

Дискуссии

УДК: 549.905.1:551.76/77+552.14(265)

DOI: 10.31431/1816-5524-2023-3-59-104-118

АУТИГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ В ФАНЕРОЗОЙСКИХ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЗОНЫ ПЕРЕХОДА ОТ АЗИАТСКОГО КОНТИНЕНТА К ТИХОМУ ОКЕАНУ

© 2023 А.В. Можеровский

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, 690041;
e-mail: manatoly@poi.dvo.ru*

Поступила в редакцию 21.02.2023 г.; после доработки 12.07.2023 г.; принята в печать 26.09.2023 г.

Изучены аутигенные минералы в фанерозойских вулканогенно-осадочных отложениях северной части зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану. Обнаружены хлорит, слюда, корренсит, ректорит, дефектный хлорит, каолинит, смектит, кальцит, барит, гипс, эпсомит, цеолиты, кристобалит, кварц, гетит. Значимыми индикативными свойствами обладают корренсит, ректорит и ассоциации корренсит-ломонтит, корренсит-эпсомит-аутигенный кальцит и слюда-каолинит-кварц. Подобный набор минералов указывает на то, что мощность осадков изученных бассейнов могла достигать трех – пяти километров, а температура их образования — более 150 °С. Слюда-каолиновая ассоциация может свидетельствовать об эпиконтинентальных условиях седиментации, связанных с угленакоплением на близлежащей суше, корренсит-хлоритовая — об условиях, благоприятных для испарения морской воды, а присутствие в ней ломонтита — о периодической поставке кальция в бассейн осадконакопления. Выделены периоды минералообразования, возможно, связанные с глобальными климатическими событиями — 113–120, 110–113, 105–110, 93–95, 72–83, 61–72, 56–61, 33–56 млн лет, которые могут служить реперами для воссоздания условий осадконакопления и основой для более достоверных стратиграфических построений.

Ключевые слова: фанерозойские отложения, аутигенные минералы, зона перехода, условия осадконакопления.

Статья публикуется в разделе «Дискуссии» по предложению рецензентов.

ВВЕДЕНИЕ

Преобразование вещества в зоне перехода от Азиатского континента к Тихому океану имеет не только чисто научный, но и практический интерес, поскольку в этой зоне сосредоточены огромные запасы минеральных ресурсов. Имеется большое количество работ, охватывающих возрастной диапазон от палеозоя до современности, однако минералогически породы и осадки этого периода охарактеризованы гораздо слабее,

особенно с точки зрения аутигенеза (Волохин, 1980, 2012; Копорулин, 1992, 2006; Курносов, 1975, 1982; Маркевич, 1985; Чудаев, 1977, 1978). Автором настоящей статьи накоплен обширный фактический материал, который позволяет частично восполнить этот пробел, обобщив полученные данные. Аутигенные минералы, являясь чувствительными индикаторами условий осадконакопления, указывают на изменения палеогеографической обстановки и характер диа- и эпигенетических преобразований осадочного материала.

Наиболее выраженными индикативными особенностями обладают слоистые силикаты (смектит, корренсит, ректорит) и цеолиты, которые могут служить реперами для воссоздания физико-химических и климатических условий осадконакопления, а также являться основой для более достоверных стратиграфических построений.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для исследования послужили образцы вулканогенно-осадочных пород, отобранные автором в полевых изысканиях в

Приморском крае, в прибрежных экспедициях на о-вах Сахалин (п-ов Терпения) и Шикотан в 2000–2009 гг., поднятые при подводном драгировании в Японском море и на подводном хребте Витязя. В качестве дополнительных были привлечены данные по п-ову Камчатка (западная часть — Паланский разрез и восточная часть — Ильпинский п-ов) (рис. 1).

Основной объем образцов (более 1000 проб) был отобран на суше (Южное Приморье) из вулканогенно-осадочных и осадочных пород широкого возрастного диапазона — от ранней перми до миоцена. Опробовались, преимущественно, конгломераты, песчаники и туфопесчаники, иногда аргиллиты, алевроаргиллиты

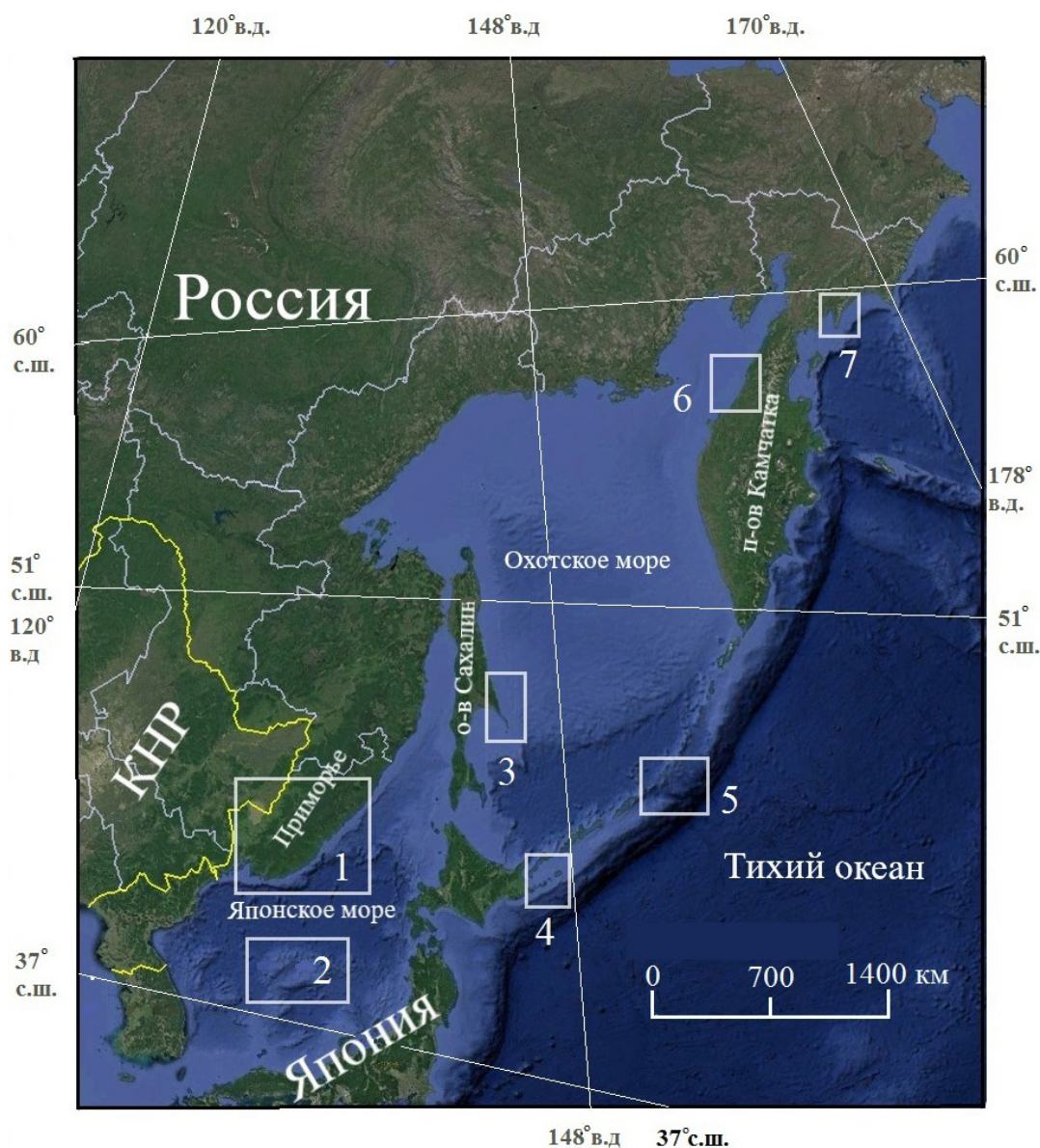


Рис. 1. Упрощенная карта-схема района исследований: 1 — Приморский край, 2 — возвышенность Ямато, 3 — п-ов Терпения, 4 — о-в Шикотан, 5 — подводный хребт Витязя, 6 — район Палана, 7 — п-ов Ильпинский.

Fig 1. Simplified map of the studied area: 1 — Primorye region, 2 — Yamato Upland, 3 — Terpeniya Peninsula, 4 — Shikotan Island, 5 — Vityaz Underwater Ridge, 6 — Palana area, 7 — Il'pinskiy Peninsula.

и туфоалевроаргиллиты. Пробы отбирались из естественных береговых обнажений Японского моря, рек и ручьев, а также в искусственных карьерах и вдоль автомобильных дорог согласно геологической карте (Кутуб-Заде и др., 2013). Были опробованы отложения поспеловской (нижняя-средняя пермь) свиты, островорусской серии (нижний-средний триас) района г. Владивостока, богатынской серии (верхний триас) района с. Занадворовки, чигановской (верхняя юра-нижний мел) свиты района г. Большой Камень, таухинской свиты и приморской серии центральной части Приморья, коркинской (нижний-верхний мел) серии района с. Лукьяновки, никанской серии (липовецкая свита, нижний мел) районов мыса Де-Фриза, бухты Сокол (г. Владивосток) и с. Занадворовки, никанской серии (липовецкая, галенковская свиты, нижний мел) районов мыса Де-Фриза и бухты Сокол (г. Владивосток), гладкинской (нижний мел), назимовской (палеоцен-нижний эоцен), хасанской (эоцен-олигоцен), краскинской (эоцен), клерковской (палеоцен-эоцен), славянской (миоцен) свит Хасанского района, угловской, надеждинской и устьявыдовской свит п-ова Речной, района пос. Тавричанки и устьявыдовской? свиты с. Романовка (Можеровский, 2019, 2021; Mozherovsky, 2021, 2022).

