табл. 1, рис. 3б). В этой группе присутствуют два типа обломков. Одни из них — зерна с пилотакситовой или андезитовой структурами, где в хлоритизированной массе расположены лейсты плагиоклаза и мелкие зерна кварца. Встречаются редкие порфиновые выделения полевого шпата. Вероятно, это средние эффузивы. Другие обломки — стекловатые базальты с лейстами плагиоклаза в хлоритизированной основной массе. Редки зерна с итерсертальной структурой, диабазы и обломки с кристаллами пироксена. Диабазы и пироксеновые базальты обычно встречаются в песчаниках р. Улитка.

Содержание зерен осадочных и метаморфических пород в песчаниках варьирует от 3 до 64% (см. табл. 1, рис. 3б). Наибольшее их количество отмечено в некоторых псаммитах р. Катэн. Здесь они представлены угловатыми обломками кремней, с которыми ассоциируют зерна кремнистых аргиллитов. В других песчаниках кремни редки. Кроме того, присутствуют обломки кварц-слюдистых сланцев, микрокварцитов, углистых алевритов, алевритовых аргиллитов, песчаников и глинистых сланцев.

Таким образом, в составе породообразующих компонентов рассматриваемых песчаников наиболее значительна роль материала кислых изверженных пород: кварца, гранитоидов, кислого плагиоклаза и калиевого полевого шпата, а также обломков пород, представленных разновидностями кислых эффузивов, их субинтрузивных аналогов. В песчаниках руч. Лямфана и р. Улитка преобладают обломки кислых эффузивов, а в псаммитах р. Катэн много гранитоидного материала. К этой основной породной ассоциации в некоторых песчаниках добавляются компоненты местных, внутрибассейновых источников — обломки кремнисто-глинистых пород и основных вулканитов. О геологическом строении местных источников также можно судить по составу обломков в линзах гравелитов и конгломератов в изученных разрезах. Гравелиты в среднеюрских алевролитах руч. Лямфана (см. рис. 2) состоят из угловатых обломков кремней (60–80%), кремнистых аргиллитов (до 10%), алевритовых аргиллитов (до 20%), гиалобазальтов (5–8%), гиалокластитов (до 5%), вулканического стекла, песчаников и алевролитов (единичные зерна). Конгломераты в отложениях р. Катэн сложены окатанными и угловатыми обломками кремней (45–60%), кремнистых аргиллитов (5–10%), алевритовых аргил-

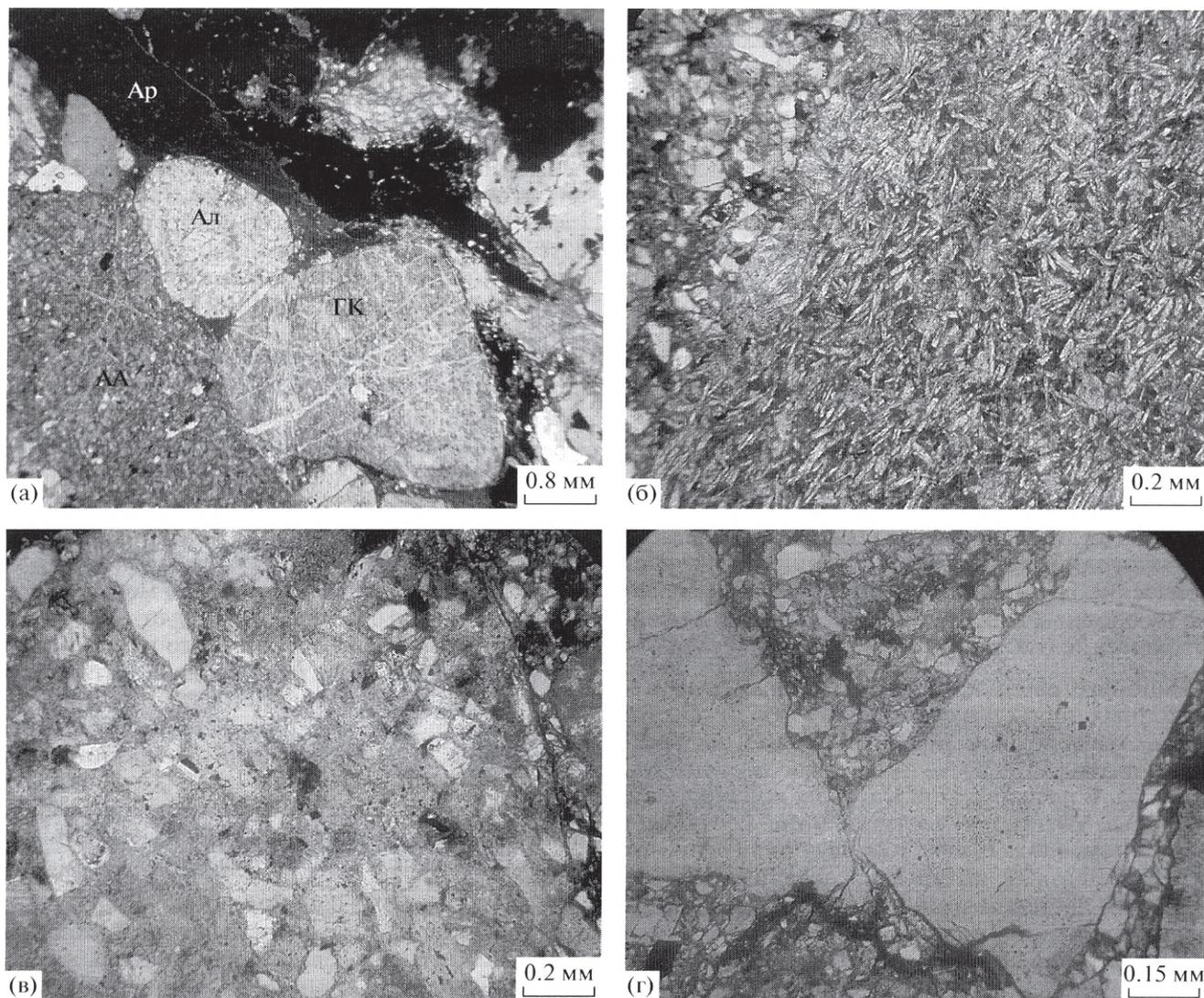


Рис. 4. Фотографии шлифов берриасских гравелитов и конгломератов р. Улитка.

а – конгломерат, АА – алевритовый аргиллит, Ал – алевролит, Ар – кремнистый аргиллит, Гк – глинистый кремнь (шлиф 47/5, николи параллельны); б – обломок базальта; в – обломок песчаника; г – угловатые обломки кремней в песчано-алевритовой массе.

литов и алевролитов (20–30%) и гиалобазальтов (10–15%). В берриасских конгломератах и гравелитах р. Улитка содержание (30–40%) обломков алевритовых аргиллитов с алевролитами и кремней примерно равное (рис. 4). Встречаются редкие фрагменты аркозовых песчаников, кремнистых аргиллитов, гиалобазальтов и вулканического стекла.

#### ОБЛОМОЧНЫЕ МИНЕРАЛЫ ТЯЖЕЛОЙ ФРАКЦИИ И ИХ ИСТОЧНИКИ

Основным минералом тяжелой фракции рассматриваемых песчаников является циркон (табл. 2). Его содержание в псаммитах руч. Лямфана в среднем составляет 30–45%. В одних об-

разцах он ассоциирует с гранатом, количество которого достигает 50%, а в других сопровождается повышенными содержаниями ильменита (18–56%), магнетита (до 31%) или лейкоксена (до 22%). Кроме того, здесь относительно много турмалина (до 8%). В песчаниках р. Катэн количество циркона наиболее высокое и достигает 80–90% тяжелой фракции. В отдельных образцах отмечено повышенное содержание ильменита или лейкоксена. Циркон представлен здесь, главным образом, бесцветными или слабоокрашенными призматическими кристаллами с коэффициентом удлинения 1.5–2.5, содержащими мелкие газозо-жидкие включения, а иногда мельчайшие кристаллы циркона. Такие типоморфные особенности характерны для циркона гранитных пород

Таблица 2. Минеральный состав (%) тяжелой фракции (0.01–0.25 мм) обломочных пород юрского аккреционного комплекса Сихотэ-Алиня

