

**АУТИГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ ЦЕМЕНТА РАННЕМЕЛОВЫХ И ПАЛЕОЦЕНОВЫХ
ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ПОДВОДНОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ ЯМАТО
(ЯПОНСКОЕ МОРЕ)**

А.В.Можеровский, Е.П.Терехов

Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, г.Владивосток

Аутигенные минералы цемента являются хорошими индикаторами среды осадконакопления и процессов преобразования осадков от начала их захоронения до глубинных степеней метаморфизма. В окраинных морях они пока не исследованы, и их изучение может значительно дополнить знание истории седиментации и некоторые, более общие вопросы геологического развития Япономорского региона.

МАТЕРИАЛ

Исследованы раннемеловые песчаники, алевролиты и алевроаргиллиты Северного и Южного хребтов подводной возвышенности Ямато* и палеоценовые конгломераты, песчаники и алевроаргиллиты Южного Ямато (рис. 1), поднятые на глубинах моря 660-900, 700-1470 и 1150-1230 м [2]. Изучались также образцы песчаников, алевролитов и алевроаргиллитов предположительно раннемелового возраста (ст. 1441), которые за несколько лет хранения покрылись “пухом” минералов высаливания**. Этот район особенно интересен благодаря находке корренситоподобных минералов [9], которые встречаются как в соленосных, так и в эпигенетически измененных кластогенных толщах [6].

МЕТОДЫ

Для изучения минерального состава использован главным образом рентгеноструктурный анализ. Вспомогательными были электронная просвечивающая микроскопия, электронография, термография, химический и спектральный анализы, мессбауэровская спектроскопия. Фазовый состав аутигенных минералов в породах определялся в валовых пробах и во фракции <1 мкм. Пробы анализировались в воздушно-сухом состоянии, при насыщении этиленгликолем и прокаливании при 550°C в течение 3-х часов. Для определения состава солей, сорбированных из морской воды, породы, дробленные до размерности 0,25 мм, заливались горячей дистиллированной водой, отстаивались в течение двух суток, затем вода сливалась и выпаривалась, а сухой остаток анализировался.

* Далее по тексту Южное и Северное Ямато

**Некоторые образцы были буквально разрушены вследствие роста кристаллов изнутри

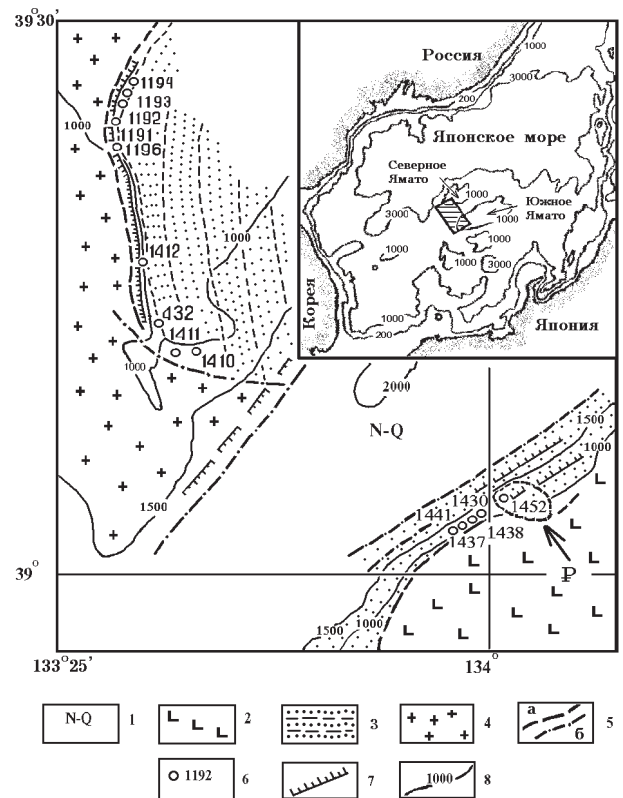


Рис. 1. Геологическая схема района работ и местоположение корренситосодержащих пород.

1 - морские неоген-четвертичные отложения; 2 - кайнозойские вулканогенные породы (базальты, андезиты и их туфы); 3 - раннемеловые отложения; 4 - позднелавозойские породы (граниты, диориты и гнейсы); 5 - геологические границы: а - предполагаемые, б - установленные; 6 - станции драгирования; 7 - тектонические нарушения; 8 - изобаты (м); (P) палеоценовые отложения

ХАРАКТЕРИСТИКА АУТИГЕННЫХ МИНЕРАЛОВ

В раннемеловых песчаниках и алевроаргиллитах *Северного Ямато* установлены: каолинит, гидрослюда, хлорит, дефектный хлорит, диоктаэдрические смешанослойные образования типа гидрослюда-сметит*, кальцит и кварц.

На *Южном Ямато* выявлены смешанослойные триоктаэдрические минералы типа хлорит-сапонит (корренситоподобные минералы - КПМ**), с различными "мотивами" переслаивания и различными соотношениями переслаивающихся пакетов, дефектный хлорит, гидрослюда-сметит, гидрослюда, каолинит, кальцит, кварц, анальцит, цеолиты группы гейландита (гмелинит, клиноптилолит), ломонтит, анкерит, барит и эпсомит.

В палеоценовых песчаниках и алевроаргиллитах *Южного Ямато* аутигенные минералы представлены корренситами и родственными ему КПМ, гидрослюдой-сметитом, гидрослюдой, хлоритом, кальцитом, кварцем, анальцитом, гмелинитом и баритом.

Каолинит (рис. 2а) является цементом раннемеловых крупно- и среднезернистых песчаников Северного Ямато. На Южном Ямато он встречается реже. Цемент поровый, участками базальный. В большинстве образцов каолинит выполняет поры целиком. В случае частичного заполнения пустоты, оставшиеся в каолините, выполнены крустификационным кварцем (рис. 3). В виде примеси каолинит установлен в единичных образцах палеоценовых алевроаргиллитов. Он характеризуется 0.716 и 0.357 nm рефлексам в воздушно-сухом и насыщенном этиленгликолем состояниях, а при прокаливании до 550°C в течение трех часов он полностью разрушается. На термограммах видны температурные эффекты (эндотермический в 600°C и экзотермический в районе 900°C), характерные для "зрелого", хорошо окристаллизованного каолинита.

Хлорит обнаружен в раннемеловых песчаниках Северного Ямато и палеоценовых Южного. Он характеризуется 1.44, 0.72, 0.352 nm рефлексам и его дифракционная картина остается неизменной (рис. 4а).

Дефектный хлорит встречается только в крупнозернистых песчаниках Северного Ямато и одном образце песчаника Южного Ямато совместно с ломонтитом. Он имеет картину, аналогичную хлориту (рис. 4б), но при насыщении рефлекс в 1.44 nm смещается до 1.47 nm, а при прокаливании "сжимается" до 1.0 nm с пологом "хвостом" в сторону малых углов.