В Японском море наиболее изучены породы раннемелового и кайнозойского возраста, установленные на подводной возвышенности Ямато (хребты Северное и Южное Ямато), драгированные со склонов Приморского шельфа и подводных вулканических построек (Марков и др., 2009; Можеровский, 1986; Можеровский и др., 1983, 1989, 2001; Можеровский, Терехов, 1991, 1999; Mozherovsky, Terekhov, 1998, 2016) (около 500 проб). На п-ове Терпения (о. Сахалин) исследовались породы, представленные вулканогенно-кремнистыми отложениями котиковской серии (учирской, заслоновской, туровской, ольдонской и лиманской свит) (Терехов и др., 2010; Цой и др., 2005; Mozherovsky, 2022; Mozherovsky, Terekhov, 2016) (около 500 проб). На о. Шикотан опробованы меловые отложения крабозаводской, матакотанской, малокурильской свит, а также кайнозойские — зеленовской и других свит (Маркевич и др., 2012; Палечек и др., 2008; Терехов и др., 2011; Mozherovsky, 2022; Mozherovsky, Terekhov, 2016) (около 300 проб). На подводном хребте Витязя (район Курильской островной дуги) изучены отложения предположительно позднемелового (маастрихт-дат?) и кайнозойского возраста (около 200 проб) (Терехов и др., 2012; Mozherovsky, 2022; Mozherovsky, Terekhov, 2016). Также привлечены данные по Паланскому разрезу кампан-маастрихтского возраста (Западная Камчатка), которые детально описаны

Т.Н. Палечек с соавторами (Палечек и др., 2003), и мел?-палеогеновым отложениям Ильпинского п-ова (Восточная Камчатка), исследованным П.В. Маркевичем и О.В. Чудаевым (1985, 1977, 1978).

Основным методом при исследовании минерального состава является рентгенофазовый анализ. Использовался дифрактометр «Дрон-2.0» с $\text{Cu K}\alpha$ излучением (плоский графитовый монохроматор), напряжением на аноде в 40 kV и силе тока 30 mA. Валовые пробы цемента пород (фракция менее 0.06 мм), приготовленные методом гравитационного осаждения из водной суспензии, исследовались в воздушно-сухом состоянии, насыщенные этиленгликолем и прокаленные при 550 °C в течение трех часов. Диагностика смешанослойных образований осуществлялась в соответствии с моделями, предложенными в работе (Дриц, Сахаров, 1976).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основные аутигенные минералы, установленные в фанерозойских отложениях северной части зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану, представлены хлоритом, слюдой, корренситом и корренситоподобными, ректоритом и ректоритоподобными разностями, дефектным хлоритом, каолинитом, вермикулитом(?), смектитом, кальцитом, эпсомитом, баритом, гипсом, ломонтитом, кристобалитом и кварцем. В ассоциациях с ними диагностированы анальцит, стильбит, анкерит и гетит, которые могут иметь терригенный генезис. Наиболее детально исследованы аутигенные минералы из отложений южной и центральной частей Приморья, возвышенности Ямато, п-ова Терпения (о. Сахалин), о. Шикотан и подводного хребта Витязя (рис. 2) (Можеровский, 2019, 2021; Можеровский, Терехов, 1991, 1999; Mozherovsky, 2021, 2022; Mozherovsky, Terekhov, 1998, 2016).

Наиболее часто встречающимися минеральными ассоциациями в цементе фанерозойских отложений Южного Приморья являются хлорит-слюдистая (слюда-хлоритовая) (преимущественно пермь, триас, юра, мел), хлорит-корренсит(корренситоподобные)-ломонтитовая (нижний мел-палеоген), слюда-ректоромитовая(ректоромитоподобные) (мел-палеоген), слюда-каолинит-кварцевая (триас, мел). Для мезозойских пород подводной возвышенности Ямато (Японское море) характерны упомянутые ассоциации, но минеральный состав представлен значительно богаче. Здесь, кроме перечисленных встречены — эпсомит, гипс, барит, анкерит и анальцит (Можеровский, Терехов, 1991, 1999; Терехов и др., 2013; Terekhov et al., 2016). В кайнозойских (палеоген-неогеновых)

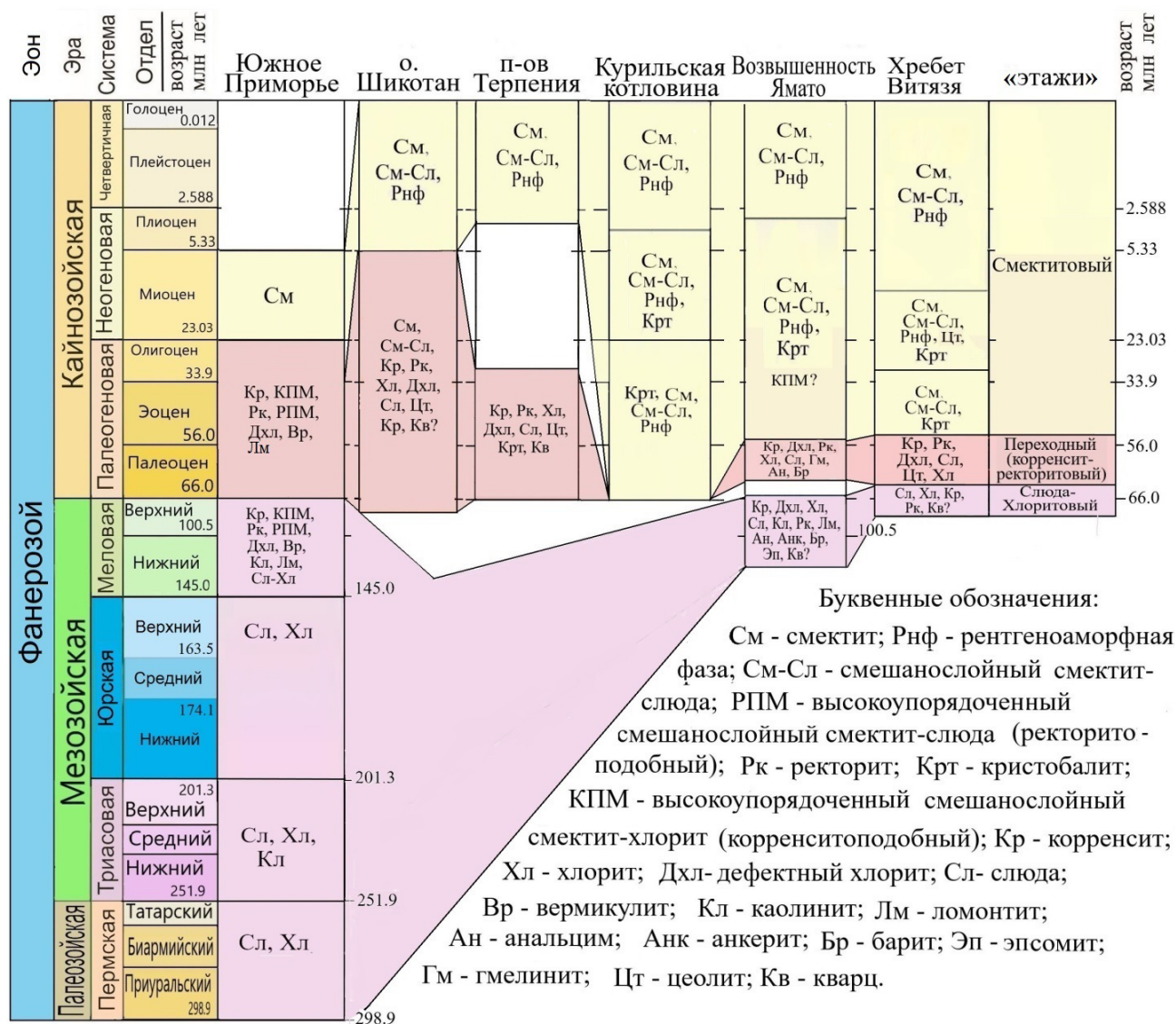


Рис. 2. Ассоциации аутигенных минералов в фанерозойских вулканогенно-осадочных отложениях северной части зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану.

Fig. 2. Associations of authigenic mineral in Phanerozoic volcanogenic-sedimentary deposits of the northern part of transition zone from the Asian continent to the Pacific Ocean.

отложениях состав минеральных ассоциаций несколько беднее. Отмечены корренсит, корренситоподобные и ректоритоподобные образования (Ващенко и др., 2009; Можеровский, 2019). Цеолиты в обобщенном минералогическом разрезе распределены довольно мозаично. Ломонтит и анальцит встречены в раннем мелу и палеогене-неогене, а стильбит, шабазит, десмин тяготеют к верхнемеловым и палеогеновым отложениям. Присутствие корренсита в изученных фанерозойских отложениях отмечено в интервалах времени — 113–120, 110–113, 105–110, 93–95, 72–83, 61–72, 56–61, 33–56 млн лет.