| Проба               | Возраст              | К-во зерен | Срх  | Орх | Ol  | Нв  | Ер  | Grn  | Zr   | Tur  | Rt  | Sph  | Lcx  | Ant | Ap   | Mt   | Ilm  | Chr  |     |
|---------------------|----------------------|------------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|------|------|-----|
| 1                   | 3                    | 4          | 5    | 6   | 7   | 8   | 9   | 10   | 11   | 12   | 13  | 14   | 15   | 16  | 17   | 18   | 19   | 20   |     |
| <b>руч. Лямфана</b> |                      |            |      |     |     |     |     |      |      |      |     |      |      |     |      |      |      |      |     |
| Л19                 | J <sub>3</sub> ?     | 217        | —    | —   | —   | —   | —   | —    | 90.5 | 1.3  | 0.4 | 0.4  | —    | —   | —    | 7.4  | —    | —    |     |
| Л20                 | J <sub>3</sub> ?     | 317        | 0.3  | —   | —   | —   | 1.0 | 12.0 | 3.8  | 0.3  | —   | 39.7 | 22.1 | —   | 3.2  | 12.5 | 4.1  | 1.0  |     |
| Л86                 | J <sub>3</sub> ?     | 332        | 7.8  | 0.3 | —   | 0.9 | 0.3 | —    | 45.2 | 0.6  | —   | —    | 20.8 | —   | 0.9  | 14.2 | 7.2  | 1.8  |     |
| Л89                 | J <sub>3</sub> ?     | 217        | 0.5  | 0.5 | —   | 0.9 | —   | 29.5 | 52.8 | 2.8  | 0.5 | 1.4  | —    | —   | 1.4  | 4.2  | 4.6  | 0.9  |     |
| Л91                 | J <sub>3</sub> ?     | 458        | 1.8  | —   | —   | 0.7 | —   | 15.5 | 29.5 | 4.1  | 0.7 | —    | 6.8  | 0.4 | 1.3  | 0.7  | 37.6 | 0.9  |     |
| Л93                 | J <sub>3</sub> ?     | 325        | 2.5  | —   | —   | —   | —   | 28.0 | 44.6 | 5.8  | 1.2 | —    | 3.7  | 0.3 | 1.2  | 3.8  | 8.0  | 0.9  |     |
| Л94                 | J <sub>3</sub> ?     | 460        | 0.7  | 0.2 | —   | 2.6 | 0.4 | 3.3  | 35.6 | 0.2  | 0.2 | 0.2  | 5.4  | —   | 0.4  | 31.9 | 18.5 | 0.4  |     |
| Л98                 | J <sub>3</sub> ?     | 347        | 0.6  | —   | —   | 3.9 | —   | 52.2 | 23.3 | 4.6  | 0.3 | —    | 2.9  | —   | 1.2  | 0.3  | 9.8  | 0.9  |     |
| Л99                 | J <sub>3</sub> ?     | 422        | 1.0  | —   | —   | 0.2 | —   | 0.2  | 31.3 | 8.3  | —   | —    | —    | —   | 1.0  | 1.0  | 56.8 | 0.2  |     |
| Л141                | J <sub>2</sub> bj-bt | 240        | 2.1  | —   | —   | —   | 1.2 | 2.1  | 48.8 | —    | 0.4 | 0.4  | 4.2  | —   | —    | 10.4 | 27.5 | 2.9  |     |
| <b>р. Катэн</b>     |                      |            |      |     |     |     |     |      |      |      |     |      |      |     |      |      |      |      |     |
| K15                 | J <sub>3</sub> ох-км | 321        | 4.0  | —   | —   | —   | —   | —    | 90.9 | 0.9  | 0.3 | 0.6  | 0.6  | —   | 1.2  | —    | 0.9  | 0.6  |     |
| K99                 | J <sub>3</sub> ох-км | 212        | 1.9  | —   | —   | —   | —   | 4.3  | 88.4 | 1.5  | 1.0 | 0.5  | 2.4  | —   | 1.0  | —    | —    | —    |     |
| K107                | J <sub>3</sub> ох-км | 366        | 0.8  | —   | —   | 1.7 | —   | —    | 89.4 | 1.7  | 1.7 | 0.6  | —    | —   | 4.1  | —    | —    | —    |     |
| K108                | J <sub>3</sub> ох-км | 144        | 11.8 | —   | —   | —   | 1.4 | —    | 69.4 | 2.1  | 2.8 | 0.7  | 9.0  | —   | 2.8  | —    | —    | —    |     |
| K111                | J <sub>3</sub> ох-км | 333        | 2.7  | —   | —   | 0.3 | —   | 0.6  | 83.2 | 1.8  | 0.6 | 0.6  | 2.4  | 0.9 | 5.7  | —    | —    | 1.2  |     |
| K112                | J <sub>3</sub> ох-км | 260        | 3.1  | —   | —   | 0.4 | —   | 0.8  | 89.0 | 1.2  | 1.2 | 0.4  | —    | 0.8 | 2.7  | —    | —    | 0.4  |     |
| K130                | J <sub>3</sub> ох-км | 181        | 2.2  | —   | —   | 0.6 | 1.7 | —    | 75.5 | 0.6  | 0.6 | —    | 17.1 | —   | 1.1  | 0.6  | —    | —    |     |
| K135                | J <sub>3</sub> ох-км | 240        | 1.7  | —   | —   | 0.4 | 0.4 | 10.8 | 51.7 | 2.5  | 0.8 | —    | 18.8 | 0.4 | 4.2  | 5.8  | 2.1  | 0.4  |     |
| K137                | J <sub>3</sub> ох-км | 242        | 0.4  | —   | —   | 0.4 | 0.4 | 4.5  | 76.3 | 0.4  | 0.4 | 0.4  | 6.6  | —   | 4.5  | 4.5  | 1.2  | —    |     |
| K140                | J <sub>3</sub> ох-км | 250        | 1.2  | —   | —   | 0.8 | —   | 2.0  | 69.2 | 0.8  | 0.4 | 0.4  | 21.6 | —   | 1.6  | 0.8  | 0.8  | 0.4  |     |
| K145                | J <sub>3</sub> ох-км | 138        | 2.2  | —   | —   | —   | —   | 4.3  | 79.8 | 0.7  | 1.4 | —    | 4.3  | —   | 7.3  | —    | —    | —    |     |
| K149                | J <sub>3</sub> ох-км | 410        | 0.7  | —   | —   | —   | —   | 5.1  | 81.7 | 1.0  | 1.5 | 0.5  | 2.7  | —   | 6.1  | —    | —    | 0.7  |     |
| K163                | J <sub>3</sub> ох-км | 328        | 0.6  | —   | —   | —   | —   | —    | 93.7 | —    | 0.3 | 0.3  | 2.1  | —   | 2.1  | 0.6  | 0.3  | —    |     |
| K166                | J <sub>3</sub> ох-км | 262        | 0.8  | 0.4 | —   | —   | 0.4 | 0.4  | 63.2 | 0.8  | 0.4 | —    | 12.1 | —   | 2.3  | —    | 18.7 | 0.4  |     |
| K169                | J <sub>3</sub> ох-км | 316        | —    | 0.6 | —   | 0.3 | 0.3 | 2.2  | 53.6 | 1.3  | 0.6 | 0.3  | 25.3 | 6.6 | 3.8  | —    | 4.8  | 0.3  |     |
| K174                | J <sub>3</sub> ох-км | 262        | 4.6  | 1.5 | —   | 0.4 | —   | 8.8  | 47.7 | 0.4  | —   | —    | 7.6  | —   | —    | 1.1  | 27.5 | 0.4  |     |
| K191                | J <sub>3</sub> км-т  | 385        | 1.0  | —   | —   | —   | —   | 2.3  | 88.5 | 0.5  | 0.5 | 0.3  | 1.3  | —   | 3.6  | 1.0  | —    | 1.0  |     |
| K199                | J <sub>3</sub> км-т  | 240        | 2.5  | —   | —   | 0.8 | —   | —    | 89.2 | —    | —   | —    | —    | —   | 4.2  | —    | 1.2  | 2.1  |     |
| K202                | J <sub>3</sub> км-т  | 98         | 2.0  | —   | —   | 1.0 | —   | 2.0  | 90.0 | 1.0  | —   | —    | —    | —   | 2.0  | 1.0  | 1.0  | —    |     |
| K207                | J <sub>3</sub> км-т  | 251        | 1.6  | —   | —   | 0.4 | 0.4 | 10.8 | 66.4 | 0.4  | —   | —    | 2.8  | —   | 8.4  | 0.4  | 8.4  | —    |     |
| K211                | J <sub>3</sub> км-т  | 229        | 1.7  | —   | —   | —   | —   | 1.3  | 85.3 | —    | —   | —    | 1.7  | 0.9 | 4.8  | 1.7  | 2.6  | —    |     |
| K216                | J <sub>3</sub> км-т  | 227        | 0.9  | 1.3 | —   | —   | —   | 0.4  | 67.3 | —    | —   | —    | 23.1 | —   | 1.8  | 1.3  | 3.9  | —    |     |
| K218                | J <sub>3</sub> км-т  | 515        | 0.8  | —   | —   | —   | —   | 0.6  | 35.2 | 0.2  | —   | —    | 0.2  | —   | 1.4  | 0.8  | 60.8 | —    |     |
| K219                | J <sub>3</sub> км-т  | 162        | 3.1  | —   | —   | 0.6 | 1.2 | 1.8  | 71.0 | 1.9  | —   | —    | 3.7  | —   | 2.5  | 3.7  | 6.2  | 4.3  |     |
| K230                | J <sub>3</sub> км-т  | 313        | 2.9  | —   | —   | 0.6 | —   | 1.6  | 86.9 | —    | —   | 2.2  | 1.3  | —   | —    | —    | 1.3  | 3.2  |     |
| K239                | J <sub>3</sub> км-т  | 361        | 0.6  | —   | —   | 0.6 | 1.4 | —    | 92.2 | —    | —   | 0.8  | 0.8  | —   | 1.9  | —    | —    | 1.7  |     |
| K247                | J <sub>3</sub> км-т  | 305        | 0.3  | —   | —   | —   | —   | 12.5 | 4.9  | 32.0 | 0.3 | —    | 0.3  | 0.3 | —    | 0.3  | 1.3  | 47.4 | 0.3 |
| K253                | J <sub>3</sub> км-т  | 210        | —    | —   | —   | —   | —   | 1.9  | 79.5 | 0.5  | —   | 0.9  | 0.5  | —   | 1.4  | 0.5  | 14.3 | 0.5  |     |
| K261                | J <sub>3</sub> км-т  | 246        | —    | —   | —   | —   | 0.4 | 8.5  | 29.8 | 0.4  | —   | —    | —    | —   | 2.0  | 1.6  | 57.3 | —    |     |
| K265                | J <sub>3</sub> км-т  | 251        | 0.4  | 0.4 | —   | 0.4 | —   | 0.4  | 89.6 | —    | —   | 0.4  | 3.6  | —   | 0.8  | —    | 3.2  | 0.8  |     |
| <b>р. Улитка</b>    |                      |            |      |     |     |     |     |      |      |      |     |      |      |     |      |      |      |      |     |
| 655/13              | K <sub>1</sub> b     | 211        | 0.5  | 0.5 | —   | —   | 0.5 | 5.2  | 72.1 | 0.9  | 0.5 | 0.9  | 8.5  | —   | 1.4  | —    | 8.1  | 0.9  |     |
| 41/13               | K <sub>1</sub> b     | 175        | 7.4  | 3.4 | —   | —   | —   | 9.7  | 61.8 | —    | —   | —    | —    | —   | 16.0 | —    | —    | 1.7  |     |
| 47                  | K <sub>1</sub> b     | 320        | 5.9  | 0.3 | —   | 0.3 | —   | —    | 57.1 | 0.9  | —   | 0.6  | 8.7  | —   | 3.4  | 13.5 | 13.5 | 0.9  |     |
| 47/1                | K <sub>1</sub> b     | 381        | 26.5 | —   | —   | 0.8 | 3.7 | 0.3  | 41.7 | 7.6  | 0.5 | —    | 0.5  | —   | 3.2  | —    | —    | 15.2 |     |
| 47/2                | K <sub>1</sub> b     | 287        | 34.5 | 1.0 | —   | 0.3 | 3.5 | 1.0  | 49.2 | 4.9  | —   | —    | —    | —   | 5.6  | —    | —    | —    |     |
| 49/1                | K <sub>1</sub> b     | 370        | 1.9  | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | —    | 70.0 | 0.3  | —   | —    | 12.2 | —   | 0.5  | 11.4 | 1.2  | 0.9  |     |
| 52                  | K <sub>1</sub> b     | 482        | 48.6 | 9.1 | 6.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1  | 26.1 | —    | —   | —    | —    | —   | 1.0  | 3.1  | 3.1  | 0.4  |     |

Примечание. Пробы K199, K202, K207 и K211 – алевриты, остальные – песчаники. Срх – клинопироксен, Орх – ортопироксен, Ol – оливин, Нв – роговая обманка, Ер – эпидот, Grn – гранат, Zr – циркон, Tur – турмалин, Sph – сфен, Lcx – лейкоксен, Ant – анатаз, Ap – апатит, Mt – магнетит, Ilm – ильменит, Chr – хромит. Прочерк - не обнаружено. Аналитики – В.И. Тихонова, Н.В. Трушкова и П.Д. Гасанова.

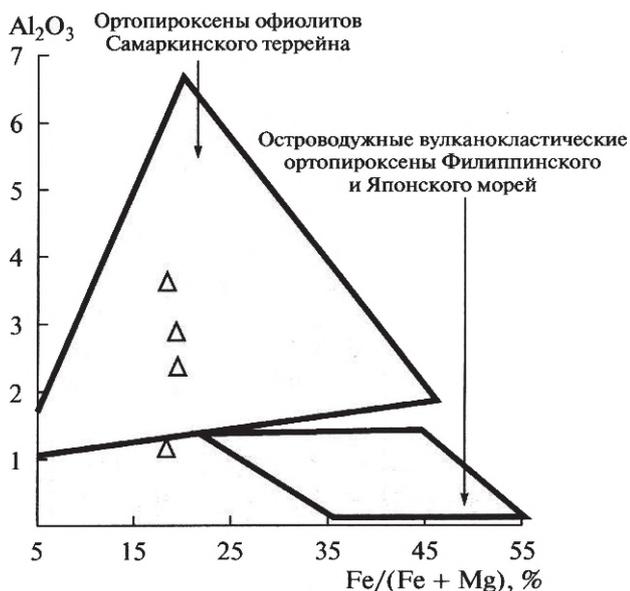


Рис. 5. Диаграмма  $Al_2O_3$ – $Fe/(Fe + Mg)$  для ортопироксенов из песчаника обр. 52 р. Улитка. Поля составов ортопироксенов возможных исходных пород, по [Nechaev et al., 1997].