Гидрослюда присутствует во всех типах пород Южного Ямато, но практически отсутствует на Северном Ямато. Она диагностируется по 1.0 и 0.5 nm

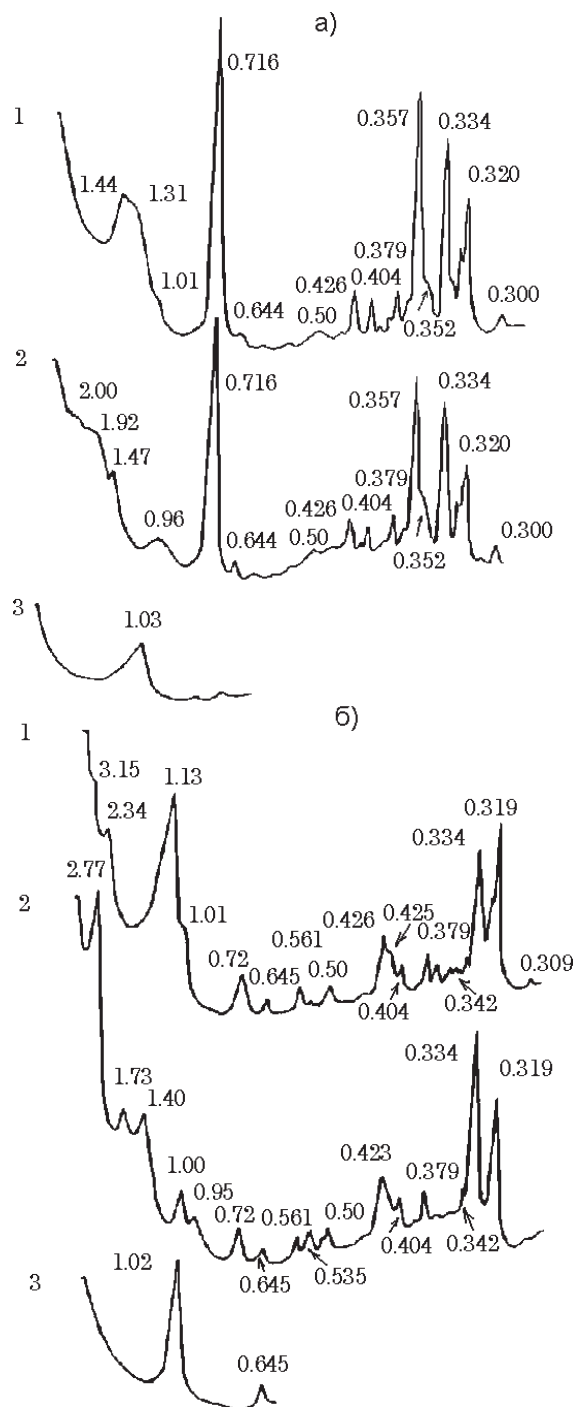


Рис. 2. Дифрактограммы слоистых силикатов в нижнемеловых осадочных породах Северного Ямато.

1 - воздушно-сухой препарат, 2 - насыщенный этиленгликолем, 3 - прокаленный при 550°C.: а) каолинит, иллит-сметит, дефектный хлорит, иллит, кварц и плагиоклаз; б) иллит-сметит, кварц и плагиоклаз. Отражения даны в nm.

рефлексам, существенно не меняющим своего положения при обработке. В просвечивающем электронном микроскопе она имеет таблитчатую (рис. 5) удлиненную форму, с просветами и сколами по краям, присутствующими для аутигенных гидрослюдов.

* Далее - гидрослюда-сметит

** Далее - КПМ

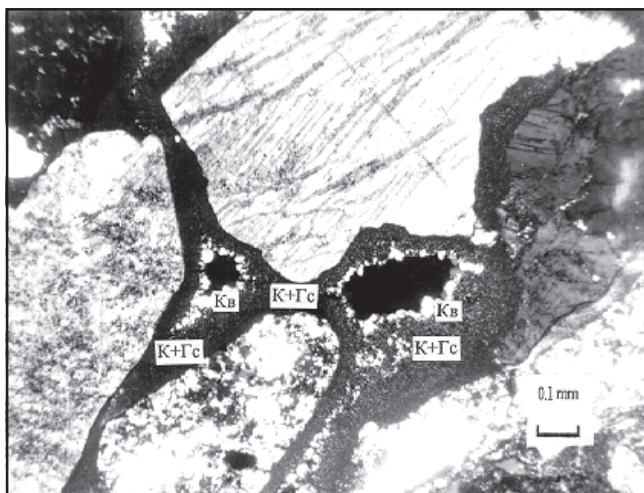


Рис. 3. Поры в хорошо сортированном раннемеловом песчанике Северного Ямато выполненные каолинитом в ассоциации с гидрослюдай (К+Гс) и кварцем (Кв). Обр. 1192-3 г, николи скрещены.

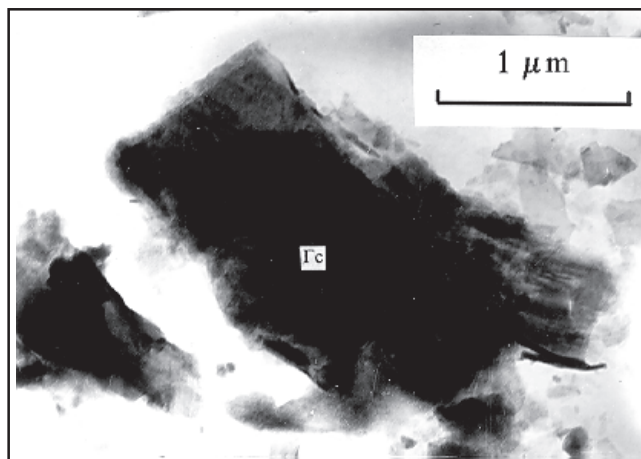


Рис. 5. Электронно-микроскопический снимок обр. 1192. Нижний мел Северного Ямато, изометрично-пластинчатая частица гидрослюда (Гс).

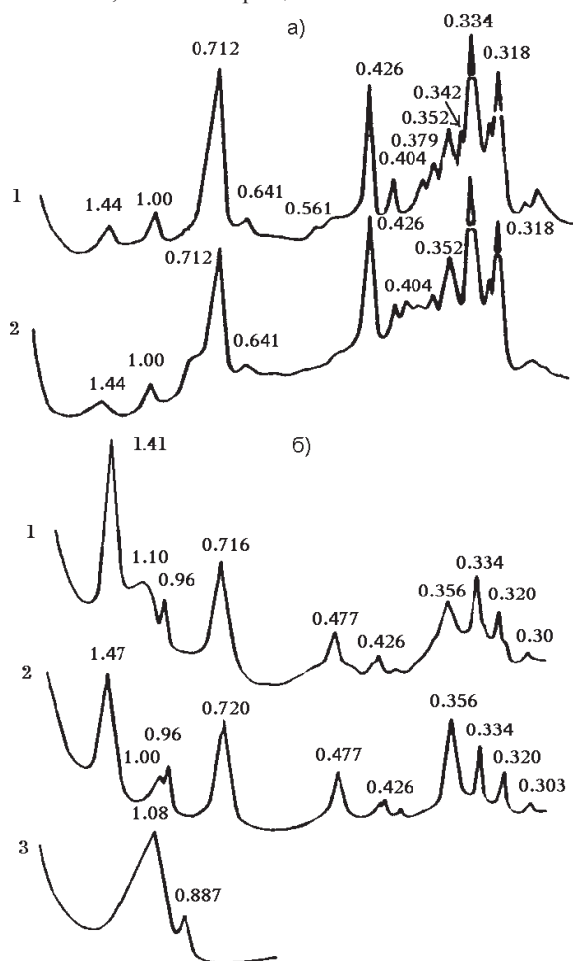


Рис. 4. Дифрактограммы слоистых силикатов в нижнемеловых осадочных породах Северного Ямато.

1 -3 - см. рис.2. а) хлорит, иллит, кварц и плагиоклаз; б) дефектный хлорит, иллит-сметтит, ломонтит, кварц и плагиоклаз. Отражения даны в nm.

Сметтит присутствует в виде незначительной примеси в песчаниках (ассоциация каолинит - гидрослюда-сметтит), алевролитах (хлорит - гидрослюда-сметтит) Северного Ямато и песчаниках (гидрослюда - гидрослюда-сметтит - анальцит) Южного Ямато.

Гидрослюда-сметтит распространена во всех типах пород как Северного, так и Южного Ямато, но распознается с трудом из-за поликомпонентности смесей. Поэтому условно выделены высокоупорядоченные и низкоупорядоченные (вероятно деградированные) структуры.