Наиболее представительные результаты минералогического анализа были получены по Приморскому краю. Для пермских и юрских пород региона характерны слюда и хлорит,

для триасовых — слюда, хлорит и каолинит, меловых — слюда, хлорит, корренсит, смешанослойные типа слюда-смектит, каолинит, дефектный хлорит, анальцит, ломонтит, стильбит, шабазит, кварц — индекс-минералы анальцитовой фации эпигенеза и, возможно, ломонтитовой. Вероятная глубина постседиментационного погружения меловых пород, исходя из минералогических данных, оценивается от 2 до 5 км (Карньюшина, 1987; Aoyagi, Kazama, 1980; Coombs et al., 1959).

Хлорит-слюдистая (слюда-хлоритовая) ассоциация, отражающая начальный этап метаморфизма, преимущественно развита во всех образованиях от перми до нижнего мела, и не может иметь индикативного значения. Каолинит-слюдистая ассоциация встречена

в триасе и нижнем мелу и приурочена ко времени угленакопления. Для нижнемеловых пород время ее образования может быть установлено как апт — начало раннего альба — 113–120 млн лет (формирование углей, «липовецкое» время), отмеченное для липовецкой свиты и сучанской серии. Корренсит-хлоритовая ассоциация приурочена к началу раннего альба — 110–113 млн лет (встречена в липовецкой и галенковской свитах, в сучанской и коркинской сериях), а корренсит-хлорит-ломонтитовая — ко второй половине альба — 105–110 млн лет («галенковское» время, которое отмечено в галенковской свите, в сучанской и коркинской сериях). Ректоритовая ассоциация преимущественно развита в позднем сеномане — 93–95 млн лет («коркинское» время, красноцветные отложения коркинской серии и романовской свиты) (Можеровский, 2021; Mozherovsky, 2021, 2022).

Таким образом, в «липовецкое» время мы можем выделить два события для каолинит-слюдистой ассоциации — 113–120 млн лет (эпоха угленакопления) и для корренсит-хлоритовой ассоциации — 110–113 млн лет, время сопоставимое с раннеальбским событием (Paquier event, OAE 1b, 111 млн лет). Для «галенковского» времени (присутствие ломонтита) временной интервал может быть определен как 105–110 млн лет. Ближайшие глобальные климатические события с отмеченной увеличенной поставкой кальция в бассейны осадконакопления отмечаются на границах 103, 105 млн лет, и Urbino — 107.5 млн лет (OAE1c? и OAE1d?) (Jenkyns, 1980, 2010). Такое повторение может быть объяснено несколькими периодами поставки кальция в осадочные бассейны и пока еще недостаточно изучено для данных отложений. Интервал формирования красноцветных отложений коркинской серии (верхняя часть романовской свиты) 93–95 млн лет (эпоха латеритного выветривания на близлежащей суше) соотносится с периодами сеноман-туронских событий (OAEs — Bonarelli event, C/T OAE, OAE2, ~93 млн лет).

Можно выделить пять режимов седиментации, отражающихся в минеральном составе цемента пород.

1. Прибрежно-морские условия отмечены во всех образованиях (хлорит-слюдистая ассоциация).

2. Эпиконтинентальные — отмечены в триасовых угольных отложениях (островорусская и богатынская серии), в липовецкой и кемской? свитах (присутствие каолинита) (нижний мел) и в сучанской серии (каолинит-слюдистая ассоциация в условиях угленакопления).

3. Прибрежно-морские условия с возможностью испарения морской воды характерны для липовецкой и галенковской свит, сучанской,

коркинской и приморской серий (корренсит-хлоритовая ассоциация).

4. Прибрежно-морские условия с возможностью испарения морской воды и усиленной поставкой кальция в бассейны осадконакопления отмечены для галенковской свиты («галенковское» время), сучанской и коркинской (френцевская свита) серий (корренсит-хлорит-ломонтитовая ассоциация).

5. Эпиконтинентальные отложения в условиях химического выветривания во влажном субтропическом климате отмечены в верхней части коркинской серии (красноцветные отложения, ректоритовая ассоциация, романовская свита).

Последние данные (Golovneva et al., 2021) по югу Приморья дают два абсолютных возраста по раннемеловому периоду угленакопления — 118 ± 1.4 и 109 ± 1.0 млн лет для липовецкой (никанская серия) и френцевской (сучанская серия) свит, соответственно. Они близки к выделенным автором настоящей работы периодам и условиям осадконакопления. Можно уточнить время существования каолинит-слюдистой ассоциации (период угленакопления или первое «липовецкое» событие) — старше (древнее) 118 ± 1.4 млн лет, и встреченной в других свитах Приморья (кемская?, нижний мел). Присутствие хлорит-корренситовой и хлорит-корренсит-ломонтитовой ассоциаций, которые могут появляться в два этапа, можно соотнести с несколькими периодами: 1) хлорит-корренситовая ассоциация — моложе 118 млн лет — второе «липовецкое» событие (113–115 млн лет) и 2) хлорит-корренсит-ломонтитовая — в районе 109 ± 1.0 млн лет — «галенковское» время (событие) (вероятный аналог френцевская свита сучанской серии, нижний мел).

Поскольку данные по Приморскому краю более детальные, можно, по нашему мнению, распространить полученные результаты на менее изученные районы. Стоит отметить, что некоторые породы нижнемелового возраста возвышенности Ямато (Японское море) также могут иметь аналогичные стадии образования, поскольку подобные минеральные ассоциации были найдены и там (Можеровский, Терехов, 1991, 1999; Mozherovsky, Terekhov, 1998, 2016). Так, некоторые образцы пород хребта Северное Ямато, вероятно, имеют возраст около 118 ± 1.4 млн лет (каолинит-слюдистая ассоциация) и возможно немного моложе (113–115 млн лет, наличие корренсита, корренситоподобных? разностей и ломонтита). Присутствие эпсомита, барита, анкерита, анальцима, наличие признаков эволюции рапы в алевроаргиллитах свидетельствуют о том, что условия для испарения морской воды в раннемеловое время в районе возвышенности

Ямато были проявлены ярче, чем в приморских бассейнах осадконакопления. Возможно, в позднемеловое время район возвышенности Ямато мог служить зоной поставки осадочного материала в районы Южного Приморья для отложений, аналогичным верхним частям коркинской серии (красноцветы романовской свиты сеноманского возраста?). Некоторые образцы, опробованные на возвышенности Ямато, представлены сливным (массивным) гетитом, который мог формироваться при латеритном выветривании. Правда, аналогичных образцов на юге Приморья пока найдено не было.

Пробы из верхнемеловых пород Приморья (приморская серия) охарактеризованы гораздо слабее. Отмечаются преобладание слюда-хлоритовой ассоциации, увеличение доли смешанослойных типа хлорит-сметит (корренситоподобных) и слюда-сметит (ректоритоподобных), слюды, дефектного хлорита, снижение содержания корренсита и отсутствие каолинита. Все остальные исследованные районы с верхнемеловыми отложениями (п-ов Терпения, о. Шикотан, подводный хребет Витязя, Западная и Восточная Камчатка), за редким исключением, минералогически похожи на вышеописанные отложения Приморья. На п-ове Терпения (учирская свита, маастрихт-дат, котиковская серия) и на о. Шикотан (крабовозовская, матакотанская, малокурильская свиты) в цементе пород появляются анальцит и стильбит. Корренситы в меловых породах отмечены во временном интервале — 113–120, 110–113, 105–110, 93–95, 72–83 млн лет.

Кайнозойские отложения Приморья, Приморского подводного склона, возвышенности Ямато, о-вов Сахалина и Шикотана, хребта Витязя и п-ова Камчатки минералогически охарактеризованы частично в работах (Вашенкова и др., 2009, 2011; Маркевич, 1985; Можеровский, 2016, 2019, 2021; Чудаев, 1977, 1978; Mozherovsky, Terekhov, 1998, 2016). Основной закономерностью являются начальная корренситизация и ректоритизация в миоцен-олигоценовых и наличие корренсита в палеоцен-олигоценовых породах Приморья, палеоцен-о-вов Сахалина, Шикотана, подводного хребта Витязя, при отсутствии корренсит-хлоритовой ассоциации и присутствии ломонтита в олигоцен-миоценовых породах Южного Приморья, при снижении его доли в других областях. Отмечается наличие корренсита с ломонтиком в палеогеновых породах Восточной Камчатки (Чудаев, 1977, 1978). Содержание цеолитов типа стильбита и шабазита в палеоцен-олигоценовых отложениях несколько повышается. В кайнозойских отложениях всего Дальневосточного региона корренситы встречаются во временных интервалах — 61–72, 56–61, 33–56 млн лет, причем в интервале 33–56 млн лет

отмечается присутствие ломонтита (Можеровский, 2016, 2019, 2021).

Условия осадконакопления в кайнозойское время, вероятно, были одинаковыми — мелководными, с достаточно теплым климатом, способствовавшим накоплению минералов, которые впоследствии преобразовались в корренсит. По мнению М.А. Левитана с соавторами (2015) в мелу, а также палеоцене-эоцене было до восьми температурных максимумов, во время которых в условиях испарения морской воды могли формироваться соленосные отложения.