Рис. 6. Диаграмма состава клинопироксенов песчаников р. Улитка.

[Ляхович, 1979]. В песчаниках р. Улитка развита клинопироксен-цирконовая ассоциация тяжелых минералов (см. табл. 2), где количество циркона достигает 50–70%, а клинопироксена в некоторых пробах 48%. Кроме того, в этих песчаниках повышены содержания ортопироксена (9%),

оливина (6%) и хромита (15%). По сравнению с песчаниками других разрезов здесь меньше граната, лейкоксена и ильменита, встречаются редкие кристаллы роговой обманки, эпидота, рутила, сфена и анатаза.

Химические особенности некоторых тяжелых минералов содержат важную информацию для определения состава пород и геологической природы питающих провинций [Morton, 1991; Mange, Morton, 2007]. Нами изучены геохимические особенности ортопироксена, клинопироксена, граната и хромита (табл. 3).

**Ортопироксены** в песчаниках р. Улитка мало-железистые и судя по диаграмме (рис. 5) сходны с ортопироксенами среднепалеозойских офиолитов Самаркинского террейна.

**Клинопироксены** изучены в песчаниках р. Улитка и представлены авгитом, меньше распространены диопсид и салит (рис. 6). Магматические источники клинопироксенов определены с помощью дискриминационных диаграмм Дж. Летеррье с соавторами [Leterrier et al., 1982].

Клинопироксены имеют различную природу (рис. 7). Источником клинопироксена обр. 52 с высоким содержанием оксида титана (1.88%), очевидно, были щелочные базальты океанических островов (см. табл. 3). Другая часть клинопироксенов, вероятно, образовалась при разрушении нещелочных (нормальных) базальтов (см. рис. 7а). Клинопироксены, которые на диаграмме рис. 7а расположены вблизи линии, разграничивающей минералы, поступающие их разных источников, формально принадлежат щелочным базальтам. Однако низкие содержания титана и натрия не позволяют уверенно относить их к этой группе пород. Вероятно, их исходными породами были также нормальные базальты. Клинопироксены на диаграмме рис. 7б разделяются на минералы с повышенными содержаниями  $CaO$ , источником которых, очевидно, были толеитовые базальты или ультрабазиты офиолитовой ассоциации (обр. 52), и клинопироксены известково-щелочных и толеитовых базальтов окраинно-континентальной или островной дуг (обр. 47/1 и 47/2).

**Хромиты** песчаников р. Улитка высокотитанистые и их источником, очевидно, были щелочные внутриплитные базальты (см. табл. 3, рис. 8).

**Гранаты** в песчаниках руч. Лямфана и р. Улитка представлены альмандином с небольшим содержанием спессартиновой или пироповой составляющей. Их источником, очевидно, были кислые изверженные породы, а также, возможно, в меньшем количестве, породы низкой стадии метаморфизма (рис. 9).

Таким образом, преобладание циркона среди обломочных минералов тяжелой фракции, присутствие иногда в значительном количестве граната, наиболее вероятными источниками которого были

Таблица 3. Химический состав (вес. %) некоторых тяжелых минералов в песчаниках юрского аккреционного комплекса Сихотэ-Алиня

| Проба                | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO*  | MnO   | MgO   | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | Сумма  |
|----------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|------------------|--------|
| <b>руч. Лямфана</b>  |                  |                  |                                |                                |       |       |       |       |                   |                  |        |
| <b>Гранат</b>        |                  |                  |                                |                                |       |       |       |       |                   |                  |        |
| Л89                  | 39.40            | 0.05             | 20.63                          | 0.09                           | 28.51 | 0.60  | 10.01 | 0.97  | 0.04              | —                | 100.32 |
| Л89                  | 36.42            | 0.03             | 22.88                          | 0.02                           | 37.07 | 1.62  | 2.25  | 0.90  | 0.04              | 0.08             | 101.31 |
| Л89                  | 36.88            | 0.18             | 22.74                          | 0.02                           | 31.77 | 2.02  | 4.45  | 2.77  | 0.06              | 0.07             | 100.96 |
| Л89                  | 38.21            | 0.07             | 18.98                          | 0.07                           | 34.06 | 0.90  | 5.13  | 1.83  | 0.03              | —                | 99.30  |
| Л93                  | 37.21            | 0.39             | 19.84                          | 0.07                           | 19.84 | 17.56 | 2.71  | 2.43  | 0.05              | 0.02             | 100.13 |
| Л93                  | 35.92            | 0.18             | 21.61                          | 0.04                           | 34.72 | 1.57  | 4.13  | 1.11  | 0.02              | 0.02             | 99.32  |
| Л93                  | 36.95            | 0.28             | 21.15                          | 0.05                           | 23.40 | 8.33  | 3.27  | 4.95  | 0.02              | 0.02             | 98.41  |
| Л93                  | 37.18            | 0.27             | 21.25                          | 0.07                           | 30.23 | 3.21  | 5.89  | 1.64  | 0.03              | 0.01             | 99.79  |
| Л98                  | 37.24            | 0.31             | 21.02                          | 0.03                           | 24.58 | 11.74 | 3.46  | 0.75  | 0.06              | 0.03             | 99.23  |
| Л98                  | 37.16            | 0.21             | 21.77                          | 0.08                           | 19.44 | 14.34 | 4.61  | 1.58  | —                 | 0.02             | 99.22  |
| Л98                  | 37.86            | 0.39             | 21.30                          | 0.04                           | 25.19 | 0.64  | 5.18  | 8.69  | 0.07              | 0.02             | 99.39  |
| Л98                  | 37.77            | 0.29             | 20.66                          | 0.09                           | 29.22 | 2.17  | 5.18  | 4.09  | 0.04              | 0.02             | 99.53  |
| Л98                  | 36.97            | 0.02             | 22.87                          | 0.02                           | 32.28 | 4.55  | 2.66  | 1.63  | 0.03              | 0.06             | 101.09 |
| <b>р. Улитка</b>     |                  |                  |                                |                                |       |       |       |       |                   |                  |        |
| <b>Ортопироксен</b>  |                  |                  |                                |                                |       |       |       |       |                   |                  |        |
| 52                   | 55.51            | 0.32             | 3.63                           | 0.41                           | 10.73 | 0.20  | 28.54 | 2.52  | 0.17              | —                | 102.02 |
| 52                   | 54.60            | 0.26             | 2.38                           | 0.39                           | 11.62 | 0.25  | 27.86 | 2.26  | 0.08              | —                | 99.71  |
| 52                   | 55.09            | 0.29             | 1.13                           | 0.33                           | 11.90 | 0.27  | 28.29 | 1.55  | —                 | —                | 98.86  |
| 52                   | 54.41            | 0.28             | 2.89                           | 0.60                           | 10.57 | 0.23  | 27.78 | 2.23  | 0.10              | —                | 99.09  |
| <b>Клинопироксен</b> |                  |                  |                                |                                |       |       |       |       |                   |                  |        |
| 47/1                 | 52.52            | 0.49             | 2.30                           | 0.08                           | 10.60 | 0.21  | 15.30 | 19.24 | 0.26              | 0.01             | 101.01 |
| 47/1                 | 50.78            | 0.52             | 3.75                           | 0.07                           | 7.03  | 0.08  | 15.11 | 21.40 | 0.33              | —                | 99.06  |
| 47/1                 | 51.49            | 0.51             | 3.13                           | 0.05                           | 6.65  | 0.13  | 15.30 | 21.25 | 0.26              | 0.01             | 98.78  |
| 47/1                 | 50.69            | 0.40             | 3.90                           | 0.17                           | 6.21  | 0.01  | 15.26 | 20.11 | 0.38              | 0.03             | 97.17  |
| 47/1                 | 50.54            | 0.39             | 2.61                           | 0.14                           | 5.56  | 0.18  | 15.37 | 23.39 | 0.25              | —                | 98.44  |
| 47/1                 | 47.16            | 0.43             | 4.86                           | 0.26                           | 7.76  | 0.15  | 13.52 | 23.61 | 0.35              | —                | 98.10  |
| 47/1                 | 51.80            | 0.54             | 3.17                           | 0.22                           | 6.93  | 0.15  | 14.15 | 22.17 | 0.35              | 0.02             | 99.50  |
| 47/2                 | 51.95            | 0.53             | 2.09                           | 0.01                           | 10.12 | 0.31  | 17.26 | 18.21 | 0.16              | —                | 101.26 |
| 47/2                 | 53.20            | 0.41             | 1.67                           | —                              | 10.45 | 0.36  | 14.97 | 20.10 | 0.21              | —                | 101.37 |
| 52                   | 53.43            | 0.39             | 3.17                           | 0.56                           | 8.08  | 0.19  | 18.78 | 15.70 | 0.53              | —                | 100.81 |
| 52                   | 49.91            | 0.90             | 6.71                           | 0.21                           | 8.11  | 0.23  | 15.91 | 17.42 | 0.77              | —                | 100.16 |
| 52                   | 51.40            | 1.18             | 5.35                           | 0.09                           | 9.64  | 0.23  | 15.18 | 16.30 | 0.92              | 0.01             | 100.29 |
| 52                   | 50.46            | 0.78             | 5.17                           | 0.45                           | 8.43  | 0.21  | 14.60 | 18.93 | 1.00              | —                | 100.03 |
| 52                   | 47.66            | 1.88             | 6.45                           | 0.12                           | 9.80  | 0.24  | 12.74 | 18.97 | 1.17              | —                | 99.02  |
| <b>Хромит</b>        |                  |                  |                                |                                |       |       |       |       |                   |                  |        |
| 47/1                 | н.а.             | 2.70             | 10.75                          | 47.79                          | 27.28 | 0.32  | 11.04 | н.а.  | н.а.              | н.а.             | 99.88  |
| 47/1                 | н.а.             | 1.55             | 11.54                          | 49.35                          | 22.18 | 0.29  | 13.35 | н.а.  | н.а.              | н.а.             | 98.27  |
| <b>Гранат</b>        |                  |                  |                                |                                |       |       |       |       |                   |                  |        |
| 41/13                | 38.37            | 0.34             | 16.58                          | 0.07                           | 35.04 | 1.77  | 1.46  | 4.71  | —                 | 0.01             | 98.35  |
| 41/13                | 38.51            | 0.41             | 19.59                          | 0.13                           | 33.70 | 2.74  | 1.83  | 4.09  | —                 | 0.01             | 101.11 |

Примечание. FeO\* общее железо анализировалось как FeO. Прочерк не обнаружено, н.а. не анализировалось. Анализы выполнены Н.И. Екимовой на рентгеновском микроанализаторе JXA-5A в ДВГИ ДВО РАН.