Высокоупорядоченные разности этой группы минералов в воздушно-сухом состоянии имеют 2.34 и 1.14 nm рефлексы в малоугловой области (см.рис. 2б), при насыщении этиленгликолем первый рефлекс передвигается в малоугловую область до 2.76 nm, а рефлекс 1.14 nm распадается на два: один в 1.73, другой в 1.38 nm. При прокаливании в малоугловой области остается только рефлекс в 1.02 nm. Согласно моделям, предложенным [3], возможны два варианта.

В первом случае образец может представлять собой смешанослойное образование с чередующимися 1.0 и 1.778 nm слоями с максимально возможной степенью порядка при $S^*=2$ и $W_{и}>0.67$, в котором чередование слоев можно охарактеризовать как полностью неупорядоченное распределение "троек" слоев ААВ со слоями А.

Второй вариант подразумевает механическую смесь ректорита и смешанослойного образования иллит-сметтит, где пакеты представлены $W_{и}:W_{с} = 50:50$ при $P_{сс}=0$ и $S=1$, и $W_{и}:W_{с}=50:50$ при $P_{сс}=0.5$ и $S=1$ соответ-

* Здесь и далее по тексту S - степень упорядоченности (изменяется от 0 до 2); W - процентное содержание минерала в смеси; P - вероятность встречи одинаковых слоев; и - иллит; с - сметтит; х - хлорит.

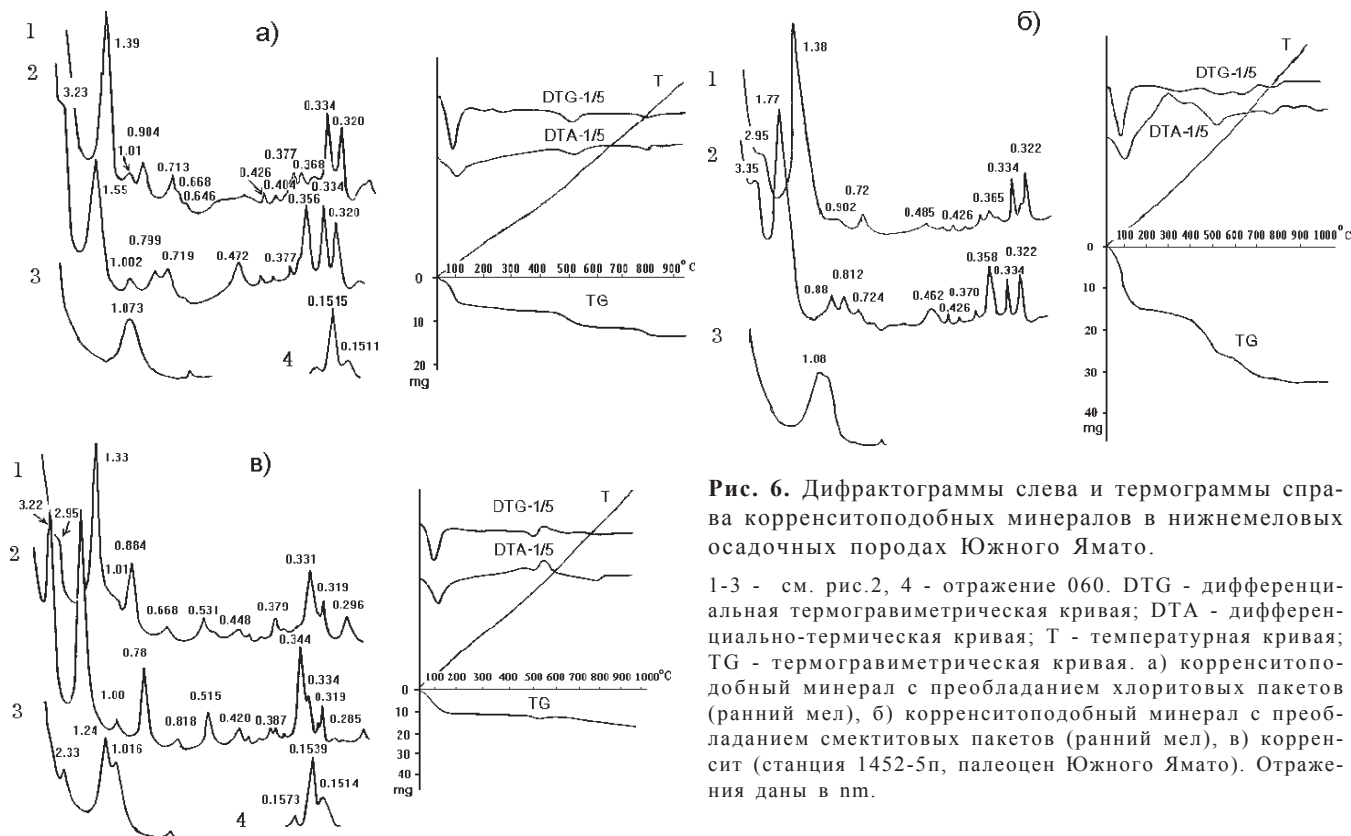


Рис. 6. Дифрактограммы слева и термограммы справа корренситоподобных минералов в нижнемеловых осадочных породах Южного Ямато.

1-3 - см. рис.2, 4 - отражение 060. DTG - дифференциальная термогравиметрическая кривая; DTA - дифференциально-термическая кривая; T - температурная кривая; TG - термогравиметрическая кривая. а) корренситоподобный минерал с преобладанием хлоритовых пакетов (ранний мел), б) корренситоподобный минерал с преобладанием смектитовых пакетов (ранний мел), в) корренсит (станция 1452-5п, палеоцен Южного Ямато). Отражения даны в нм.

ственно. Возможно, в этом случае мы имеем в одном образце и высокоупорядоченную структуру, и частично разупорядоченную, что может быть связано с деградацией части слоев при подводном выветривании.

Низкоупорядоченные структуры характеризуются 1.0-1.1 нм широким пологим рефлексом в воздушно-сухом состоянии, который при насыщении распадается на два 1.7-1.9 нм и 0.93-0.98 нм (часто разные по площади), а при прокаливании остается только один рефлекс 1.0 нм. Вероятно, мы имеем дело со смешанослойной структурой типа иллит-смектит, где $W_n:W_c$ колеблется от 50:50 до 30:70 при $P_{cc}=0.5$ и $S=0$. Присутствие таких структур также подтверждает предположение о возможной деградации при подводном выветривании.

В ряду высоко - низкоупорядоченных структур выделяются и *переходные разности*. Так на рис. 2а при насыщении образца отмечаются рефлексы в 2.6, 1.92, 1.47, 0.96 нм, а при прокаливании остается только рефлекс в 1.03 нм. Такая дифракционная картина, возможно, принадлежит смешанослойной структуре типа иллит-смектит при $W_n:W_c=50:50$ при $P_{cc}=0.3$ и $S=1$ и $W_n:W_c=50:50$ при $P_{cc}=0.5$ и $S=0$. Кроме того, в смеси присутствует дефектный хлорит 1.47 нм, гидрослюда 1.0, 0.5 нм, каолинит 7.16 и 0.357 нм, кварц 0.426, 0.334 нм и плагиоклаз 0.404, 0.318 нм.