На основании исследования аутигенного и вторичного минералообразования в фанерозойских вулканогенно-осадочных отложениях можно сделать вывод о том, что новые (более полные) данные по Приморскому краю, Японскому и Охотскому морям, прилегающим к ним территориям, Малой Курильской дуге и подводному хребту Витязя позволяют на минералогическом уровне установить между ними непосредственную связь:

1. Самые сильные изменения в изученных фанерозойских отложениях не заходили далее ломонтитовой фации;

2. При эпигенезе осадочных толщ наблюдается два параллельных процесса отмеченных (Коссовская, Дриц, 1971): прогрессивная трансформация смектита в слюду в «окислительных» (среда насыщена кислородом) условиях при наличии калия и хлоритизация при условии избытка кальция и магния в «восстановительных» (дефицит кислорода) условиях. Таким образом, трансформация смектита в слюду отражает ход процессов эпигенеза, а в корренсит — специфические условия осадконакопления для данного региона. Корренситоподобные минералы, возможно, имеют двойственный генезис и могли образоваться как в процессе эпигенеза при трансформации смектита, так и в результате преобразования магнезиальных силикатов типа сепиолита или палыгорскита (Милло, 1968; Hauff, 1981). Необходимо отметить, что в направлении с юга на север магнезиальность корренситов увеличивается (Можеровский, 2021; Mozherovsky, 2022), что может свидетельствовать о меридиональной направленности процесса осолонения.

Анализ изложенных данных об аутигенных минералах в совокупности с имеющимися общегеологическими сведениями позволяет выяснить характер постседиментационных преобразований пород, уточнить условия и геодинамические обстановки формирования отложений и, в результате, дополнить имеющиеся представления об истории геологического развития всего Дальневосточного региона. Правда, необходимо добавить, что применение минералогического

анализа для указанных целей ограничивается особенностями эпигенетических процессов, проходящих в осадочных породах, и поэтому накладывает ряд ограничений. Процессы эпигенеза начинают минералогически проявляться в олигоцен-нижнемиоценовых отложениях (Вашенкова, 1987; Вашенкова и др., 2009, 2011; Можеровский, 2016, 2019, 2021). Сметит, основной аутигенный минерал, с удревнением осадка структурно упорядочивается (Коссовская, Дриц, 1971), отстраивается, что проявляется в увеличении интенсивности и уменьшении ширины рефлекса 001, а аморфный кремнезем начинает преобразовываться в низкотемпературный опал-С/Т (Свининников, 1989). Только начиная с эоцена и до раннего мела, высокоупорядоченные смешанослойные образования начинают доминировать, а с удревнением остаются только слюда и хлорит.

Следовательно, наиболее достоверно, минералогически можно охарактеризовать условия образования пород, начиная с нижнемелового времени и до палеогена.

При изучении аутигенного минералообразования в фанерозойских отложениях выделяются следующие закономерности:

1. Сметит распространен во всех отложениях, начиная от олигоценовых и до современных. Причем, с удревнением осадков и осадочных пород степень его кристаллического совершенства возрастает. Изредка он встречается и в более древних отложениях, что, скорее всего, связано с их выветриванием (деградацией).

2. Смешанослойные образования типа сметит-слюда (низкоупорядоченные) также наблюдаются от олигоценовых до современных, а иногда и в верхнемеловых отложениях. Ректоритоподобные (высокоупорядоченные структуры) появляются на рубеже палеогена, как и корренситоподобные. Наиболее точно ректорит привязан к верхам (красноцветам) коркинской серии (нижний-верхний мел, Южное Приморье). В отложениях Приморья корренсит в ассоциации с ломонтитом появляется в раннем мелу и повторно в олигоцене (с. Ромашка, район пос. Славянка). В палеогеновых породах корренсит (без хлорита) отмечается в районе пос. Посьет, на возвышенности Ямато (Японское море), п-ове Терпения (о. Сахалин, туровская и ольдонская свиты) и хребте Витязя (палеоцен).

3. Кристобалит фиксируется с глубины 300–400 м в отложениях Японского моря (плиоцен), до 1500 м в Охотском море (палеоцен), но иногда встречается в маастрихт-датских породах учирской свиты, п-ов Терпения, о. Сахалин (Вашенкова, 1987; Можеровский и др., 2001; Свининников, 2004; Терехов и др., 2010; Цой и др., 2005).

4. Каолинит (охарактеризован рентгено-структурным анализом) встречается только в триасовых и нижнемеловых породах Приморья, связанных с угленосными отложениями, а также на возвышенности Ямато (Японское море).

5. Сульфатная группа минералов присутствует только в нижнемеловых (эпсомит, чермидит, тенардит, барит, гипс) и палеоценовых (барит, гипс) отложениях возвышенности Ямато (Японское море) (Можеровский, Терехов, 1991, 1999; Терехов и др., 2013; Mozherovsky, Terekhov, 1998, 2016; Terekhov et al., 2016). Довольно часто барит встречается и в более молодых отложениях в виде конкреций (Деркачев и др., 2000, 2015).

6. Цеолиты типа ломонтита и анальцима встречаются в нижнемеловых и палеоценовых породах Южного Приморья, возвышенности Ямато, п-ова Терпения (о. Сахалин) (Можеровский, 2019, 2021; Mozherovsky, 2021, 2022; Mozherovsky, Terekhov, 1999, 2016) и Восточной Камчатки (Чудаев, 1977, 1978). Гейландит и стильбит развиты, в основном, в вулканогенно-осадочных и осадочных породах, начиная с мела и до миоцена, а филлипсит — в измененных базальтоидах от олигоцена до плейстоцена (Можеровский, 1986, 1995).

7. Кальцит распространен очень широко от перми до плейстоцена и встречается в виде конкреций, ооидов, жил и прожилков, редко в виде пластов 5–10 см (туровская свита, п-ов Терпения) (Можеровский, 2016; Mozherovsky, Terekhov, 2016).

8. Во всех изученных осадочных бассейнах отмечается присутствие смешанослойных минералов типа хлорит-сапонит (корренситоподобных) в нижнемеловых и палеогеновых породах. Причем, их наличие не связано с типом вулканогенно-осадочного материала. В большей части отложений источником осадочного материала служили «кислые и средние» породы коры континентального типа — Южное Приморье, возвышенность Ямато (Японское море) (Геология дна..., 1987; Кутуб-Заде и др., 2013) подводный хребет Витязя (Курило-Камчатский желоб) (Леликов и др., 2008; Терехов и др., 2012). Исключение составляют вулканогенно-осадочные породы учирской свиты (маастрихт-дат) п-ова Терпения (о. Сахалин) (Терехов и др., 2010; Цой и др., 2005), частично малокурильской (маастрихт-дат) и зеленовской (палеоцен-миоцен о. Шикотан) свит (Маркевич и др., 2012; Палечек и др., 2008; Терехов и др., 2012) и Кроноцкого п-ова (Чудаев, 1977, 1978) со значительной долей материала изверженных пород.

9. Подтверждается наличие двух параллельных трендов минерального преобразования сметита, отмеченных другими исследователями (Коссовская, Дриц, 1971): в смешанослойные образования типа слюда-сметит (ректорито-

подобные) и в смектит-хлорит (корренситоподобные).

10. В распределении аутигенных минералов наблюдается широтная и глубинно-возрастная зональность. Выделяются южная и северная зоны: первая характеризуется наличием каолинита (триас, ранний мел Приморья) и минералов сульфатной группы в нижнемеловых породах возвышенности Ямато, а вторая — отсутствием каолинита.

Ассоциация корренсит-ломонтит требует более развернутого обсуждения. Первое выделение цеолитовой фации погружения и описание ее зональности сделал Д. Кумбс (Coombs, 1960) для мощного комплекса вулканогенных триасовых граувакк Новой Зеландии. Подобная закономерность проявляется и в других районах Земли: в «формации зеленых туфов», а также в неоген-палеогеновых и мезозойских формациях Японии (Iijima, Utada, 1971; Kimbara, Sudo, 1973), в Исландии (Mehegan et. al., 1982; Walker, 1960) и на Камчатке (Маркевич, 1985; Набоко, Берхин, 1970; Чудаев, 1977, 1978).

Железо-магнезиальные корренситы часто встречаются в гумидных угленосных формациях. Наиболее детально они были изучены в меловой угленосной формации Западного Верхоянья (Коссовская, 1961; Коссовская, Дриц, 1985; Коссовская и др., 1960). А.Г. Коссовской и В.Д. Шутовым (1971) впервые установлена приуроченность этого типа корренситов к ломонитовой зоне цеолитовой фации регионального эпигенеза, и предложен единый механизм ее формирования для меловых и палеоген-неогеновых вулканогенно-кластогенных комплексов Тихоокеанского пояса и других районов Земли. Было отмечено, что появление ломонитовой зоны обусловлено процессами регионального эпигенеза и коррелирует с показателем преломления витринита и выходом летучих (Kisch, 1975; Low temperature..., 1987). Она приурочена к интервалу между длиннопламенными и паровично-жирными углями (температура углефикации 70–200°C). Особо отмечается повторяемость ассоциации корренсит-ломонтит в триасе, нижнем мелу и эоцене Виллюйской синеклизы (Дриц, Коссовская, 1990, 1991; Коссовская и др., 1960), триасе Новой Зеландии (Coombs, 1960), верхнем мелу и палеогене п-ова Камчатки (Копорулин, 1992, 2006; Маркевич, 1985; Чудаев, 1977, 1978), маастрихт-дате и палеоцен-эоцене о. Сахалин (Копорулин, 1992; Mozherovsky, 2022), третичных и четвертичных вулканогенно-осадочных комплексах Суматры (Hall, Moss, 1997), а для цеолитов группы клиноптилолита-гейландита приуроченность к верхнемеловым и палеогеновым отложениям (Коссовская и др., 1980). Подобная зональность отмечается

и для мел-палеогеновых отложений северной части зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану (Mozherovsky, 2022; Mozherovsky, Terekhov, 2016).