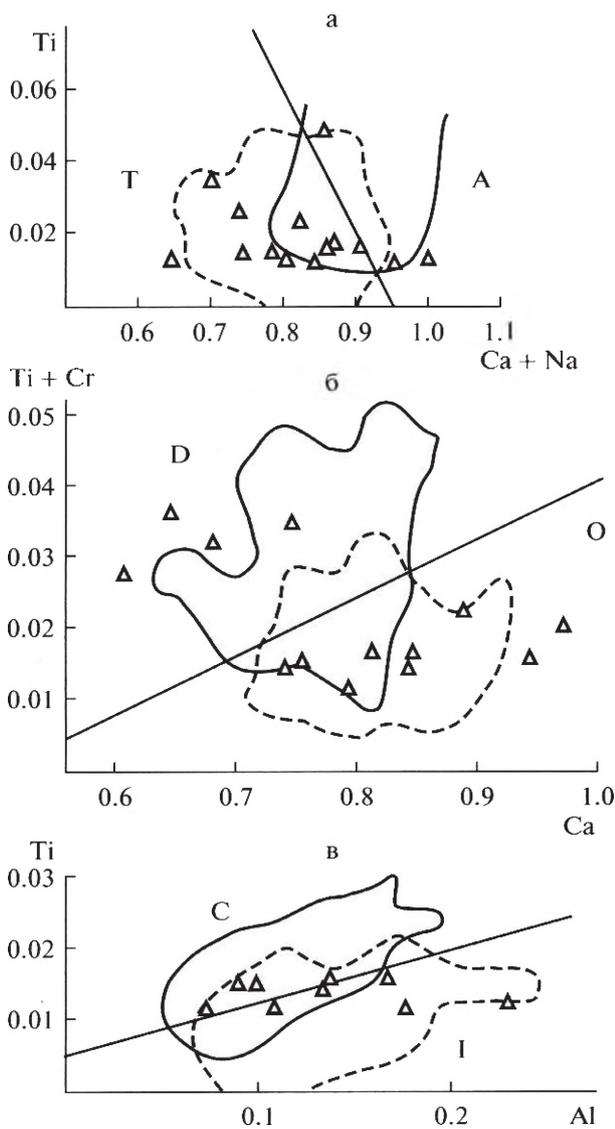


Рис. 7. Составы клинопироксенов из песчаников р. Улитка на дискриминационных диаграммах, по [Leterrier et al., 1982].

а – для клинопироксенов нормальных базальтов (Т) и щелочных внутриконтинентальных базальтов и океанических островов (А); б – для клинопироксенов базальтов окраинно-континентальных, островных дуг (О) и базальтов MORB, абиссальных толеитов и переходных рифтовых (D); в – для клинопироксенов известково-щелочных (С) и толеитовых базальтов окраинно-континентальных и островных дуг (I). Элементы приведены в формульных единицах.

граниты и кислые эффузивы, подтверждают вывод, сделанный при изучении породообразующих компонентов песчаников: области сноса в основном были сложены кислыми изверженными породами. Присутствие минералов, характерных для основных пород (оливин, пироксены, хромит и др.), в некоторых песчаниках р. Улитка, свидетельствует о наличии второстепенных источни-

ков сноса, таких как офиолитовые комплексы, щелочные базальты океанических островов и основные вулканиты магматических дуг.

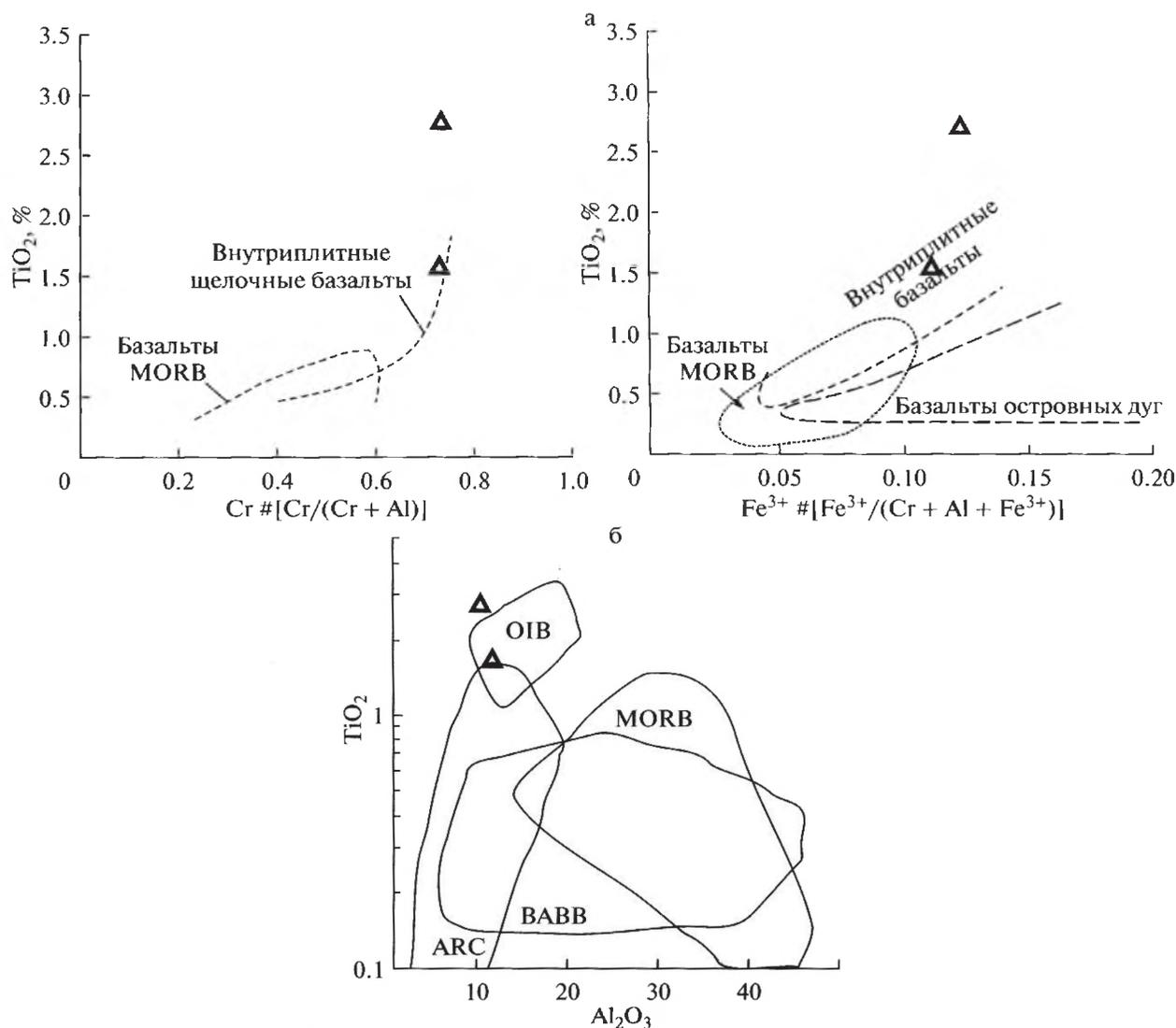
#### ВАЛОВЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Песчаники руч. Лямфана отличаются от песчаников р. Катэн относительно низкими содержаниями  $\text{SiO}_2$  (в среднем 66–71% на руч. Лямфана и 75–80% на р. Катэн), повышенными количествами железа,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ , а также преобладанием  $\text{Na}_2\text{O}$  над  $\text{K}_2\text{O}$  (табл. 4). Содержание  $\text{Na}_2\text{O}$  в песчаниках руч. Лямфана обычно около 4%, а  $\text{K}_2\text{O}$  редко превышает 2%, тогда как в псаммитах р. Катэн  $\text{K}_2\text{O}$  часто больше 3%, что иногда выше содержания  $\text{Na}_2\text{O}$ . Песчаники р. Улитка по содержанию  $\text{SiO}_2$  занимают промежуточное положение, но в них больше общего железа, а соотношение  $\text{Na}_2\text{O}$  к  $\text{K}_2\text{O}$  различное (см. табл. 4). По химическому составу песчаники р. Катэн близки изверженным породам риолит-гранитного ряда, а руч. Лямфана дацитам и гранодиоритам (рис. 10). Псаммиты р. Улитка сходны по составу с гранитами и риолитами, отличаясь большей железистостью.

#### ПИТАЮЩИЕ ПРОВИНЦИИ И ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ

По результатам изучения древних песчаников в складчатых областях обрамления Тихого океана В. Дикинсон с соавторами [Dickinson et al., 1983; Dickinson, 1985] показали, что на диаграмме Qm-F-Lt средние составы песчаников, формирующихся в пределах тектонических структур различного типа, группируются в поля, обусловленные их источниками сноса, такими как континентальные блоки, магматические дуги и орогенные области (рис. 11). На этой диаграмме песчаники руч. Лямфана попадают в поле питающей провинции эродированных магматических дуг. Считается, что эти дуги островные или окраинно-континентальные и в данном случае представляют собой расчлененную, эродированную их разновидность. Песчаники р. Катэн занимают поле, пограничное положение между сильно эродированными магматическими дугами, где эрозия достигла полнокристаллических батолитов, подстилающих вулканиты, и приподнятыми блоками основания, что подтверждается повышенным содержанием в этих породах калиевых полевых шпатов и обломков гранитоидов. Песчаники р. Улитка расположены близко к полю питающей провинции переходных (краевых) частей кратонов.

Исследование песков и песчаников, вскрытых глубоководным бурением в обрамлении Тихого океана, в Средиземноморском и Карибском регионах [Marsaglia, Ingersoll, 1992] показало, что в пределах питающей провинции магматических



**Рис. 8.** Составы обломочных хромитов песчаников р. Улитка. а – на диаграммах  $TiO_2$ – $Cr\# [Cr/(Cr + Al)]$  и  $TiO_2$ – $Fe^{3+}\# [Fe^{3+}/(Cr + Al + Fe^{3+})]$ , по [Arai, 1992]. б – на диаграмме  $Al_2O_3$ – $TiO_2$ , по [Lenaz et al., 2000]. MORB – поле составов хромитов из базальтов срединно-океанических хребтов, BABB – задуговых бассейнов, OIB – океанических островов и ARC – островных дуг.

дуг В. Дикинсона с соавторами [Dickinson et al., 1983] выделяются следующие поля (рис. 12): 1) внутриокеанических и остаточных дуг, 2) континентальной дуги, 3) континентальной дуги, осложненной сдвигами и 4) области вулканизма тройного сочленения плит. Рассматриваемые песчаники на этой диаграмме в основном соответствуют породам, питающей провинцией которых являются континентальные дуги, находящиеся под воздействием трансформных разломов (сдвигов) или косой субдукции. Современными примерами подобных областей сноса являются участки конвергентной окраины Северной Америки: Каскадия, Мексика, Гватемала и др.