Корренсит обнаружен в единственном образце (1452-5п) палеоценового мелкозернистого аркозового песчаника, где слагает пленочный цемент. Он харак-

теризуется рефлексом 2.95 нм в воздушно-сухом состоянии, 3.22 нм - в сольватированном этиленгликолем и 2.33 нм - в прокаленном, и целочисленной серией базальных отражений. Рефлекс 060 равен 0.1539 нм (рис. 6а). Можно предположить, что основной фазой является корренсит ($W_x:W_c=50:50$ при $P_{cc}=0$ и $S=1$), примесь - гидрослюда, кварц и плагиоклаз. На электронно-микроскопическом снимке (рис. 7) хорошо видны характерные для смектита, облаковидные монокристаллы, свидетельствующие об его аутиген-

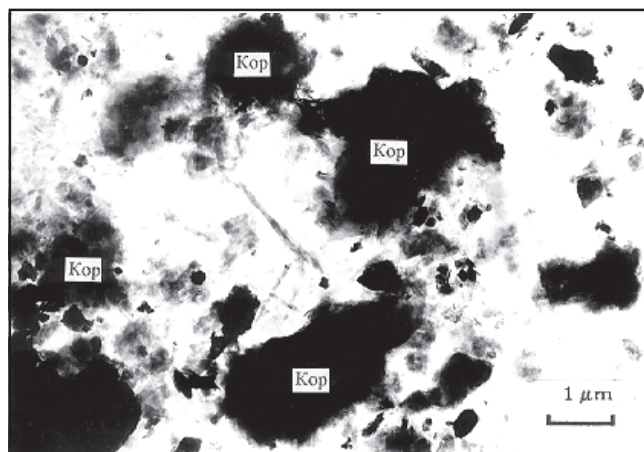


Рис. 7. Электронно-микроскопический снимок обр. 1452-5п. Палеоцен Южного Ямато. Хорошо отсортированный песчаник с пленочным цементом. Хлопьевидный корренсит (Кор).

ной природе. На термограмме (см. рис. 6а) присутствуют три эндотермических эффекта - при 100, 530 и 800°C и один экзотермический - при 560°C с небольшим приращением веса в этой области температур. В целом термограмма характерна для смеси хлорита и сапонита. Судя по экзотермическому эффекту, корренсит железомagneзиальный. По данным мессбауэровской спектроскопии закисного железа в нем до 29% от общей суммы.

Корренситоподобные минералы (КПМ) встречаются только в раннемеловых и палеоценовых породах Южного Ямато. В раннемеловых песчаниках они представлены зелеными, тонкоигольчатыми крустификационными каемками (рис. 8), выполняющими поверхность пор. Для палеоценовых конгломератов характерно полное выполнение единичных пор зелеными, тонкоигольчатыми агрегатами. В естественном состоянии КПМ имеют рефлекс 1.3 нм; при насыщении у них отмечается субпериод в 3.1 - 3.3 нм, а при прокаливании в малоугловой области появляется широкий рефлекс 1.0 - 1.2 нм. Среди них можно выделить различия с преобладанием хлоритовых пакетов (см. рис. 6б), где $W_x:W_c=60:40$ при $P_{xx}=0.2$ и $S=1$ и смектитовых пакетов (см.рис. 6в), где $W_x:W_c=20:80$ при $P_{cc}=0.8$ и $S=1$. Отмечаются также рефлексы гидрослюда, кварца, плагиоклаза и анальцима (0.56, 0.343 нм). Термограммы этой группы образцов имеют экзотермический эффект при 200-400°C. Этот факт позволяет предположить, что часть оксида железа не входит в состав решетки слоистых силикатов (см.рис. 6 б,в). Процентное содержание закисного железа несколько ниже, чем в корренсите из образца 1452-5п, и колеблется в пределах 5-15% от общей суммы.

Ломонтит, рефлексы 0.96, 0.69, 0.42 нм (рис. 9.1), выполняет поры в хорошо сортированных песчаниках Южного Ямато. В шлифе видны треугольные сечения пор внутри пленочного цемента (рис. 10), что свидетельствует о вторичности ломонтита. Он также выполняет трещины в обломках полевых шпатов.

Анальцим характерен для раннемеловых и палеоценовых пород Южного Ямато, а на Северном Ямато не обнаружен. Он присутствует как в порах, так и в общей массе (рефлексы 0.561, 0.343, 0.293 нм, рис. 9.3). В некоторых образцах он доминирует, образуя анальцимолиты (ст. 1441).

Цеолиты группы гейландита, близкие по дифракционной картине клиноптилолиту, стильбиту, стеллериту и гмелиниту, с отражениями 0.91, 0.41, 0.39 нм встречаются в палеоценовых алевроаргиллитах с высокой пористостью и единичном образце анальцимолита, где образуют округлые агрегаты (типа "горошин").

Кальцитовый цемент в песчаниках бывает ранним и поздним. Ранний кальцит слагает только поровый или базальный цемент. В цементе сохранились

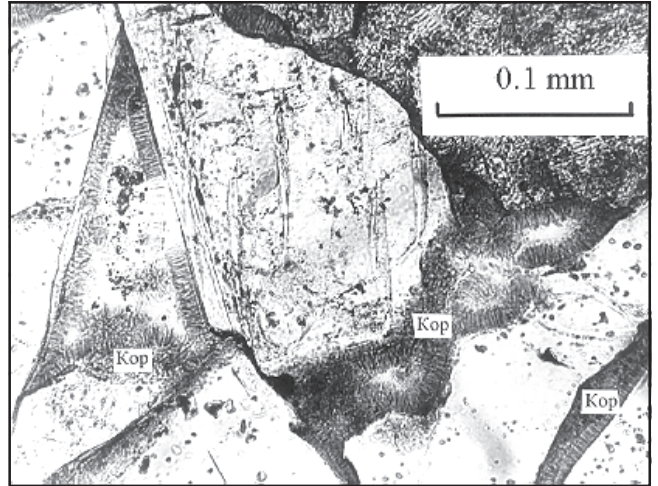


Рис. 8. Снимок обр. 1437-4 под поляризационным микроскопом. Раннемеловой мелкозернистый аркозовый песчаник Южного Ямато с игольчатым крустификационным корренситовым цементом (Kop). Никели параллельны.

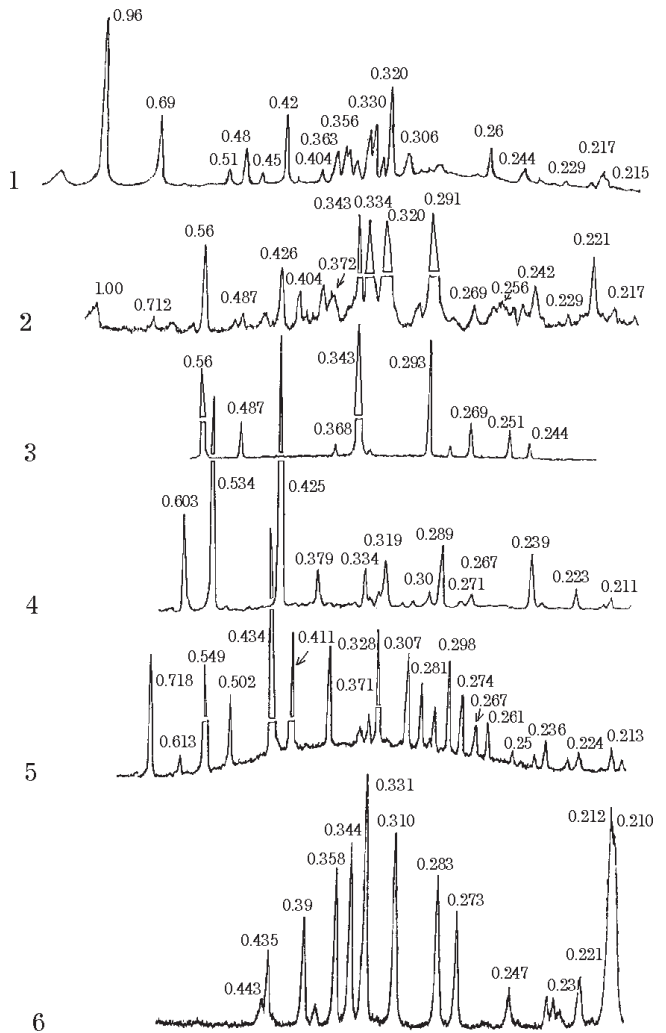


Рис. 9. Дифрактограммы аутигенных минералов Южного Ямато. 1 - ломонтит, 2 - анкерит, анальцим, кварц и плагиоклаз; 3 - анальцим; 4 - эпсомит; 5 - чермит; 6 - барит. Отражения даны в нм.