Автор настоящей работы предположил, что формирование корренсит-ломонитовой ассоциации связано с двумя глобальными совпадающими климатическими событиями — созданием условий, благоприятных для испарения морской воды, и аномально высокими поставками кальция в бассейны осадконакопления (Mozherovsky, 2022).

Еще одной особенностью Виллюйской синеклизы является присутствие корренсита в триасовых отложениях (Дриц, Коссовская, 1990, 1991). В Приморье в верхнетриасовых породах был обнаружен корренсит (Mozherovsky, 2021). Автором было высказано предположение, что возможной причиной его обнаружения является неточное определение возраста пород, и предложил перевести часть этих отложений в нижнемеловые. Вместе с тем, возможен и другой вариант — присутствие корренсита именно в триасовых породах Приморья еще больше подчеркивает минералогическую близость этих бассейнов осадконакопления, хотя они и расположены в различных климатических (растительных) зонах (Вахрамеев, 1988; Маркевич, 1995).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение аутигенного минералообразования в мел-кайнозойских вулканогенно-осадочных комплексах Японского, Охотского морей, подводного хребта Витязя, о. Шикотан и о. Сахалин (п-ов Терпения) позволило уточнить пути эпигенетических преобразований, условия осадконакопления и палеогеографическую обстановку формирования в осадочных бассейнах Дальнего Востока России. Сведения о минеральных ассоциациях, химическом составе, геохимии элементов, систематическом составе палинокомплексов (Ващенко и др., 2009, 2011; Гнидаш и др., 1988; Маркевич и др., 2012; Марков и др., 2009; Можеровский, 1986, 1995, 2016, 2019, 2021; Можеровский и др., 1983, 1989, 2001; Можеровский, Терехов, 1991, 1999; Палечек и др., 2008; Терехов и др., 2008, 2010, 2011, 2012; Цой и др., 2005; Mozherovsky, 2021, 2022; Mozherovsky, Terekhov, 1998, 2016) позволяют присоединиться к выводу А.Г. Коссовской и В.Д. Шутова (1971) о том, что их формирование протекало в условиях взаимодействия двух параллельных процессов — хлоритизации при избытке магния и гидрослюдизации при избытке калия.

Осадконакопление в районе возвышенности Ямато в раннемеловое и палеоценовое время происходило в мелководном морском осолоняющемся

бассейне при медленной трансгрессии моря и жарком аридном климате. Севернее (Сахалин, Курилы) климат был несколько холоднее, но условия осадконакопления все равно способствовали образованию высокомагнезиальных силикатов. Установлены две минеральные ассоциации, отражающие различные условия в процессе формирования осадочных толщ: первая ассоциация — корренсит, анальцит, эпсомит, анкерит, кальцит, характерна для соленосных бассейнов; вторая — каолинит, слюда, смешанослойные образования слюда-сметит, отражает условия преобразования осадков в процессе эпигенеза.

Сходный состав минералов в нижнемеловых и палеоценовых породах возвышенности Ямато свидетельствует о цикличности минералообразования для периода ранний мел-палеоген. Возможно, при изучении более древних осадочных пород в других осадочных бассейнах эта цикличность будет обнаружена.

Эпигенетические преобразования кайнозойских вулканических и осадочных пород Дальневосточного региона выразились также в двух параллельных процессах: смектитизации при достаточном содержании калия в условиях избытка кислорода, и новообразовании опала-С/Т, которые проходили в условиях интенсивного опускания бассейна осадконакопления, начиная с раннего миоцена.

Для цеолитов также намечается минеральный ряд, начинающийся ломонитом в нижнемеловых и палеоценовых осадочных породах через серию цеолитов группы стильбита и анальцита и заканчивающийся филлипситом в кайнозойских вулканических породах.

В поверхностных и близповерхностных условиях смектит занимает подчиненное положение, где доминирующими обломочными минералами являются хлорит и слюда, характеризующие источники сноса.

В неогеновых вулканогенно-осадочных отложениях смектит становится преобладающим минералом, ассоциируя со смешанослойными образованиями типа смектит-слюда и кристобалитом. Вероятно, сюда же следует отнести и образования, формирующие непрерывный ряд от нонтронита до селадонита в ассоциации с кварцем, а также начальную селадонитизацию базальтов.

Для верхнемеловых вулканогенно-осадочных пород высокоупорядоченные смешанослойные (корренситоподобные и ректоритоподобные) минералы становятся доминирующими, ассоциируя с дефектным хлоритом и ломонитом. В более древних образованиях преобладают слюда и хлорит. Заметно разделяются и пути трансформации в зависимости от условий

седиментации — слюда и слюда-сметитовые смешанослойные образования, вероятно, сформировались в процессе эпигенеза из монтмориллонита через серию смешанослойных образований типа смектит-слюда (Коссовская, Дриц, 1971). Корренситоподобные минералы могли образоваться как в результате трансформации смектита при избытке магния, так и преобразовании магнезиальных силикатов типа сепиолита или палыгорскита (Милло, 1968; Nauff, 1981). Источником осадочного материала служили породы коры «континентального» типа с постоянной долей вулканического материала (изредка существенной — зеленцовая свита о. Шикотан). Мощность накопленных осадков была приблизительно одинакова.

Для ниже- и верхнемеловых пород региона характерны слюда, хлорит, корренсит, смешанослойные типа слюда-сметит, каолинит, дефектный хлорит, анальцит, ломонит, стильбит, шабазит, кварц — индекс-минералы анальцитовой фации эпигенеза и, возможно, ломонитовой, т.е. самые сильные изменения не заходили далее ломонитовой фации. Вероятная глубина погружения пород этого возраста, исходя из минералогических данных, оценивается от 2 до 5 км (Карньюшина, 1987; Aoyagi, Kazama, 1980).

Обобщая проведенные исследования, можно сделать следующие выводы:

1. Мезозойско-кайнозойские вулканогенно-осадочные комплексы в северной части зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану формировались синхронно и имеют трансгрессивный цикл. Он начинается в верхнем мелу-палеоцене с терригенных базальных конгломератов, образовавшихся в тектонически спокойных, мелководных морских условиях. Причем, источником являлись «кислые и средние» породы, характерные для коры континентального типа. Далее следует этап тектонической и вулканической активизации. Увеличивается доля вулканогенного материала и глубина бассейна. В олигоцене-миоцене осадкообразование начинает приобретать кремнистую специализацию, затем в плиоцене-плейстоцене происходит углубление бассейна, и осадконакопление принимает современные черты. Мощность осадков в изученных бассейнах могла превышать 2–3 км.

2. Диагенетические и эпигенетические превращения аутигенных минералов во всех изученных бассейнах имеют сходные черты и указывают на одинаковые условия формирования мел-палеогеновых пород в основании вулканогенно-осадочной толщи мощностью около 2–3 км и «сиалические» источники сноса, что согласуется с данными других методов исслед-

дований. В мелководных прибрежных условиях формируются минералы, которые в результате дальнейших преобразований переходят в корренсит и ректорит, что вероятно, зависит от солёности воды в бассейне осадконакопления и глубины. В тех отложениях, которые образовались в условиях, близких к солёным, формируется корренсит. Причем, он преобладает в песчаных, т.е. в мелководных прибрежных образованиях лагун и заливов при умеренно-теплых температурах. Для алевролитов и алевроаргиллитов (тонкозернистых пород, отлагавшихся в более глубоководных условиях и, вероятно, при более низких температурах) характерны корренситоподобные и ректоритоподобные образования.

Кристаллит на этой стадии (мел-палеоген) превращается в кварц. С появлением кремнистых осадков в олигоцен-нижнемиоценовых отложениях и их эпигенезом происходит трансформация опала в кристаллит (Свининников, 2004). Уменьшается доля обломочных компонентов — слюды, кварца, плагиоклаза, и начинают появляться смектит и смешанослойные образования типа слюда-смектит, затем смектит-слюда и аморфная фаза (вероятно, опал), поскольку начинают растворяться диатомеи. Наконец, минералообразование приобретает современные черты, где аутигенным минералом в осадках является смектит, и увеличивается доля терригенных компонентов — слюды, кварца и плагиоклаза.

3. В изученных бассейнах наиболее яркими индикативными свойствами обладают минералы — корренсит, ломонтит, кристаллит, эпсомит. Находки корренсита и ломонтита в осадочных породах могут свидетельствовать о том, что предположительный возраст этих пород не моложе палеоцена-эоцена и предполагаемая мощность осадков не менее 2–3 км; возможна связь с солёными отложениями. Следует предположить наличие подобных отложений и в других осадочных бассейнах Дальнего Востока.