По результатам изучения комплексов тяжелых минералов в современных осадках осадочных

бассейнов различных тектонических обстановок Э. Гарзанти и С. Андо [Garzanti, Ando, 2007] выделили на диаграмме A-&-POS поля ассоциаций тяжелых минералов, характеризующих различные типы питающих провинций (рис. 13). По данным [Dickinson et al., 1983; Dickinson, 1985; Ingersoll, 1990], это континентальные блоки, где различаются кратоны, краевые части (плечи) пассивных (невулканогенных) и активных (вулканических) рифтов, в разной степени эродированные магматические дуги и орогенические области, которые подразделяются на коллизионные (Гималайского типа) и обдукционные (Оманского типа) орогены, а также складчато-покровные пояса. Средние составы ассоциаций тяжелых минералов изученных песчаников юрской аккреционной призмы

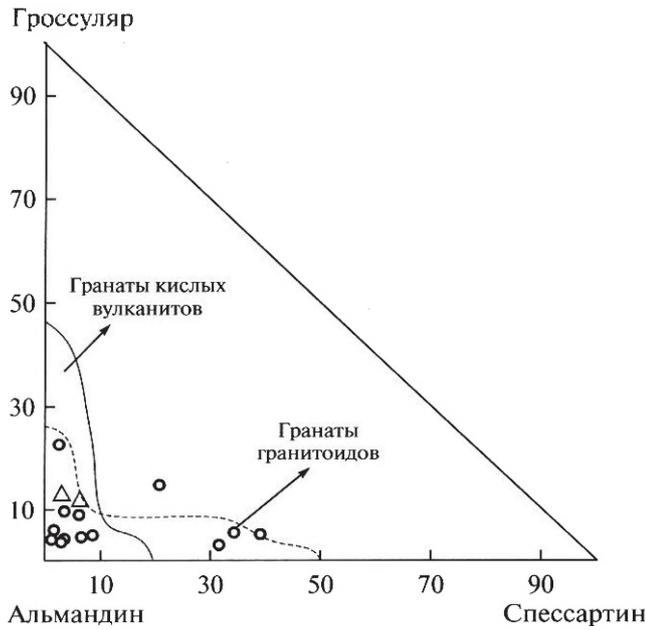


Рис. 9. Диаграммы состава гранатов песчаников руч. Лямфана (1) и р. Улитка (2). Поля гранатов кислых изверженных и метаморфических пород, по [Соболев, 1964].

Сихотэ-Алиня на этой диаграмме приближены к полю питающей провинции невулканических краевых частей рифтов, примером которых является восточная часть Аденского залива.

Генетическая интерпретация химического состава песчаников, основанная на тех же принципах, что и интерпретация породообразующих компонентов, показана на рис. 14. На диаграммах М. Бхатия [Bhatia, 1983] для разделения песчаников из бассейнов различных тектонических обстановок использованы параметры:  $SiO_2/Al_2O_3$ ,  $Al_2O_3/Na_2O$ ,  $Al_2O_3/(CaO+Na_2O)$ ,  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3^* +$

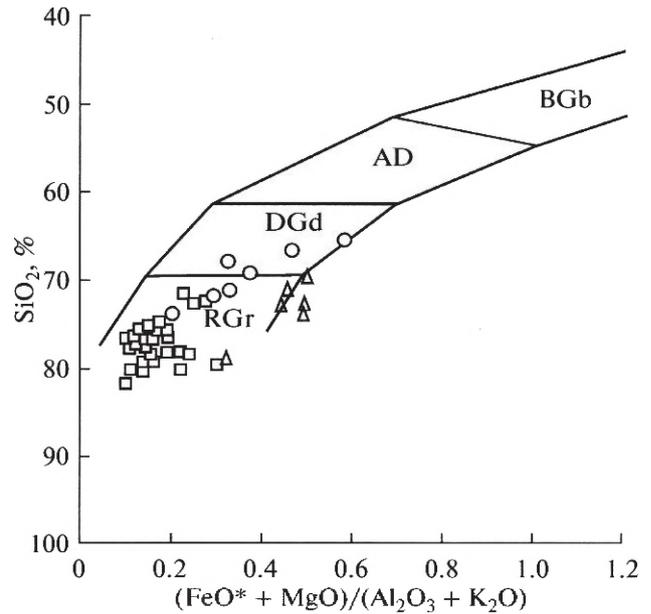


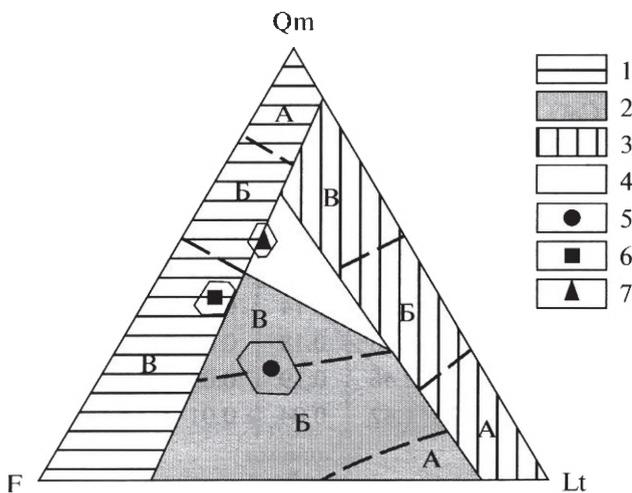
Рис. 10. Диаграмма  $SiO_2 - (FeO^* + MgO)/(Al_2O_3 + K_2O)$  для песчаников юрского аккреционного комплекса Сихотэ-Алиня, по [Kusunoki, Musashino, 2001]. Поля RGr, DGd, AD и BGb грубо соответствуют полям изверженных пород риолит-гранитного, дацит-гранодиоритового, андезит-диоритового и базальт-габбрового составов соответственно.  $FeO^*$ —общее железо. Условные обозначения см. рис. 3.

+ MgO, которые отражают минеральный состав пород питающей провинции и геохимическое поведение ряда элементов в морской воде. По этим показателям песчаники изученных разрезов расположены в поле осадочных бассейнов континентальных окраин андийского типа и окраин, осложненных сдвиговыми дислокациями, или приближены к этому полю. Точки средних составов песчаников р. Улитка и руч. Лямфана на некоторых диаграммах смещены в сторону поля бассейнов, сопряженных с островными дугами, развитыми на континентальной коре (например, Японские острова). По результатам изучения химического состава песчаников, поступающих с различных магматических дуг японские исследователи [Kiminami et al., 1992] предложили диаграмму, на которой поля разграничивают питающие провинции различных типов и стадий развития (рис. 15). На этой диаграмме песчаники руч. Лямфана и р. Катэн в основном попадают в поле пород, формировавшихся за счет разрушения окраинно-континентальной или значительно эродированной островной дуги. Песчаники р. Улитка из-за высокого индекса основности и большого содержания кремнезема расположены около поля питающей провинции слабоэродированной островной дуги.

Таблица 4. Химический состав (% массы) песчаников юрского аккреционного комплекса Сихотэ-Алиня