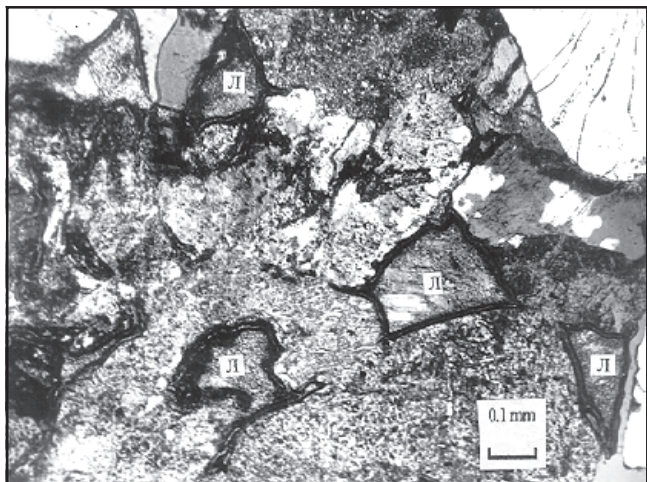


Рис. 10. Снимок обр. 1430 под поляризационным микроскопом, Южное Ямато. Поры выполнения в раннемеловом песчанике. Ломонтит (Л) заполняет поры в виде неправильных многоугольников, николи параллельны.

следы давления - трещиноватость или смятые и изогнутые полисинтетические двойники. Этот тип цемента встречается в раннемеловых песчаниках Южного Ямато, в палеоценовых песчаниках он доминирует, а в раннемеловых осадочных породах Северного Ямато отсутствует. Поздний кальцит встречается только в единичных образцах песчаников Северного Ямато, выполняет поры и замещает обломки, занимая менее 1% породы.

Анкерит установлен в раннемеловых алевроаргиллитах Южного Ямато (ст. 1441) в одном случае в ассоциации с кальцитом, лепидокрокитом, хлоритом и гидрослюдой, а в другом - с анальцимом и гидрослюдой. Он характеризуется 0.369, 0.287, 0.241, 0.2199 nm рефлексами (рис. 9.2), типичными для магнезиально-железистых разновидностей.

Барит (рис. 9.6) обнаружен в тех же образцах раннемеловых и палеоценовых алевроаргиллитов с высокой (вероятно вторичной) пористостью и зеркалами скольжения. Он образует тонкие корки по плоскостям скола.

Эпсомит найден в единственном образце (ст. 1441), слагающий тонкие 1-2 мм слойки в анальцимовой породе. Он характеризуется рефлексами в 0.603, 0.534, 0.423 nm (рис. 9.4). Под микроскопом отчетливо видны агрегаты кристаллов.

Кварц крустификационный, выполнения пор характерен только для песчаников Северного Ямато, содержащих заметную примесь обломков эффузивов среднего? состава. Кварц этого типа обрастает поверхность обломков различного состава вплоть до заполнения свободного пространства между зернами. Кроме этого он выполняет пустоты в каолините (см.рис. 3)

Кварц регенерационный, обрастания зерен кварца установлен в песчаниках Северного и Южно-

го Ямато. Оптически согласованное разрастание кварцевых зерен обычно приводит к полному выполнению поры аутигенным кварцем и редко к образованию идиоморфных граней в свободной поре.

Коричневые корочки на поверхности раннемеловых песчаников сложены *гетитом* - 0.423, 0.248 nm; *лепидокрокитом* - 0.637, 0.256 nm и *франклинитом* - 0.298, 0.254, 0.210 nm.

Фазовый анализ *минералов высаливания* (ст. 1441), как бы "пухом" покрывающих образцы, показал, что они представлены *чермигитом* - 0.711, 0.435, 0.409, 0.328 nm (рис. 9.5) и *гексагидритом* - 0.548, 0.422, 0.405, 0.294, 0.291 nm. Зеленый налет на поверхности образцов, тонкие белые корочки по трещинам сложены *ярозитом* - 0.507, 0.427, 0.367, 0.312 nm, *астраханитом* - 0.457, 0.330, 0.326 nm, *гипсом* 0.765, 0.307 nm и *баритом* - 0.331, 0.212, 0.210 nm.

Соли, экстрагированные из этих образцов, после выпаривания делятся на две группы. Первая представлена галитом - NaCl. Вторая группа - сульфатная, в нее входят сульфаты натрия, магния, аммония: тенардит - 0.467, 0.279, 0.265 nm с буркеитом - 0.458, 0.221, 0.189 nm, чермигит, гексагидрит, и возможно железа - ярозит.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ПАРАГЕНЕЗИСЫ

Минеральные парагенезисы, характер выполнения пор и взаимоотношения цементов различного типа и состава в песчаниках позволяют обосновать наиболее вероятный генезис некоторых аутигенных минералов.

На *Северном Ямато* в цементе раннемеловых песчаников доминирует ассоциация каолинит - гидрослюда-сметтит, а сметтит и дефектный хлорит образуют незначительную примесь. Иногда цемент песчаников хлоритовый с примесью сметтита и гидрослюды-сметтита (таблица), а в единичных образцах (под микроскопом) - кальцитовый поровый. В цементе одно-возрастных алевролитов преобладает гидрослюда-сметтит, а гидрослюда и сметтит встречаются в виде примеси. Цеолиты отсутствуют.

На *Южном Ямато* аутигенные минералы цемента раннемеловых песчаников образуют две ассоциации: 1) гидрослюда - гидрослюда-сметтит - анальцим и 2) каолинит - гидрослюда. В первой ассоциации присутствует незначительная примесь сметтита. Поровый цемент единичных образцов песчаников представлен КПМ, кальцитом и ломонтитом. В алевроаргиллитах также развиты две ассоциации: 1) КПМ - гидрослюда-сметтит - гидрослюда и 2) гидрослюда-сметтит - гидрослюда. В обеих ассоциациях иногда значительна примесь анальцима, а в первой встречается гипс.

В палеоценовых песчаниках установлены поровый (участками базальный) кальцитовый (1) и поровый

Таблица. Аутигенные минералы раннемеловых песчаников возвышенности Ямато.

№ образца	Дефектный хлорит	Каолинит	Гидрослюда	Смешанослойный гидрослюда-смектит	Анальцим	Смешанослойный Смектит-хлорит	Смектит	Примечания
Северное Ямато								
1192-1	Р	П		С			Р	г
1193-к	Р	П		С				г
1193-2к	Р	С		С				г
Южное Ямато								
1833-1а		П	С				Р	г
1833-ак		П	Р					г
1834-1г			П	С	Р			м
1834-2г			П	С	Р		Р	м
1834-1			С	П	С		Р	м
1835-1			Р			П		м
1437-4						П		с

Примечание. П - преобладает, С - присутствует в смеси, Р - редок, г - грубозернистый, с - среднезернистый, м - мелкозернистый песчаник.