Кристаллитсодержащие породы трещиноваты и почти не содержат глинистых минералов. Их выходы на поверхность дна бассейна свидетельствуют о больших (не менее 400 м) по амплитуде вертикальных движениях земной коры (Ващенко и др., 2009; Можеровский и др., 2001).

Автор надеется, что выявленные закономерности в аутигенном минералообразовании исследованных областей стимулируют подобные исследования в других осадочных бассейнах Сибири и Дальнего Востока России.

Работа была выполнена по теме госзадания ТОИ ДВО РАН № 121021700342-9.

Список литературы [References]

- Вахрамеев В.А. Юрские и меловые флоры и климаты Земли. М.: Наука, 1988. 214 с. [Vakhrameev V.A. Jurassic and Cretaceous floras and climates of the Earth. Moscow: Nauka, 1988. 214 p. (in Russian)].
- Ващенко Н.Г. Диатомово-глинистые породы Японского моря // 1-й Советско-Китайский симпозиум. Геология, геофизика, геохимия и металлогения зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану, 13–17 сентября 1987 г., Находка, СССР. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. С. 86–87 [Vashchenko N.G. Diatomaceous-argillaceous rocks of the Sea of Japan // 1st Soviet-Chinese Symposium. Geology, geophysics, geochemistry and metallogeny of the transition zone from the Asian continent to the Pacific Ocean, 13–17 September 1987, Nakhodka, USSR. Vladivostok: FEB AS USSR, 1987. P. 86–87 (in Russian)].
- Ващенко Н.Г., Горюва М.Т., Можеровский А.В. О составе и возрасте аргиллитовой толщи (осадочный чехол материкового склона Японского моря) // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 28. № 3. С. 53–63 [Vashchenko N.G., Goryova M.T., Mozherovskii A.V. The composition and age of the argillite sequence (sedimentary cover of the continental slope, Sea of Japan) // Russian Journal of Pacific Geology. 2009. V. 3. Iss. 3. P. 249–259. <https://doi.org/10.1134/s1819714009030051>].
- Ващенко Н.Г., Горюва М.Т., Можеровский А.В., Цой И.Б. Об осадочном чехле и позднекайнозойской истории развития хребта Окусири (Японское море) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2011. Т. 19. № 6. С. 89–104 [Vashchenko N.G., Goryova M.T., Mozherovskii A.V., Tsoy I.B. Sedimentary cover and late cenozoic history of the Okushiri ridge (Sea of Japan) // Stratigraphy and Geological correlation. 2011. V. 19. Iss. 6. P. 663–678. <https://doi.org/10.1134/s0869593811060086>].
- Ващенко Н.Г., Терехов Е.П., Цой И.Б. Вещественный состав и условия образования плиоцен-плейстоценовых отложений Курильской котловины (Охотское море) // Океанология. 2006. Т. 46. № 5. С. 735–744 [Vashchenko N.G., Terekhov E.P., Tsoy I.B. Matter composition and formation conditions of the Pliocene-Pleistocene sediments in the Kuril Basin (Sea of Okhotsk) // Oceanology. 2006. V. 46. Iss. 5. P. 692–701. <https://doi.org/10.1134/s0001437006050092>].
- Волохин Ю.Г. Глинистые минералы геосинклинальных кремнистых пород палеозоя и мезозоя юга Дальнего Востока / Геохимия и петрохимия осадочных комплексов Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 1980. С. 76–99 [Volokhin Yu.G. Clay minerals of geosynclinal siliceous rocks of the Paleozoic and Mesozoic of the south of the Far East / Geochemistry and petrochemistry of sedimentary complexes of the Far East. Vladivostok: FEB AS USSR, 1980. P. 76–99. (in Russian)].
- Волохин Ю.Г. Мезозойское и кайнозойское кремнеобразование в окраинных бассейнах Востока Азии. Владивосток: Дальнаука, 2012. 434 с. [Volokhin Yu.G. Mesozoic and Cenozoic Siliceous Sedimentation in Eastern Asian Margin Basins. Vladivostok: Dalnauka, 2012. 434 p. (in Russian)].

- Геология дна Японского моря / Под ред. И.И. Берсенева. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 140 с. [Geology of the Sea of Japan bottom / Ed. by I.I. Bersenev I.I. Vladivostok: FEB AS USSR, 1987. 140 p. (in Russian)].
- Гнидаш М.И., Сьедин В.Т., Можеровский А.В., Якушева И.Н. Геохимические ассоциации фосфора в базальтах Японского моря // Тихоокеанская геология. 1988. № 3. С. 25–33 [Gnidash M.I., Sedin V.T., Mozherovskiy A.V., Yakusheva I.N. Geochemical Associations of Phosphorus in Basalts of the Sea of Japan // Pacific Geology. 1988. № 3. P. 25–33 (in Russian)].
- Деркачев А.Н., Борман Г., Грайнерт И., Можеровский А.В. Аутигенная карбонатная и баритовая минерализация в осадках впадины Дерюгина (Охотское море) // Литология и полезные ископаемые. 2000. № 6. С. 568–587 [Derkachev A.N., Borhmann G., Greinert J., Mozherovskiy A.V. Authigenic carbonate and barite mineralization in sediments of the Deryugin Basin (Sea of Okhotsk) // Lithology and minerals resources. 2000. № 6. P. 568–587 (in Russian)].
- Деркачев А.Н., Николаева Н.А., Баранов Б.В. и др. Проявление карбонатно-баритовой минерализации в районе метановых сипов в Охотском море на западном склоне Курильской котловины // Океанология. 2015. Т. 55. № 3. С. 432–443 [Derkachev A.N., Nikolaeva N.A., Baranov B.V., et al. Manifestation of carbonate-barite mineralization around methane seeps in the Sea of Okhotsk (the western slope of the Kuril basin) // Oceanology. 2015. V. 55. Iss. 3. P. 390–399. <https://doi.org/10.1134/s0001437015030029>].
- Дриц В.А., Коссовская А.Г. Глинистые минералы: слюды, хлориты. М.: Наука, 1991. 176 с. [Drits V.A., Kossovskaya A.G. Clay minerals: micas, chlorites. Moscow: Nauka, 1991. 176 p. (in Russian)].
- Дриц В.А., Коссовская А.Г. Глинистые минералы: смектиты, смешанослойные образования. М.: Наука, 1990. 214 с. [Drits V.A., Kossovskaya A.G. Clay minerals: smectites, mixed-layer formations. Moscow: Nauka, 1990. 214 p. (in Russian)].
- Дриц В.А., Сахаров Б.А. Рентгеноструктурный анализ смешанослойных минералов. М.: Наука, 1976. 256 с. [Drits V.A., Sakharov B.A. X-ray structural analysis of mixed-layer minerals. Moscow: Nauka, 1976. 256 p. (in Russian)].
- Карнюшина Е.Е. Температурно-глубинная зональность катагенеза в кайнозойских осадочных бассейнах Тихоокеанского пояса / Тез. док. III Тихоокеанской школы по морской геологии, геофизике и геохимии. Часть 3. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. С. 128–129 [Karnyushina E.E. Temperature-depth zoning of catagenesis in the Cenozoic sedimentary basins of the Pacific belt / Proc. III Pacific School on Marine geology, geophysics and geochemistry. Pt. 3. Vladivostok: FEB AS USSR, 1987. P. 128–129 (in Russian)].
- Копорулин В.И. Мезозойские и кайнозойские терригенные отложения Северо-Востока и Дальнего Востока России. М.: Наука, 1992. 126 с. [Koporulin V.I. Mesozoic and Cenozoic terrigenous deposits of the North-east and Far East of Russia. Moscow: Nauka, 1992. 126 p. (in Russian)].
- Копорулин В.И. Минералообразование и перераспределение пороодообразующих элементов при постседиментационных изменениях терригенных компонентов (на примере ряда районов России) // Литосфера. 2006. № 4. С. 95–111 [Koporulin V.I. Postsedimentary transformations and redistribution of rockforming elements in terrigenous deposits of some Russia regions // Lithosphere (Russia). 2006. № 4. С. 95–111 (in Russian)].
- Коссовская А.Г. Корреляция зон регионального эпигенеза и метагенеза в терригенных и вулканогенных породах // ДАН СССР. 1961. Т. 139. № 3. С. 285–288 [Kossovskaya A.G. Correlation of zones of regional epigenesis and metagenesis in terrigenous and volcanogenic rocks // Doklady of the Academy of Sciences of the USSR. 1961. V. 139. № 3. P. 285–288 (in Russian)].
- Коссовская А.Г., Дриц В.А. Вопросы кристаллохимической и генетической классификации слюдистых минералов осадочных пород / Эпигенез и его минеральные индикаторы. М.: Наука, 1971. С. 71–95 [Kossovskaya A.G., Drits V.A. Problems of crystal chemical and genetic classification of micaceous minerals of sedimentary rocks / Epigenesis and its Mineral Indicators. Moscow: Nauka, 1971. P. 71–95 (in Russian)].
- Коссовская А.Г., Дриц В.А. Генетические типы корренситов и корренситоподобных минералов // Литология и полезные ископаемые. 1985. № 5. С. 16–38 [Kossovskaya A.G., Drits V.A. Genetic types of corrensites and corrensite-like minerals // Lithology and minerals resources. 1985. № 5. P. 16–38 (in Russian)].
- Коссовская А.Г., Шутов В.Д. Проблема эпигенеза / В кн.: Эпигенез и его минеральные индикаторы. М.: Наука, 1971. С. 9–34 [Kossovskaya A.G., Shutov V.D. The problem of epigenesis / Epigenesis and its Mineral Indicators. Moscow: Nauka, 1971. P. 9–34 (in Russian)].
- Коссовская А.Г., Шутов В.Д., Кац М.Я. Цеолиты клиноптилолитовой-гейландитовой группы как индикаторы геологических обстановок континентов и океанов / Природные цеолиты. М.: Наука, 1980. С. 9–30 [Kossovskaya A.G., Shutov V.D., Kats M.Ya. Zeolites of the clinoptilolite-heulandite group as indicators of the geological settings of continents and oceans / Natural zeolites. Moscow: Nauka, 1980. P. 9–30 (in Russian)].
- Коссовская А.Г., Шутов В.Д., Муравьев В.П. Мезозойские и верхнепалеозойские отложения Западного Верхоянья и Вилуйской впадины. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 276 с. [Kossovskaya A.G., Shutov V.D., Murav'ev V.P. Mesozoic and Upper Paleozoic deposits of the Western Verkhoyansk region and the Vilyui depression. Moscow: AN USSR, 1960. 276 p. (in Russian)].
- Курносков В.Б. Распределение глинистых минералов в поверхностном слое осадков Японского моря / Осадочные формации нефтегазоносных областей Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. С. 62–77 [Kurnosov V.B. Distribution of Clay Minerals in the Surface Sediments of the Sea of Japan / Sedimentary formations of oil and gas bearing regions of the Far East. Vladivostok: FEB AN USSR, 1975. P. 62–77 (in Russian)].