| Проба               | Компоненты       |                  |                                |                                |      |      |      |      |                   |                  |                               |                  |       | Сумма  |
|---------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-------|--------|
|                     | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO  | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | H <sub>2</sub> O | п.п.п |        |
| <b>руч. Лямфана</b> |                  |                  |                                |                                |      |      |      |      |                   |                  |                               |                  |       |        |
| Л86                 | 66.37            | 0.64             | 13.68                          | 1.50                           | 2.96 | 0.10 | 2.47 | 1.93 | 4.80              | 1.15             | 0.23                          | 0.09             | 4.25  | 100.08 |
| Л89                 | 65.71            | 0.47             | 13.21                          | 1.48                           | 5.31 | 0.10 | 2.14 | 1.35 | 4.03              | 1.27             | 0.22                          | 0.14             | 4.18  | 99.47  |
| Л91                 | 70.94            | 0.55             | 14.01                          | 1.53                           | 2.16 | 0.06 | 1.40 | 0.13 | 3.63              | 2.03             | 0.17                          | 0.23             | 3.41  | 100.02 |
| Л93                 | 69.38            | 0.51             | 13.85                          | 1.45                           | 2.66 | 0.07 | 1.59 | 0.83 | 4.19              | 1.76             | 0.14                          | 0.14             | 3.48  | 99.91  |
| Л94                 | 71.70            | 0.49             | 13.37                          | 1.36                           | 2.02 | 0.05 | 1.11 | 0.38 | 3.75              | 2.06             | 0.18                          | 0.03             | 3.13  | 99.60  |
| Л98                 | 68.87            | 0.57             | 14.26                          | 1.34                           | 2.33 | 0.06 | 1.58 | 0.96 | 3.14              | 2.46             | 0.19                          | 0.03             | 4.05  | 99.81  |
| Л99                 | 73.53            | 0.27             | 12.51                          | 1.18                           | 0.89 | 0.04 | 0.71 | 1.26 | 5.13              | 1.42             | 0.04                          | 0.01             | 2.52  | 99.50  |
| <b>р. Катэн</b>     |                  |                  |                                |                                |      |      |      |      |                   |                  |                               |                  |       |        |
| К15                 | 76.30            | 0.20             | 11.43                          | 0.55                           | 0.79 | 0.02 | 0.60 | 1.09 | 3.44              | 3.77             | 0.08                          | 0.20             | 1.59  | 99.86  |
| К99                 | 75.40            | 0.38             | 11.65                          | 1.77                           | 0.35 | 0.06 | 0.70 | 0.43 | 3.55              | 2.14             | 0.07                          | 0.62             | 2.88  | 99.38  |
| К107                | 76.70            | 0.24             | 11.85                          | 1.14                           | 0.32 | 0.03 | 0.69 | —    | 3.31              | 3.40             | 0.08                          | 0.25             | 1.77  | 99.53  |
| К108                | 76.30            | 0.21             | 11.87                          | 1.27                           | 0.20 | 0.01 | 0.49 | 0.22 | 3.26              | 3.79             | 0.08                          | 0.29             | 1.79  | 99.49  |
| К111                | 75.50            | 0.34             | 12.27                          | 1.22                           | 0.49 | 0.01 | 0.50 | 0.22 | 3.28              | 3.61             | 0.10                          | 0.39             | 1.99  | 99.53  |
| К112                | 76.90            | 0.24             | 11.93                          | 1.25                           | 0.41 | 0.01 | 0.50 | 0.22 | 2.83              | 3.20             | 0.08                          | 0.36             | 1.99  | 99.56  |
| К130                | 77.70            | 0.18             | 11.09                          | 1.90                           | 0.43 | 0.09 | 0.60 | 0.43 | 3.49              | 1.79             | 0.11                          | 0.46             | 2.01  | 99.82  |
| К135                | 78.40            | 0.20             | 10.83                          | 1.15                           | 0.47 | 0.04 | 0.40 | 0.43 | 3.67              | 2.48             | 0.08                          | 0.36             | 1.60  | 99.75  |
| К137                | 76.90            | 0.22             | 11.85                          | 1.05                           | 0.46 | 0.02 | 0.60 | —    | 3.31              | 3.05             | 0.07                          | 0.35             | 2.10  | 99.63  |
| К140                | 78.80            | 0.21             | 10.74                          | 1.25                           | 0.43 | 0.03 | 0.50 | —    | 2.24              | 2.95             | 0.07                          | 0.39             | 2.19  | 99.41  |
| К145                | 71.50            | 0.50             | 13.24                          | 3.04                           | 0.53 | 0.06 | 1.01 | 0.40 | 2.38              | 3.19             | 0.14                          | 0.99             | 3.90  | 99.89  |
| К159                | 76.70            | 0.17             | 11.60                          | 0.58                           | 0.76 | 0.02 | 0.40 | 0.87 | 3.53              | 3.79             | 0.08                          | 0.20             | 0.99  | 99.49  |
| К161                | 79.80            | 0.17             | 8.25                           | 1.40                           | 0.91 | 0.05 | 0.80 | 2.21 | 2.24              | 2.18             | 0.09                          | 0.23             | 2.10  | 100.20 |
| К163                | 78.50            | 0.23             | 10.41                          | 0.44                           | 1.01 | 0.02 | 0.56 | 0.23 | 3.79              | 3.23             | 0.08                          | 0.12             | 1.40  | 99.90  |
| К166                | 75.90            | 0.29             | 12.22                          | 0.79                           | 1.08 | 0.01 | 0.40 | 0.55 | 3.37              | 3.48             | 0.6                           | 0.20             | 1.30  | 99.43  |
| К169                | 75.60            | 0.23             | 12.99                          | 0.53                           | 0.95 | 0.01 | 0.48 | 0.33 | 3.41              | 3.82             | 0.06                          | 0.30             | 1.40  | 99.81  |
| К174                | 77.70            | 0.39             | 11.56                          | 1.58                           | 0.50 | 0.04 | 0.80 | 0.25 | 2.02              | 1.47             | 0.05                          | 0.65             | 3.70  | 100.06 |
| К191                | 73.50            | 0.42             | 12.85                          | 1.31                           | 1.35 | 0.09 | 1.04 | 0.57 | 3.58              | 1.99             | 0.12                          | 0.48             | 2.60  | 99.62  |
| К216                | 75.80            | 0.20             | 12.07                          | 0.89                           | 0.84 | 0.01 | 0.79 | 0.41 | 3.71              | 3.62             | 0.11                          | 0.32             | 1.50  | 99.89  |
| К218                | 75.55            | 0.34             | 12.25                          | 1.35                           | 0.83 | 0.01 | 0.69 | 0.27 | 3.42              | 3.21             | 0.17                          | 0.34             | 1.60  | 99.69  |
| К219                | 75.15            | 0.22             | 12.21                          | 1.12                           | 0.85 | 0.03 | 0.79 | 0.55 | 3.47              | 3.78             | 0.10                          | 0.30             | 1.30  | 99.57  |
| К230                | 80.25            | 0.21             | 9.98                           | 0.59                           | 0.77 | 0.04 | 0.31 | 0.76 | 2.75              | 2.68             | 0.03                          | 0.37             | 1.50  | 99.78  |
| К239                | 77.35            | 0.22             | 11.27                          | 1.38                           | 0.61 | 0.04 | 0.58 | 0.55 | 3.47              | 2.91             | 0.20                          | 0.36             | 1.70  | 100.18 |
| К247                | 80.43            | 0.14             | 9.88                           | 1.08                           | 0.48 | 0.06 | 0.46 | 0.66 | 2.40              | 2.68             | 0.13                          | 0.29             | 1.40  | 99.80  |
| К253                | 80.75            | 0.21             | 8.76                           | 0.67                           | 1.10 | 0.05 | 0.63 | 0.55 | 2.67              | 2.55             | 0.16                          | 0.25             | 1.50  | 99.60  |
| К261                | 71.80            | 0.50             | 14.24                          | 0.99                           | 1.88 | 0.05 | 1.19 | 0.77 | 2.53              | 3.05             | 0.19                          | 0.30             | 2.20  | 99.39  |
| К265                | 81.80            | 0.21             | 9.22                           | 0.74                           | 0.84 | 0.05 | 0.43 | 0.23 | 2.66              | 3.04             | 0.14                          | 0.14             | 0.60  | 99.96  |
| <b>р. Улитка</b>    |                  |                  |                                |                                |      |      |      |      |                   |                  |                               |                  |       |        |
| 655/13              | 79.30            | 0.36             | 10.8                           | 1.11                           | 2.1  | 0.09 | 1.1  | 0.88 | 4.3               | 2.24             | н.а                           | н.а              | 2.1   | 100.0  |
| 41/13               | 69.87            | 0.45             | 13.05                          | 6.78*                          | н.а  | 0.03 | 1.42 | 0.77 | 2.86              | 3.00             | 0.15                          | 0.34             | 1.84  | 100.21 |
| 47/1                | 72.54            | 0.44             | 11.72                          | 6.05*                          | н.а  | 0.04 | 1.38 | 0.51 | 2.79              | 2.93             | 0.09                          | 0.42             | 1.94  | 100.43 |
| 47/2                | 70.82            | 0.39             | 12.65                          | 5.53*                          | н.а  | 0.05 | 1.67 | 0.67 | 3.07              | 2.91             | 0.13                          | 0.52             | 1.62  | 99.50  |
| 49/1                | 73.93            | 0.49             | 11.37                          | 4.76*                          | н.а  | 0.06 | 1.63 | 1.18 | 3.36              | 1.78             | 0.09                          | 0.30             | 1.79  | 100.44 |
| 52                  | 72.37            | 0.60             | 12.20                          | 4.86*                          | н.а  | 0.08 | 1.58 | 0.75 | 3.24              | 2.98             | 0.10                          | 0.38             | 1.71  | 100.47 |

Примечание. Прочерк — не обнаружено, н.а. — не анализировалось, \* общее железо.

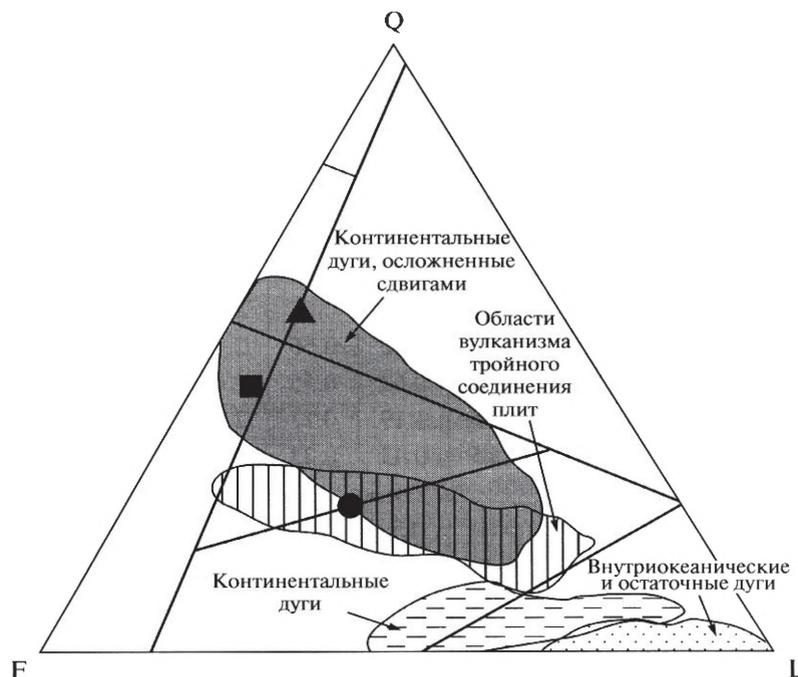


**Рис. 11.** Диаграмма Qm-F-Lt для песчаников различных типов областей питания, по [Dickinson et al., 1983].

1–4 – типы областей питания: 1 – континентальные блоки: А – приподнятые блоки основания, Б – переходные (краевые) части кратонов, В – центральные области кратонов; 2 – магматические дуги: А – слабоэродированные, Б – переходные, В – глубоко эродированные; 3 – орогенические области: А – с полимиктовым составом пород, Б – переходные, В – с существенно кварцевым составом пород; 4 – область питания смешанного типа; 5–7 – средние составы песчаников: 5 – руч. Лямфана, 6 – р. Катэн, 7 – р. Улитка. Qm – кварц монокристаллический, F – полевые шпаты, Lt – обломки пород в целом. Линии вокруг средних составов песчаников – значения среднеквадратичного отклонения.

Таким образом, вещественный состав исследованных песчаников свидетельствует, что их основной питающей провинцией в приконтинентальной области седиментации при формировании юрской аккреционной призмы Сихотэ-Алиня была окраинно-континентальная магматическая дуга. В конце средней юры (руч. Лямфана) слагающие ее породы были сильно эродированы. В позднеюрскую эпоху (р. Катэн) эрозия достигла гранитоидных батолитов дуги, и в области сноса вдоль сдвигов появились блоки кристаллического фундамента. В титон-берриаское время (р. Улитка) роль последних увеличивается, что указывает на усиление косо́й субдукции или влияние трансформных разломов при формировании аккреционной призмы. Кроме того, в этот период увеличивается количество материала ранее аккретированных океанических пород (офиолитов и базальтов).

Вдоль Сихотэ-Алинского звена юрской аккреционной призмы отсутствует магматический пояс. Одни исследователи предполагают, что Самаркинский терреин и его аналоги формировались значительно южнее в результате субдукции, проявлением которой является Восточно-Китайский вулканоплутонический пояс. Последующие постааккреционные дислокации значительно усложнили первичную тектоническую зональность призмы и привели к перемещению с мест образования по сдвигам на значительные рассто-



**Рис. 12.** Диаграмма Q-F-L для песков и песчаников, вскрытых глубоководным бурением в области питающей провинции магматических дуг Тихого океана и окраинных морей, по [Marsaglia, Ingersoll, 1992].

Q – кварц монокристаллический и поликристаллический, F – полевые шпаты, L – обломки пород. Условные обозначения см. рис. 11.

яния некоторых ее фрагментов [Натальин, 1991; Натальин, Фор, 1991; Faure, Natal'in, 1992; Natal'in, 1993]. Другие исследователи рассматривают Сихотэ-Алинский участок окраины в юрское время как арену действия трансформных разломов или субдукции под острым углом к краю континента без образования магматического пояса [Парфенов и др., 1993; Нечаев и др., 1997; Голозубов, 2006; Ханчук и др., 2006]. Однако среднеюрско-раннемеловые вулканоплутонические породы окраинно-континентального субдукционного пояса известны не только в Восточном Китае, но и в западной части Северной Кореи [Филатова и др., 1990; Filatova, 1995], в китайской провинции Цилян вдоль границы с Приморским краем России до оз. Ханка [Regional ..., 1988] и в Южном Приморье [Симаненко, 2001; Nokleberg et al., 2001]. Кроме того, пирокластический материал этого пояса присутствует в средне-позднеюрских мелководных терригенных (преддуговых?) отложениях Южного Приморья и Алчанского выступа [Коновалова, Маркевич, 2004; Филиппов и др., 2004]. При реконструкции эффекта левостороннего перемещения Самаркинского и Наданьхада-Бикинского террейнов призмы по Центрально-Сихотэ-Алинскому и Фущунь-Мишаньскому разломам [Кемкин, Филиппов, 2002; Ханчук, Кемкин, 2003; Кемкин, 2006] исследованные разрезы будут располагаться напротив упомянутых фрагментов окраинно-континентального магматического пояса. Именно они, очевидно, были основным поставщиком обломочного материала в приконтинентальную область седиментации при формировании Сихотэ-Алинского звена юрской аккреционной призмы.