КПМ (смектит-хлоритовый) (2) цемента. С КПМ могут ассоциироваться гидрослюды, незначительная примесь хлорита, а также анальцим и незначительная примесь гидрослюда-смектита. Для алевроаргиллитов характерны КПМ, гидрослюда-смектит, гидрослюда (примерно в равных соотношениях) при несколько меньшей доле анальцима. Иногда встречается примесь хлорита. Среди алевроаргиллитов встречаются две небольшие группы образцов с распределением аутигенных минералов, несколько отличающимся от такового в доминирующей ассоциации. Одна, с зеркалами скольжения, высокой вторичной пористостью и цеолитовой минерализацией (гмелинит) содержит корренсит, анальцим, гидрослуду, каолинит и барит. В другой группе преобладает гидрослюда-смектит, но встречается также КПМ, хлорит и гидрослюда.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как указывалось ранее [13], все исследуемые породы имели источник сноса одного и того же минерального состава, представленного гранитоидами (при незначительном участии эффузивов среднего? состава) и окончательно сформировались в одних и тех же условиях глубинного эпигенеза. Поэтому, независимо от условий осадконакопления, везде следует ожидать одних и тех же обломочных и (или) аутигенных минералов, отражающих процессы выветривания и (или) эпигенеза продуктов дезинтеграции гранитоидов и гранитогнейсов. Следовательно, различия ассоциаций аутигенных минералов трех указанных возрастных комплексов пород должны определяться усло-

виями осадконакопления, а наличие нескольких ассоциаций в одном комплексе - сменой этих условий.

Каолинит встречается только в крупно- и среднезернистых песчаниках. Это, очевидно, связано с особенностями осадконакопления, поскольку в случае эпигенетического или гидротермального генезиса каолинита размер зерен породы не имел бы никакого значения. Кроме того, он появился раньше (диагенетического?) аутигенного крустификационного кварца, и в песчаниках нет следов гидротермальной деятельности. Каолинит образовался, по-видимому, при разрушении полевых шпатов и слюд на суше, а затем был перенесен в бассейн осадконакопления. О терригенной природе каолинита свидетельствуют сглаженные грани его псевдогексагональных кристаллов, установленные под электронным микроскопом. Каолинит единичных образцов палеоценовых алевроаргиллитов имеет, вероятно, гидротермальный генезис. Он обнаружен в образцах с наложенной цеолитовой минерализацией вместе с КПМ, анальцимом и гидрослудой. Указанные минералы не встречаются совместно с каолинитом в песчаниках и в большинстве алевроаргиллитов Южного Ямато, что предполагает возможность проявления локальной гидротермальной деятельности в палеоценовое время.

Хлорит и дефектный хлорит, эпизодически встречаемые в породах Северного и Южного Ямато, вероятно, являются продуктом разрушения биотита во время осадконакопления. Биотит различной степени изменения вплоть до полного замещения хлоритом яв-

ляется постоянным аксессуаром раннемеловых и палеоценовых осадочных пород.

Смектит не сохраняется в процессе глубинного эпигенеза. Он должен полностью превратиться в смешанослойные минералы и гидрослюда. Действительно, он встречается только в раннемеловых песчаниках, в виде незначительной примеси.

Гидрослюда и гидрослюда-смектит - постоянные компоненты исследованных пород, но их количество меняется в зависимости от типа породы и условий осадконакопления. В раннемеловых и палеоценовых алевроаргиллитах Южного Ямато гидрослюда и гидрослюда-смектита больше, чем в одновозрастных песчаниках. Эта особенность отражает гравитационную дифференциацию обломочного материала при его осаждении. По данным электронографии, большая часть гидрослюда представлена политипной модификацией 1М и только часть - 2М₁. Удлиненно-вытянутая, таблитчатая форма кристаллов гидрослюда, их малая толщина, просветы в различных местах, сколы по бокам граней, хорошо видимые на снимках (см.рис. 5), указывают на аутигенное происхождение гидрослюда. Вероятно, гидрослюда - двух генераций: новообразованная - аутигенная - 1М и деградационная - 2М₁, сохранившаяся вплоть до позднего эпигенеза. Обломочная гидрослюда и продукты ее выветривания поступали в раннемеловой и палеоценовый бассейны осадконакопления, будучи в различной степени измененными. Чешуйки мусковита и биотита - постоянные компоненты осадочных пород. Присутствие гидрослюда, гидрослюда-смектита и смектита, вероятно, отражает ряд трансформаций аутигенных минералов - от выветривания обломочной гидрослюда, через смешанослойную фазу, до смектита в поверхностных условиях и последующая трансформация смектита, через серию смешанослойных минералов, до гидрослюда в условиях эпигенеза.

Корренсит установлен в палеоценовых аркозовых песчаниках. В раннемеловых аркозовых, граувакково-аркозовых и вулканотерригенных песчаниках Южного Ямато поровый цемент сложен КППМ. Генезис корренситоподобных минералов, следовательно, не определяется составом обломочного материала осадков. Состав обломков имеет значение в случае гидротермального и эпигенетического генезиса КППМ. Изучение химического состава корренсита и КППМ Южного Ямато позволяет исключить их гидротермальный генезис [9]. Кроме того, в гидротермально измененных породах корренсит совместно с гидрослюдой, как правило, не встречается [6], а для раннемеловых алевроаргиллитов, палеоценовых песчаников и алевроаргиллитов - это доминирующая ассоциация. При формировании КППМ в эпигенезе, например, в ряду: монтмориллонит - КППМ - хлорит необходимо увеличение (в процессе эпигенеза) концентраций Mg и Fe, освобождающихся в результате ра-

створения витрических и, возможно, фемических минеральных компонентов осадка [15]. Нами не установлена связь КППМ с содержанием обломков эффузивов (достигающих 30% объема породы) в вулканотерригенных песчаниках. Фемический компонент осадочных пород, представленный аксессуарными биотитом и роговой обманкой, не может являться реальным источником Fe и Mg. Наиболее вероятный генезис корренситоподобных минералов - образование их в процессе осадконакопления путем трансформации сепиолита или палыгорскита [8]. Этот процесс должен был пройти полностью, так как под микроскопом видно, что в цементе отсутствуют реликты других минералов. По данным электронной просвечивающей микроскопии (см.рис. 7), корренсит, как и смектит, имеет облако-видную, хлопьевидную форму кристаллов, свидетельствующих об его аутигенной природе. Авторы считают, что КППМ Южного Ямато являются седиментационно-диагенетическими, связанными с эвапоритовыми терригенно-хемогенными формациями [9].

Ломонтит, установленный в раннемеловых песчаниках Южного Ямато, ассоциируется с дефектным хлоритом, образующим пленочный цемент. Поры в пленочном цементе полностью выполнены ломонтином. Последний, вероятно, эпигенетический, так как он также выполняет трещины, образованные в процессе эпигенеза в обломках полевых шпатов. По данным Е.Е. Карнюшиной [5], ломонтит в осадочных породах появляется при глубине захоронения свыше 4.8 км и ассоциируется с гидрослюдой и кварцем.

Анальцит, вероятно, мог формироваться как в щелочных условиях, при изменениях пирокластике, так и эпигенетически. Хотя последнее мало вероятно, так как на Северном Ямато он не обнаружен. Кроме того, его нахождение в ассоциации с КППМ, кальцитом, анкеритом, эпсомитом и цеолитами группы гейландита (в анальцитомолитах) свидетельствует в пользу щелочных условий осадконакопления. Анальцитомолиты часто образуются в условиях содовых озер [8, 12].

Цеолиты группы гейландита, найденные в анальцитомолитах, могли образоваться в эпигенезе (если какая-то часть материала была консервирована органическим веществом, что не позволило ему измениться при осадконакоплении) или попали в осадок в результате разрушения ранее существовавших цеолитовых пород.