- Курнос В.Б.* Глинистые осадки главных структурных элементов окраин Тихого океана (по материалам глубоководного бурения). М.: Наука, 1982. 224 с. [*Kurnosov V.B.* Clay sediments of the main structural elements of the margins of the Pacific Ocean (based on deep-sea drilling data). Moscow: Nauka, 1982. 224 p. (in Russian)].
- Кутуб-Заде Т.К., Коваленко С.В., Короткий А.М. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000. Серия Ханкайская. Листы К-52-XI, XVII. Объяснительная записка. М.: Московский филиал ВСЕГЕИ, 2013. [*Kutub-Zade T.K., Kovalenko S.V., Korotkiy A.M. et al.* State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 200,000. Khanka Series. Sheets K-52-XI, XVII. Explanatory note. M.: MF VSEGEI, 2013. 207 p. (in Russian)].
- Левитан М.А., Антонова Т.А., Гельви Т.Н.* Фациальная структура, количественные параметры и условия накопления мезозойско-кайнозойских отложений в циркумарктическом поясе. Сообщение 2. Мел-палеоген // Геохимия. 2015. № 5. С. 418–436 [*Levitan M.A., Antonova T.A., Gelvi T.N.* Mesozoic-Cenozoic sedimentation in the circum-arctic belt. 2. Cretaceous-Paleogene // *Geochemistry International*. 2015. V. 53. Iss. 5. P. 411–429. <https://doi.org/10.1134/s0016702915050031>].
- Леликов Е.П., Цой И.Б., Емельянова Т.А. и др.* Геологическое строение подводного хребта Витязя в районе «сейсмической бреши» (тихоокеанский склон Курильской островной дуги) // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27. № 2. С. 3–16 [*Lelikov E.P., Tsoy I.B., Emel'yanova T.A. et al.* Geological Structure of the Submarine Vityaz Ridge within the Seismic Gap Area (Pacific Slope of the Kurile Island Arc) // *Russian Journal of Pacific Geology*. 2008. V. 2. Iss. 2. P. 99–109. <https://doi.org/10.1134/s1819714008020012>].
- Маркевич В.С.* Меловая палинофлора севера Восточной Азии. Владивосток: Дальнаука, 1995. 200 с. [*Markevich V.S.* Cretaceous palynoflora of northern East Asia. Vladivostok: Dalnauka, 1995. 200 p. (in Russian)].
- Маркевич В.С., Можеровский А.В., Терехов Е.П.* Палинологическая характеристика малокурильской свиты (маастрихт-даний), о. Шикотан // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2012. Т. 20. № 5. С. 65–76 [*Markevich V.S., Mozherovskii A.V., Terekhov E.P.* Palynological characteristics of the sediments of the Malokuril'skaya formation (maastrichtian-danian), Shikotan Island // *Stratigraphy and Geological correlation*. 2012. V. 20. Iss. 5. P. 466–477. <https://doi.org/10.1134/s0869593812040041>].
- Маркевич П.В.* Геосинклинальное терригенное осадконакопление на Востоке Азии в фанерозое. На примере Сихотэ-Алиня и Камчатки. Москва: Наука, 1985. 121 с. [*Markevich P.V.* Geosynclinal Terrigenous Sedimentation in Eastern Asia in the Phanerozoic on the Example of Sikhote-Alin and Kamchatka. Moscow: Nauka, 1985. 121 p. (in Russian)].
- Марков Ю.Д., Можеровский А.В., Баринов Н.Н.* Высокожелезистые слоистые силикаты окраинных морей и рифтовых зон. Владивосток: Дальнаука, 2009. 183 с. [*Markov Yu.D., Mozherovskiy A.V., Barinov N.N.* Fe-rich layered silicates of marginal seas and rift zones. Vladivostok: Dalnauka, 2009. 183 p. (in Russian)].
- Милло Ж.* Геология глин (выветривание, седиментология, геохимия) / Пер. с французского. Под ред. А.Г. Коссовской. М.: Недра, 1968. 359 с. [*Millot G.* Geology of clays: weathering, sedimentology, geochemistry / Ed. A.G. Kossovskaya. Moscow: Nedra, 1968. 359 p. (in Russian)].
- Можеровский А.В.* Низкотемпературные изменения магматических пород дна Японского моря // Тихоокеанская геология. 1986. № 3. С. 58–63 [*Mozherovskiy A.V.* Low-temperature changes in magmatic rocks of the Sea of Japan floor // *Pacific Geology*. 1986. № 3. P. 58–63 (in Russian)].
- Можеровский А.В.* Аутигенные минералы мезо-кайнозойских вулканогенно-осадочных комплексов дна Японского моря. Дис. канд. геол.-мин. наук. Владивосток, 1995. 151 с. [*Mozherovskiy A.V.* Authigenic Minerals of the Meso-Cenozoic Volcanic-Sedimentary Complexes of the Sea of Japan Bottom: Dissertation PhD in Geological and Mineralogical Sciences. Vladivostok, 1995. 151 p. (in Russian)].
- Можеровский А.В.* Аутигенное минералообразование как индикатор условий формирования мезокайнозойских вулканогенно-осадочных комплексов дальневосточных морей. Дис. доктора геолого-минералогических наук / Тихоокеанский океанологический ин-т им. В.И. Ильичева ДВО РАН. Владивосток, 2016. 251 с. [*Mozherovskiy A.V.* Authigenic mineral formation as an indicator of the formation conditions of the Meso-Cenozoic volcanogenic-sedimentary complexes of the Far Eastern seas: Dissertation Doctorate in Geological and Mineralogical Sciences. Vladivostok, 2016. 251 p. (in Russian)].
- Можеровский А.В.* Геология и стратиграфия полуострова Посыет (Южное Приморье) с минералогической точки зрения // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2019. Вып. 43. № 3. С. 26–37. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-3-43-26-37> [*Mozherovskiy A.V.* Mineralogically based geology and stratigraphy of the Posyet Peninsular (Southern Primorye) // *Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle*. 2019. № 3 (43). P. 26–37 (in Russian)].
- Можеровский А.В.* Аутигенные минералы вулканогенно-осадочных пород палеозойско-кайнозойского возраста Южного Приморья // Тихоокеанская геология. 2021. Т. 40. № 6. С. 100–110 [*Mozherovskiy A.V.* Authigenic minerals of paleozoic–cenozoic volcanogenic-sedimentary rocks in the Southern Primorye Region // *Russian Journal of Pacific Geology*. 2021. V. 15. Iss. 6. P. 583–601. <https://doi.org/10.1134/s1819714021060075>].
- Можеровская Л.В., Захарова С.С., Можеровский А.В.* О генезисе глауконитовых силицитов в Японском море / Новые данные по геологии западной части Тихого океана. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 106–109 [*Mozherovskaya L.V., Zakharova S.S., Mozherovskiy A.V.* On the Genesis of Glauconite Silicites in the Sea of Japan / The Latest Data on Marine Geology of the Western Pacific. Vladivostok: FEB AN USSR, 1989. P. 106–109 (in Russian)].
- Можеровский А.В., Плисс С.Г., Сорочинская А.В. и др.* Особенности формирования донных отложений