Аналогичные питающие провинции определены по пороодообразующим компонентам и химическому составу песчаников других участков призмы. Песчаники Хабаровского террейна [Ohta, 2002] и среднеюрские (келловейские) [Волохин, Михайлик, 2008] Бреевского разреза Самаркинского террейна также образовались в результате разрушения умеренно-кислых вулканитов окраинно-континентальной магматической дуги [Kusunoki, Musashino, 2001]. Область сноса при формировании позднеюрско-раннемеловых песчаников Дальнегорского разреза Таухинского террейна частично была сложена блоками кристаллического фундамента [Kusunoki, 1996; Kusunoki, Musashino, 2001]. Данные В.П. Нечаева с соавторами [1997] об отсутствии в тяжелой фракции песчаников юрской призмы минералов-индикаторов субдукционной геодинамической обстановки получены в результате изучения небольшого количества проб. Они основаны на незначительном содержании во фракции мафических минералов (пироксенов, амфиболов, оливина и др.), характерных для осадков активных континентальных окраин и вулканических райо-

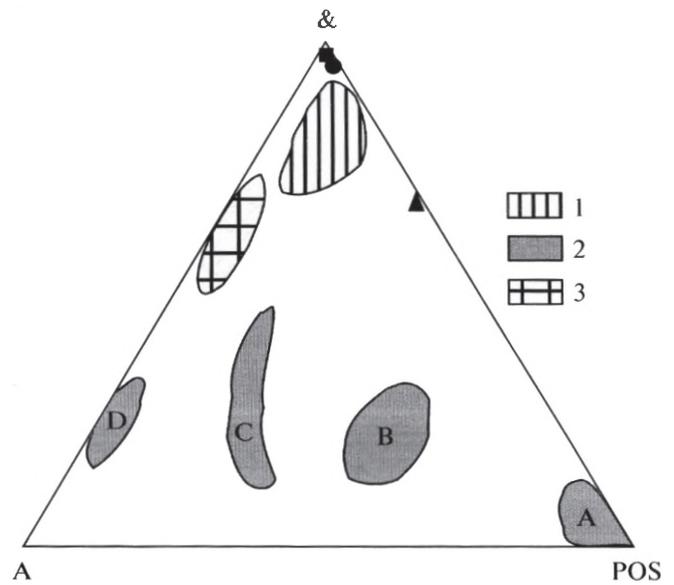


Рис. 13. Комплексы тяжелых минералов различных питающих провинций на диаграмме &–А–POS, по [Garzanti, Ando, 2007].

1–3 – типы питающих провинций: 1 – незродированные плечи рифта; 2 – магматические дуги: А – незродированные, В – переходные слабозродированные, С – переходные эродированные, D – сильноэродированные; 3 – коллизионные орогены. А – амфиболы и эпидоты, POS – клинопироксены, ортопироксены, оливины и хромиты, & другие прозрачные минералы. Остальные условные обозначения см. рис. 11.

нов Тихого океана. Однако в составе исследованных песчаников преобладает материал кислых изверженных пород, в которых эти минералы редки, что ставит под сомнение вывод В.П. Нечаева с соавторами [1997] о геодинамической обстановке образования призмы. Очевидно, необходимы дополнительные исследования для согласования этих данных с нашими материалами и результатам изучения ассоциаций тяжелых минералов в современных осадках по типам питающих провинций в различных геодинамических обстановках [Garzanti, Ando, 2007].

В целом, состав питающих провинций песчаников и имеющиеся геологические данные позволяют предполагать что формирование юрской аккреционной призмы Сихотэ-Алиня в конце средней юры происходило в режиме субдукции. В конце юры-начале мела она сменилась трансформным скольжением плит или субдукцией под острым углом к континенту с образованием многочисленных сдвигов. Позднее фрагменты призмы были перемещены по левосторонним сдвигам на значительное расстояние с первоначального места положения.

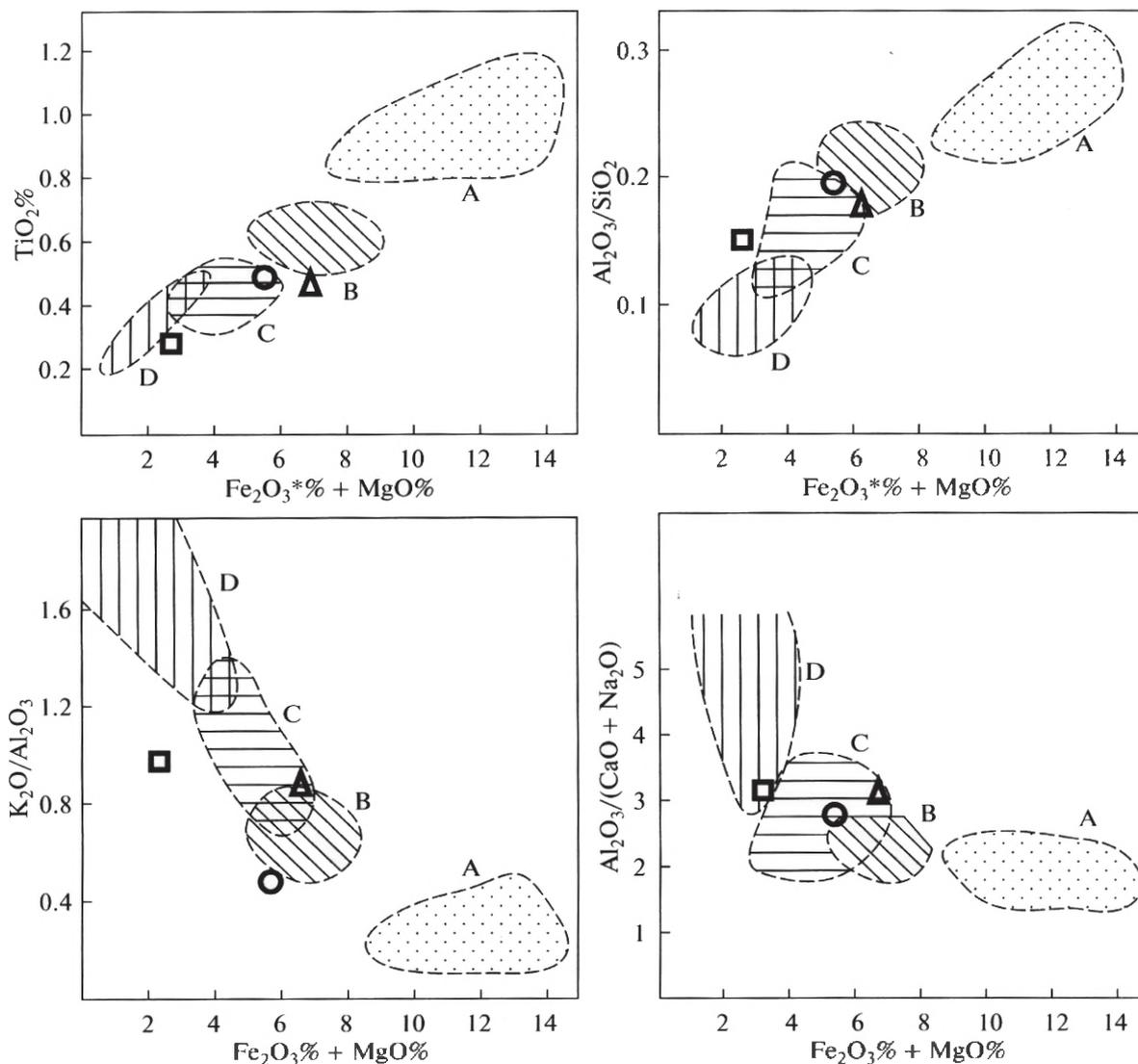


Рис. 14. Диаграммы химического состава песчаников из различных тектонических обстановок, по [Bhatia, 1983]. Поля значений геохимических параметров песчаников из бассейнов, сопряженных: А – с океаническими, В – с континентальными островными дугами, С – с активными, D – пассивными континентальными окраинами.  $Fe_2O_3^*$  – общее железо, пересчитанное на  $Fe_2O_3$ . Условные обозначения см. рис. 11.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для определения питающих провинций и геодинамического режима на разных этапах формирования юрской аккреционной призмы Сихотэ-Алиня были исследованы породообразующие компоненты, обломочные минералы тяжелой фракции (включая химический состав некоторых минералов-индикаторов источников сноса) и химический валовой состав песчаников приконтинентальной области седиментации. Исследованные разрезы расположены в Самаркинском (руч. Лямфана и р. Катэн, соответственно, верхний и средний? структурные уровни призмы) и Наданьхада-Бикинском (р. Улитка – нижний структурный

уровень) террейнах. По соотношению породообразующих компонентов в районе руч. Лямфана преобладают кварц-полевошпатовые граувакки, реже граувакковые аркозы, в районе р. Катэн и р. Улитка – граувакковые аркозы. В составе породообразующих компонентов наиболее значительна роль материала кислых изверженных пород: кварца, кислого плагиоклаза и калиевого полевого шпата, а также обломков пород кислых эффузивов, их субинтрузивных аналогов и гранитоидов. Ассоциации тяжелых минералов, среди которых, как правило, преобладают циркон и гранат, подтверждают вывод о преобладании в областях сноса кислых изверженными породами. Присутствие в песчаниках р. Улитка минералов, характерных

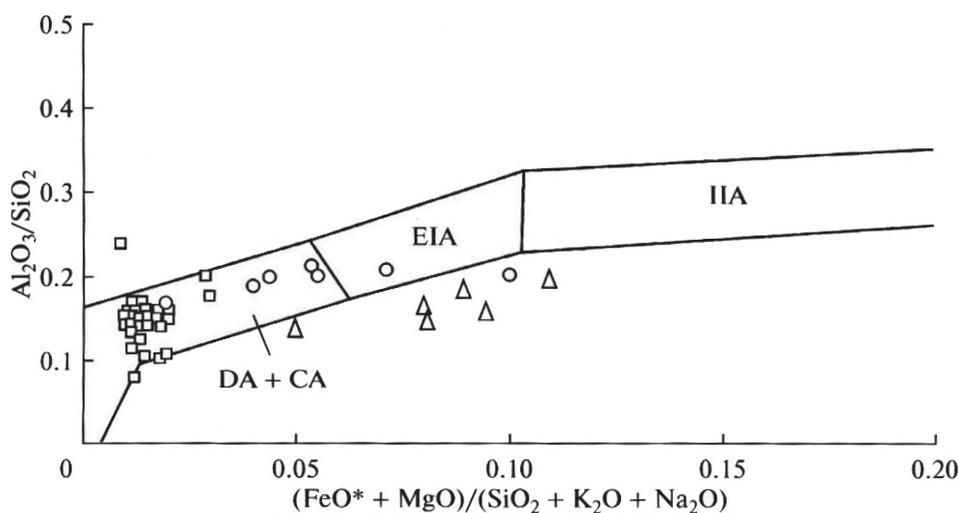


Рис. 15. Диаграмма соотношения  $Al_2O_3/SiO_2$  – индекс основности  $[(FeO + MgO)/(SiO_2 + K_2O + Na_2O)]$  в песчаниках различных типов питающих провинций магматических дуг, по [Kiminami et al., 1992].

Питающие провинции магматических дуг: ПА – островные океанические незрелые, ЕІА – слабоэродированные островные, DA – сильноэродированные островные, СА – окраинно-континентальные. Условные обозначения см. рис. 3.