Ранний кальцит, вероятно, связан с морской седиментацией. Кластический материал при этом поступал одновременно с карбонатом, который отлагался из морской воды. На хемогенный генезис кальцита могут указывать мономинеральный состав цемента и геохимические особенности состава алевроаргиллитов, отражающие эволюцию рапы.

Поздний кальцит является вторичным по отношению к эпигенетическому кварцу. Наиболее вероятный генезис - растворение карбонатных зерен под дав-

лением в эпигенезе. На это же указывает обычная для песчаников и алевролитов ассоциация позднего кальцита с обломками карбонатов. Не исключается и гидротермальный генезис.

Барит, встреченный в образцах с высокой вторичной пористостью, возможно, образовался за время хранения, так же как и минералы высаливания, но мог иметь и гидротермальный генезис.

Находки эпсомита в осадочных породах, как правило, приурочены к эвапоритовым отложениям или к соленосным толщам [12]. На возможность существования подобных отложений указывают типичный набор минералов высаливания, обнаруженных на ст. 1441, и состав экстрагированных, выпаренных солей, образующих сульфатную и галитовую группы. *Гексагидрит*, вероятно, является продуктом распада эпсомита - $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, при высыхании образуется $MgSO_4 \cdot 6H_2O$. Чермигит, вероятно, образуется по каолиниту или минералам группы алуниита при наличии иона NH_4^+ . Чермигит, в свою очередь, также разрушается с образованием сульфатов магния, железа и калия. Подобный набор минералов характерен для сульфатной и начала галитовой фазы галогенеза [12, 16].

Крустификационный кварц характерен только для вулканомиктовых песчаников. Источником кремнезема, вероятно, являлись вулканокласты. При диагенетическом преобразовании вулканического стекла в поровые воды выделяются кремнезем и другие элементы [7].

Регенерационный кварц образовался в результате растворения кварцевых зерен под давлением в эпигенезе. Породы несут следы давления вышележащих толщ - раздавленные зерна, деформированные полисинтетические двойники плагиоклаза, кальцита, приобретенное волнистое погасание в зернах кварца. В песчаниках сохранились первичные границы зерен кварца, для которых характерны вогнуто-выпуклые и сутурные контакты. Регенерационные каемки нескольких (чаще трех) зерен кварца срastaются внутри пор с образованием прямых или зубчатых контактов тройного сочленения. При отсутствии отчетливых границ между обломочными зернами кварца и каемками обрастания, зерна кварца кажутся сросшимися, образуя структуру, близкую кварцитовидной. Данные бурения скважин показывают, что сутурные контакты появляются на глубине 1000-2000 м [10, 14, 17, 18].

Аутигенные минералы смектит, гидрослюда, гидрослюда-смектит и анальцим трудно определяемы под микроскопом. Поэтому основным критерием для установления их генезиса является характер распределения минералов в ассоциациях, выделенных с помощью рентгеноструктурного анализа.

Раннемеловым песчаникам Северного Ямато свойственна ассоциация каолинит - гидрослюда-смектит, а гидрослюды практически нет (см.табл.). В одно-

возрастных песчаниках Южного Ямато гидрослюда-смектит (совместно с гидрослюдой) доминируют, а каолинит встречается только с гидрослюдой. Следовательно, условия, при которых формировалась смектит-гидрослюда в раннемеловых осадках Южного Ямато, должны препятствовать образованию каолинита, что может быть связано с осолонением бассейна осадконакопления [8].

Анальцим и каолинит являются антагонистами. При доминирующей роли смектит-гидрослюды в ассоциации с гидрослюдой содержание анальцима возрастает до значительного в раннемеловых песчаниках Южного Ямато, но его практически нет в одновозрастных песчаниках этого района, содержащих каолинитовый цемент (см.табл.). Очевидно, щелочные условия препятствуют образованию каолинита. Каолинитовый, смектит-хлоритовый (корренситовый) и раннекальцитовый поровые цементы не встречаются вместе, что подтверждает данное предположение.

Данные химического анализа раннемеловых алевроаргиллитов Южного Ямато показывают, что анальцим, анкерит и КПМ присутствуют только в тех образцах, в которых содержание карбонатного углерода ($C_{карб.}$) менее 0.03%. Анальцим образуется в осадочных породах при воздействии озерных вод, содержащих соли натрия, на глинистое вещество или продукты выветривания пирокластике [8]. В образце терригенно-хемогенной породы эпсомит-анальцимового состава (поднятого совместно с раннемеловыми песчаниками на Южном Ямато) анальцим замещает обломки эффузивов и зональный плагиоклаз пирокластического облика. Основной причиной образования щелочных растворов является выпадение в осадок карбонатов и глинистых магнийсодержащих минералов из концентрированных растворов, в результате чего растворы становятся натриевыми и калиевыми [16]. Низкое содержание $C_{карб.}$, контролирующее выпадение Са из раствора, наличие гидрослюды-смектита и КПМ, контролирующих извлечение Mg и K из раствора, вероятно, отражают геохимическую эволюцию иловой воды, приводящую к образованию щелочных (натриевых) растворов в период осаднения анальцимсодержащих пород Южного Ямато. На это же указывает и высокое (до 20%) содержание натрия в ряде образцов алевроаргиллитов, постоянным компонентом которых является анальцим и КПМ.

Осадки находятся в ионообменном равновесии с растворами, т.е. отношение Mg/Са осадка зависит от Mg/Са раствора. В среде, где Mg/Са может изменяться (иловые, лагунные, себховые воды), абсолютная величина этого отношения может определять состав осадка [1, 11]. Влияние минерализованных растворов на раннемеловые осадки Южного Ямато устанавливается по высокому отношению (от 5 до 58) Mg/Са в большинстве образцов алевроаргиллитов. Кроме того, в группе образцов алевроаргиллитов,

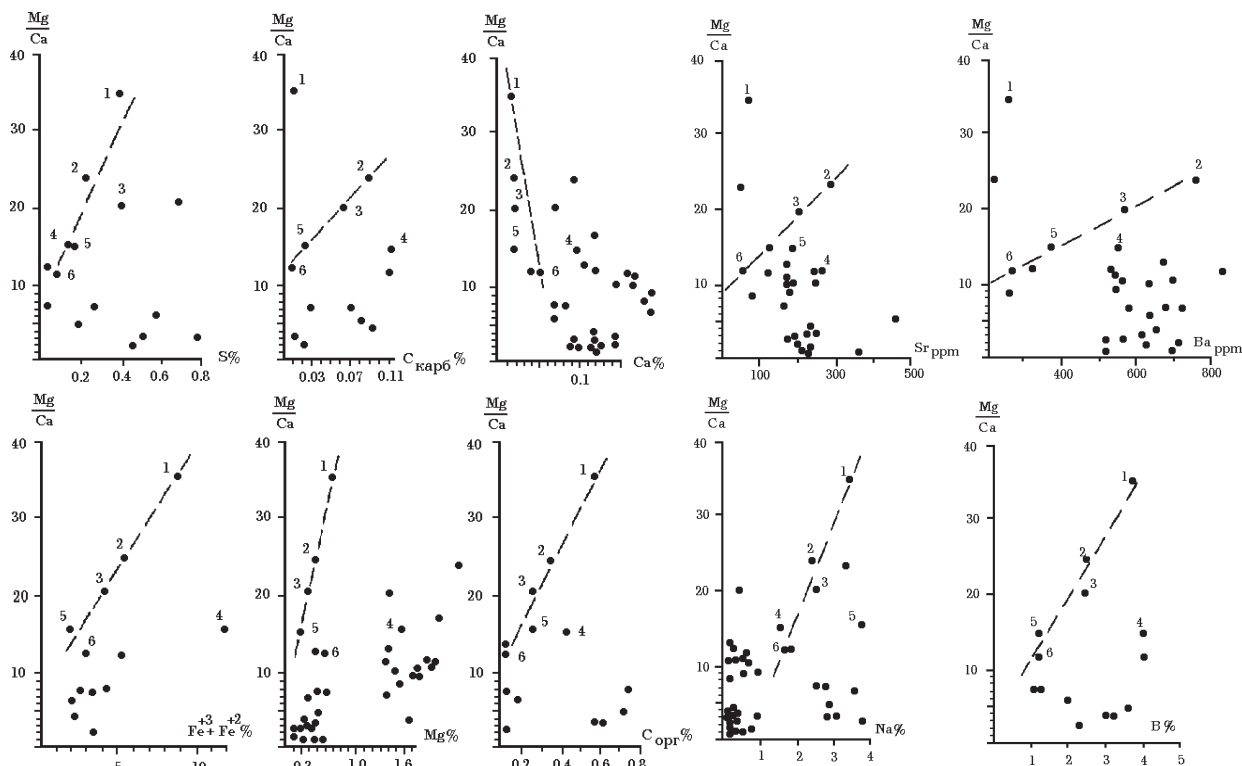


Рис. 11. Диаграмма зависимости содержаний серы, карбонатного углерода, кальция, железа, магния, органического углерода, стронция, бария, натрия и бора от отношения Mg/Ca в раннемеловых алевроаргиллитах Южного Ямат. Пунктир - тренд для группы образцов.

1 - 6 - образцы, для которых характерна с прямая корреляция содержаний вышеперечисленных элементов с Mg/Ca отношением (при Mg/Ca > 10). Метод определения элементов (чувствительность): Fe и S, - химический анализ (0,01%); C_{карб} и C_{орг} - физико-химический (3%); Ca - атомно-абсорбционный (0,00001%), Ba и Sr - рентгено-радиометрический (0,001%); Na и B - атомно-абсорбционный (0,00001%).

имеющих Mg/Ca больше 10, а содержания Ca, Mg, Na, K, близкие к содержаниям их в рассолах на стадии - начало садки гипса - начало садки галита [4], существует прямая корреляция содержаний главных компонентов морской воды (исключая Ca) и некоторых микроэлементов с величиной Mg/Ca отношения (образцы 1-6: рис. 11). Величина Mg/Ca отношения в алевроаргиллитах этой группы образцов определяет содержание в них Na, Mg, S, C_{карб}, Sr, B, Ba, Fe. Поведение этих элементов аналогично их поведению в процессе изменения концентрации морских рассолов.

Таким образом, распределение анальцима, эпсомита, анкерита, КПМ, гидрослюды-сметкита и каолинита, а также некоторые геохимические особенности осадочных пород Южного Ямат (высокое содержание бора - 0.3-0.6%, серы - в пересчете на SO₃, высокое Mg/Ca отношение и признаки геохимической эволюции рапы) позволяют предполагать, что первые пять минералов образовались в щелочных условиях осолоненного бассейна, а каолинит в кислой среде.

ВЫВОДЫ

1. Раннемеловые осадочные породы Северного Ямат, содержащие каолинит, могли образоваться в

условиях гумидного климата как в континентальной, так и в прибрежно-морской обстановке. В этих же условиях накопилась и часть среднезернистых и крупнозернистых раннемеловых осадков Южного Ямат, где из аутигенных минералов преобладает каолинит.

2. Седиментация большей части раннемеловых пород Южного Ямат происходила в аридном климате, в условиях интенсивного испарения воды. Наличие корренсита, анальцима, анкерита, эпсомита, высокие содержания бора, высокое Mg/Ca отношение и признаки геохимической эволюции рапы показывают, что на Южном Ямат в то время существовал морской бассейн или осолоненные озера (щелочные условия осадконакопления).

3. В раннемеловых породах Южного Ямат развиты такие же аутигенные минералы, как и в палеоценовых, что предполагает наличие сходных условий осадконакопления.

4. Присутствие ломонтита, аутигенного кварца и позднего кальцита, пористость и плотность раннемеловых и палеоценовых пород возвышенности Ямат показывают, что они погрузились на глубину около 2-3 километров, где и были литифи-

цированы, что свидетельствует о наличии постальбских вертикальных движений на Ямато.

5. Находки соленосных пород на возвышенности Ямато позволяют предполагать их существование в Корее и Японии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Браунлоу А.Х. Геохимия. М.: Недра, 1984. 278 с.
2. Геология дна Японского моря /Берсенева И.И., Леликов Е.П., Безверхний В.Л., Ващенко и др. Владивосток, 1987. 139 с.
3. Дриц В.А., Сахаров Б.А. Рентгеноструктурный анализ смешанослойных минералов. // М.: Наука, 1976. 256 с. (Тр. ГИН, Вып. 295.)
4. Жеребцова И.К., Волкова И.Н. Экспериментальное изучение поведения микроэлементов в процессе естественного солнечного испарения воды Черного моря и рапы Сасык-Сивашского озера // Геохимия. 1966. № 7. С. 832-1729.
5. Карнюшина Е.Е. Температурно-глубинная зональность катагенеза в кайнозойских осадочных бассейнах Тихоокеанского пояса // Тез. докл. III Тихоокеанской школы по морской геологии, геофизике и геохимии. Владивосток, 1987. Ч. 3. С. 128-129
6. Коссовская А.Г., Дриц В.А. Генетические типы корренситов и корренситоподобных минералов// Литология и полез. ископаемые. 1985. № 5. С. 16-38.
7. Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород. М.: Высш. шк., 1984. 416 с.
8. Милло Ж. Геология глин (выветривание, седиментология, геохимия)/Под ред. А.Г.Коссовской. М.: Недра, 1968. 359 с.
9. Мажеровский А.В., Терехов Е.П. Корренситоподобные минералы осадочных пород подводной возвышенности Ямато (Японское море) // Литология и полез. ископаемые. 1991. № 6. С.121-126.
10. Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер. Пески и песчаники. М.: Мир, 1976. 536 с.
11. Ридер Р. Карбонаты. М.: Мир, 1987. 496 с.
12. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 1. 212 с., 1962. Т. 2. 537 с., Т. 3. 549 с.
13. Терехов Е.П., Брагин Б.В. Нижнемеловые песчаники подводной возвышенности Ямато (Японское море) // Новые данные по геологии западной части Тихого океана. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 87-95.
14. Черников О.А. Литологические исследования в нефтепромышленной геологии. М.: Недра, 1981. 213 с.
15. Чудаев О.В. Распределение глинистых минералов во флишоидных отложениях Восточной Камчатки// Литология и полез. ископаемые. 1978. № 1. С. 105-115.
16. Darragi F. Authigenic trioctahedral smectites controlling pH, alkalinity, silica and magnesium concentration in alkaline lakes// Chem. Geol. 1987.V. 63, N 1-2. P. 59-72.
17. Fьchtbauer H. Influence of different types of diagenesis on sandstone porosity// II Proc. 76th World Petrol. Congr., Mexico. 1967. V. 2. P.353-369.
18. Taylor J. M. Pore-space reduction in sandstones// II Bulletin of the Amer. Assoc. of Petroleum Geologist. 1950. V. 34, № 4. P.701-716.

Поступила в редакцию 7 мая 1996 г.

Рекомендована к печати Кирилловой Г.Л.

A.V.Mozherovsky, Ye.P.Terekhov

Authigenic minerals from cement of Early Cretaceous and Paleocene sedimentary rocks of the Yamato rise (Sea of Japan)

Authigenic minerals from cement are good indicators of sedimentation environment and processes of sediment transformation from the beginning of their burial to the deepest levels of metamorphism. Yet they have not been studied in marginal seas, and their investigation can considerably amplify knowledge of the history of sedimentation and extend some general problems of development of the Sea of Japan region.