для основных пород Состав минералов, характерных для основных пород (оливин, пироксены, хромит и др.), свидетельствует о том, что второстепенными источниками сноса были ранее аккрецированные океанические комплексы. По химическому составу исследованные песчаники близки изверженным породам риолит-гранитного ряда, реже дацитам и гранодиоритам. В конце средней юры (руч. Лямфана) основной питающей провинцией для песчаников юрской аккреционной призмы Сихотэ-Алиня была эродированная окраинно-континентальная магматическая дуга, и существовал субдукционный режим формирования призмы. В позднеюрскую эпоху (р. Катэн) эрозия достигла гранитоидных батолитов дуги, и в области сноса вдоль сдвигов появились блоки кристаллического фундамента, а в титон-берриаское время (р. Улитка) роль последних увеличилась, что указывает на активизацию процесса косой субдукции или на влияние трансформных разломов при формировании аккреционной призмы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 08-05-00041, и фонда ДВО РАН (проект 09-1-ОН3-01).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Волохин Ю. Г., Михайлик Е. В. Структура, состав и условия образования средне-позднеюрской кремневой формации // Триас и юра Сихотэ-Алиня. Книга 2. Вулканогенно-осадочный комплекс / Под ред. Маркевича П. В., Захарова Ю. Д. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 103–124.

Геосинклинальный литогенез на границе континент-океан. М.: Наука, 1987. 178 с.

Голозубов В. В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 239 с.

Кемкин И. В. Геодинамическая эволюция Сихотэ-Алиня и Япономорского региона в мезозое. М.: Наука, 2006. 258 с.

Кемкин И. В., Филиппов А. Н. Структура и условия образования Самаркинской аккреционной призмы Южного Сихотэ-Алиня // Геотектоника. 2002. № 5. С. 79–88.

Коновалова И. В., Маркевич П. В. Юрская система. Южное Приморье // Триас и юра Сихотэ-Алиня. Книга 1. Терригенный комплекс / Под ред. Маркевича П. В., Захарова Ю. Д. Владивосток: Дальнаука, 2004. С. 233–301.

Ляхович В. В. Акцессорные минералы горных пород. М.: Недра, 1979. 296 с.

Натальин Б. А. Мезозойская аккреционная и коллизионная тектоника юга Дальнего Востока СССР // Тихоокеанская геология. 1991. № 5. С. 3–23

Натальин Б. А., Фор М. Геодинамика восточной окраины Азии в мезозое // Тихоокеанская геология. 1991. № 6. С. 3–23.

Нечаев В. П., Мусашино М., Ли Д. У. Юрско-нижнемеловая геодинамическая эволюция восточной окраины Азии: реконструкция по изменению ассоциаций тяжелых минералов осадочных пород // Тихоокеанская геология. 1997. Т. 16. № 6. С. 21–35.

Парфенов Л. М., Натанов Л. М., Соколов С. Д., Цуканов Н. В. Террейны и аккреционная тектоника Северо-Востока Азии // Геотектоника. 1993. № 1. С. 68–78.

Симаненко В. П. Среднеюрские вулканы восточной части Партизанского каменноугольного бассейна (Приморье) // Тихоокеанская геология. 2001. Т. 20. № 6. С. 50–56.

Соболев В. Н. Генетические типы гранатов. М.: Наука, 1964. 219 с.

- Тихоокеанская окраина Азии. Геология. М.: Наука, 1989. 265 с.
- Филатова Н.И., Шилов В.Н., Гулько Н.И. и др.* Позднеюрский-раннемеловой вулканизм запада КНДР // Известия АН СССР. Сер. геол. 1990. № 1. С. 64–77.
- Филиппов А.Н., Бурый Г.И., Руденко В.С.* Стратиграфическая последовательность вулканогенно-осадочных образований Самаркинского террейна (Центральный Сихотэ-Алинь): летопись палеоокеанической седиментации // Тихоокеанская геология. 2001. Т. 20. № 4. С. 26–46.
- Филиппов А.Н., Кемкин И.В.* Култухинская “свита” – тектоно-стратиграфический комплекс юрско-берриаской аккреционной призмы Западного Сихотэ-Алиня // Тихоокеанская геология. 2004. Т. 23. № 4. С. 43–53.
- Филиппов А.Н., Амелыченко Г.Л., Найдено А.Н.* Юрская система. Северо-Западное Приморье // Триас и юра Сихотэ-Алиня. Книга 1. Терригенный комплекс / Под ред. Маркевича П.В., Захарова Ю.Д. Владивосток: Дальнаука, 2004. С. 302–314.
- Ханчук А.И.* Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России // Рудные месторождения континентальных окраин. Вып. 1. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 5–34.
- Ханчук А.И., Голозубов В.В., Горячев Н.А., Родионов С.М.* Геодинамические реконструкции и металлогения Востока России // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Книга 2. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 880–897.
- Ханчук А.И., Кемкин И.В.* Геодинамическая эволюция Япономорского региона в мезозое // Вестник ДВО РАН. 2003. № 6. С. 94–108.
- Хворова И.В., Ренгартен Н.В., Вознесенская Т.А.* Особенности минерального состава обломочных пород раннегеосинклинальных формаций // Проблемы литологии и геохимии осадочных пород и руд. М.: Наука, 1975. С. 209–224.
- Шутов В.Д.* Классификация песчаников // Литология и полез. ископаемые. 1967. № 5. С. 86–102.
- Arai S.* Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry // Mineralogical Magazine. 1992. V. 56. № 2. P. 173–184.
- Bhatia M.R.* Plate tectonic and geochemical composition of sandstones // Journal of Geology. 1983. V. 91. № 6. P. 611–627.
- Dickinson W.R.* Interpretating provenance relations from detrital modes of sandstones // Provenance of arenites. Dordrecht et al., 1985. P. 333–361.
- Dickinson W.R., Suczek C.A.* Plate tectonics and sandstone compositions // Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 1978. V. 63. № 12. P. 2164–2182.
- Dickinson W.R., Beard L.S., Brakenrige G.R. et al.* Provenance of North America Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting // Geol. Soc. Amer. Bull. 1983. V. 94. № 2. P. 222–235.
- Faure M., Natal'in B.A.* The geodynamic evolution of the eastern Eurasian margin in Mesozoic times // Tectonophysics. 1992. V. 208. № 4. P. 397–411.
- Filatova N.I.* Development of the Northern Korea volcanic belt // Environmental and Tectonic History of East and South Asia. Proceedings of 15th International Symposium of Kyungpook National University / Ed. Ki-Hong Cheng. Kyungpook National University, Taegu, Korea, 1995. P. 75–91.
- Garzanti E., Ando S.* Plate tectonics and heavy mineral suites of modern sands // Heavy minerals in use / Eds Mange M.A., Wright D.T. Amsterdam: Elsevier, 2007. P. 741–764.
- Ingersoll R.V.* Actualistic sandstone petrofacies: discriminating modern and ancient source rocks // Geology. 1990. V. 18. № 7. P. 733–736.
- Isozaki Y., Maruyama S., Furuoka F.* Accreted oceanic materials in Japan // Tectonophysics. 1990. V. 181. № 1/2. P. 179–205.
- Kiminami K., Kumon F., Nishimura T., Shiki T.* Chemical composition of sandstones derived from magmatic arcs // Composition and origin of clastic rocks from mobile belts (examples from the Japanese Islands) // The Memoirs of the Geological Society of Japan. 1992. № 38. P. 361–372.
- Kojima S., Kametaka M.* Jurassic accretionary complexes in East Asia // Origin and evolution of Jurassic accretionary complexes in Japan // The Memoirs of the Geological Society of Japan. 2000. № 55. P. 61–72.
- Kusunoki T.* The similarity in the Late Jurassic – Early Cretaceous sandstone compositions between Dalnegorsk region in Southern Sikhote-Alin, Russia and the Oshima Belt in Hokkaido, Japan // Earth Science. 1996. V. 50. № 6. P. 414–418.
- Kusunoki T., Musashino M.* Comparison of the Middle Jurassic to Earliest Cretaceous sandstones from the Japanese Islands and South Sikhote-Alin // Earth Science. 2001. V. 55. № 5. P. 293–306.
- Lenaz D., Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Princivalle F.* Melt inclusions in detrital spinel from the SE Alps (Italy-Slovenia): a new approach to provenance studies of sedimentary basins // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2000. V. 139. № 6. P. 748–758.
- Leterrier J., Maury R.C., Thonon P. et al.* Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleovolcanic series // Earth and Planet. Science Lett. 1982. V. 59. P. 139–154.
- Mange M.A., Norton A.C.* Geochemistry of heavy minerals // Heavy minerals in use / Eds Mange M.A., Wright D.T. Amsterdam: Elsevier, 2007. P. 345–392.
- Marsaglia K.M., Ingersoll R.V.* Compositional trends in arc-related, deep-marine sand and sandstone: A reassessment of magmatic-arc provenance // Geol. Soc. Amer. Bull. 1992. V. 104. № 10. P. 1637–1649.
- Matsuda T., Isozaki Y.* Well-documented travel history of Mesozoic pelagic chert in Japan: from remote ocean to subduction zone // Tectonics. 1991. V. 10. № 2. P. 475–499.
- Morton A.C.* Geochemical studies of detrital heavy minerals and their application to provenance research // Developments in Sedimentary Provenance Studies / Eds Morton A.C., Todd S.P., Haughton P.D.W. Geological Society Special Publication. 1991. № 57. P. 31–45.
- Morton A.C., Hallsworth C.* Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones // Sediment. Geology. 1994. V. 90. № 3/4. P. 241–256.
- Natal'in B.A.* History and modes of Mesozoic accretion in Southeastern Russia // Island Arc. 1993. V. 2. № 1. P. 15–34.
- Nechaev V.P., Isphording W.C.* Heavy-mineral assemblages of continental margins as indicators of plate tectonic envi-

ronments // *Journal of Sediment. Petrology*. 1993. V. 63. № 6. P. 1110–1117.

*Nechaev V.P., Philippov A.N., Panasenko E.S. et al.* Heavy-clastic minerals in Upper Paleozoic-Lower Mesozoic bedded cherts of the Sikhote-Alin Terranes // *Late Paleozoic and Early Mesozoic Circum-Pacific events: Biostratigraphy, tectonic and ore deposits of Primorye (Far East Russia)* / Eds Baud A., Popova I., Dickins J.M., Lucas S., Zakharov Y. *Memoirs de Geologie (Lausanne)*. 1997. № 30. P. 13–24.

*Nokleberg W.J., Parfenov L.M., Monger J.W.H. et al.* Phanerozoic tectonic evolution of the Circum-North Pacific // *U. S. geological survey. Professional paper*. 1626. 2001. 122 p.

*Ohta T.* Preliminary results of petrological and geochemical studies of the Cretaceous sandstones of the Khabarovsk Com-

plex, Komsomolsky Group and Sitoginsky Formation // *Upper Jurassic - Cretaceous deposits of East Asian continental margin along the Amur River. Field excursion guidebook*. Khabarovsk: DVO RAN, 2002. P. 61–69.

*Regional geology of Jilin Province // Geological Memories. Ser. 1. Num. 10.* Geological publishing house. Beijing, 1988. 700 p.

*Schwab F.L.* Framework mineralogy and chemical composition of continental margin type sandstones // *Geology*. 1975. V. 3. № 9. P. 487–490.

*Zamoras L.R., Matsuoka A.* Accretion and post accretion tectonics of the Calamian island, North Palawan block, Philippines // *Island Arc*. 2004. V. 13. 4. P. 30–37.