- залива Угловое (Японское море) // Тихоокеанская геология. 1983. Т. 2. № 2. С. 93–96 [Mozherovsky A.V., Pliss S.G., Sorochinskaya A.V. et al. Peculiarities of formation of bottom sediments in the Uglovoe Bay (Sea of Japan) // Pacific Geology. 1983. V. 2. № 2. P. 93–96 (in Russian)].
- Можеровский А.В., Терехов Е.П. Корренситоподобные минералы осадочных пород подводной возвышенности Ямато (Японское море) // Литология и полезные ископаемые. 1991. № 6. С. 121–126 [Mozherovsky A.V., Terekhov E.P. Corrensite-like minerals of sedimentary rocks of the Yamato Sea Rise (Sea of Japan) // Lithology and minerals resources. 1991. № 6. P. 121–126 (in Russian)].
- Можеровский А.В., Терехов Е.П. Аутигенные минералы цемента раннемеловых и палеоценовых осадочных пород подводной возвышенности Ямато (Японское море) // Тихоокеанская геология. 1999. Т. 18. № 1. С. 59–70 [Mozherovsky A.V., Terekhov E.P. Authigenic cement minerals from Early Cretaceous and Paleocene sedimentary rocks of the Yamato Sea Rise (Sea of Japan) // Pacific Geology. 1999. V. 18. № 1. P. 59–70 (in Russian)].
- Можеровский А.В., Терехов Е.П., Ващенко Н.Г. Кристобалит Японского и Охотского морей: индикатор вертикальных тектонических движений // Тез. докл. Геология морей и океанов. Т. II. М.: ГЕОС, 2001. С. 310–311 [Mozherovsky A.V., Terekhov E.P., Vashchenkova N.G. Cristobalite of the Sea of Japan and the Sea of Okhotsk: an indicator of vertical tectonic movements // Abstracts reports. Geology of the seas and oceans. V. II. Moscow: GEOS, 2001. P. 310–311 (in Russian)].
- Набоко С.И., Берхин С.И. Состав и структура современных гидротермальных зеленых минералов месторождения Горячий Пляж (о-в Кунашир) // Минералогия гидротермальных систем Камчатки и Курильских островов. М.: Наука, 1970. С. 71–78 [Naboko S.I., Berkhin S.I. Composition and structure of modern hydrothermal green minerals of the Goryachiy Plyazh deposit (Kunashir Island) // Mineralogy of the hydrothermal systems of Kamchatka and the Kuril Islands. Moscow: Nauka, 1970. P. 71–78 (in Russian)].
- Палечек Т.Н., Соловьев А.В., Шапиро М.Н. Строение и возраст осадочно-вулканогенных мезозойских отложений Паланского разреза (западная Камчатка) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2003. Т. 11. № 3. С. 57–74 [Palechek T.N., Solov'ev A.V., Shapiro M.N. Structure and age of Mesozoic sedimentary-volcanogenic deposits of the Palana Section (Western Kamchatka) // Stratigraphy and Geological correlation. 2003. V. 11. № 3. P. 261–277 (in Russian)].
- Палечек Т.Н., Терехов Е.П., Можеровский А.В. Кампан-маастрихтские радиоларии из малокурильской свиты острова Шикотан // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2008. Т. 16. № 6. С. 76–89 [Palechek T.N., Terekhov E.P., Mozherovskii A.V. Campanian-Maastrichtian radiolarians from the Malokuril'skaya formation, the Shikotan Island // Stratigraphy and Geological correlation. 2008. V. 16. Iss. 6. 650–663. <https://doi.org/10.1134/s0869593808060051>].
- Свининников А.И. Плотность и скорость звука в кайнозойских вулканогенно-осадочных породах Японского моря / Новые данные по геологии западной части Тихого океана. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 140–151 [Svininnikov A.I. Density and speed of sound in Cenozoic volcanic-sedimentary rocks of the Sea of Japan / The Latest Data on Marine Geology of the Western Pacific. Vladivostok: FEB AN USSR, 1989. P. 140–151 (in Russian)].
- Свининников А.И. Петрофизика западной части Тихого океана и окраинных морей востока Азии. Владивосток: Дальнаука, 2004. 258 с. [Svininnikov A.I. Petrophysics of the Western part of the Pacific Ocean and the marginal seas of Eastern Asia. Vladivostok: Dalnauka, 2004. 258 p. (in Russian)].
- Терехов Е.П., Можеровский А.В., Ващенко Н.Г., Барин Н.Н. Аутигенная гипсовая минерализация в породах дна Японского и Охотского морей // Новые данные о минералах. 2013. Вып. 48. С. 62–69 [Terekhov E.P., Mozherovsky A.V., Vashchenkova N.G., Barinov N.N. Authigenic gypsum mineralization in the bottom rocks of the Sea of Japan and Okhotsk // New Data on Minerals. 2013. V. 48. P. 62–69 (in Russian)].
- Терехов Е.П., Можеровский А.В., Горовая М.Т. и др. Вещественный состав пород котиковской серии и основные этапы развития п-ова Терпения в период поздний мел-палеоген (о. Сахалин) // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29. № 3. С. 97–110 [Terekhov E.P., Mozherovsky A.V., Gorovaya M.T. et al. Composition of the rocks of the Kotikovo group and the main stages in the late Cretaceous-Paleogene evolution of the Terpeniya Peninsula, Sakhalin Island // Russian Journal of Pacific Geology. 2010. V. 4. Iss. 3. P. 260–273. <https://doi.org/10.1134/s1819714010030085>].
- Терехов Е.П., Можеровский А.В., Цой И.Б. и др. Верхнемеловые и кайнозойские вулканогенно-осадочные комплексы подводного хребта Витязя (островной склон Курило-Камчатского желоба) и история его развития // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31. № 3. С. 24–31 [Terekhov E.P., Mozherovsky A.V., Tsoy I.B. et al. Late Mesozoic and Cenozoic volcanosedimentary complexes from the submarine Vityaz Ridge, the Island Arc slope of the Kuril-Kamchatka Trench, and its evolution // Russian Journal of Pacific Geology. 2012. V. 6. Iss. 3. P. 209–216. <https://doi.org/10.1134/s1819714012030062>].
- Терехов Е.П., Цой И.Б., Ващенко Н.Г. и др. Условия осадконакопления и история развития Курильской котловины (Охотское море) в кайнозое // Океанология. 2008. Т. 48. № 4. С. 615–623 [Terekhov E.P., Tsoy I.B., Vashchenkova N.G. et al. Sedimentation settings and evolution history of the Kuril Basin (Sea of Okhotsk) in the Cenozoic // Oceanology. 2008. V. 48. Iss. 4. P. 569–577. <https://doi.org/10.1134/s0001437008040115>].
- Терехов Е.П., Цой И.Б., Можеровский А.В., Вагина Н.К. Плиоценовые осадки о. Шикотан (Малая Курильская гряда) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2011. Т. 19. № 3. С. 96–110 [Terekhov E.P., Tsoy I.B., Mozherovskii A.V., Vagina N.K. Pliocene sediments of Shikotan Island (Lesser Kuril Ridge) // Stratigraphy and Geological correlation. 2011. V. 19. Iss. 3. P. 337–351. <https://doi.org/10.1134/s0869593811030105>].

- Цой И.Б., Терехов Е.П., Шастина В.В. и др. О возрасте отложений котиковской серии полуострова Терпения (Восточный Сахалин) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2005. Т. 13. № 6. С. 77–88 [Tsoy I.B., Terekhov E.P., Shastina V.V. et al. Age of the Kotikovaya group in the Terpeniya Peninsula (Eastern Sakhalin) // Stratigraphy and Geological correlation. 2005. V. 13. № 6. P. 632–643 (in Russian)].
- Чудаев О.В. Распределение глинистых минералов во флишеидных отложениях Восточной Камчатки // Литология и полезные ископаемые. 1978. Т. 1. С. 105–115 [Chudaev O.V. Distribution of clay minerals in flysch deposits of Eastern Kamchatka // Lithology and Mineral Resources. 1978. V. 1. P. 105–115 (in Russian)].
- Чудаев О.В. Глинистые минералы флишевых формаций Сихотэ-Алиня и Камчатки. Дисс. канд. геол.-мин. наук. Владивосток. 1977. 141 с. [Chudaev O.V. Clay minerals of flysch formations of Sikhotealin and Kamchatka: Dissertation PhD in Geological and Mineralogical Sciences. Vladivostok, 1977. 141 p. (in Russian)].
- Aoyagi K., Kazama T. Transformational changes of clay minerals, zeolites and silica minerals during diagenesis // Sedimentology. 1980. V. 27. Iss. 2. P. 179–188. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1980.tb01168.x>
- Coombs D.S. Low grade mineral facies in New Zealand // Rep. XXI International Geological Congress, 1960. V. 13. P. 339–351.
- Coombs D.S., Ellis A.J., Fyfe W.S., Taylor A.M. The zeolite facies, with comments on the interpretation of hydrothermal syntheses // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1959. V. 17. Iss. 1–2. P. 53–107. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(59\)90079-1](https://doi.org/10.1016/0016-7037(59)90079-1)
- Golovneva L., Bugdaeva E., Volynets E. et al. Angiosperm diversification in the Early Cretaceous of Primorye, Far East of Russia // Fossil Imprint. 2021. V. 77. Iss. 2. P. 231–255. <https://doi.org/10.37520/fi.2021.017>
- Hall A., Moss S.J. The occurrence of laumontite in volcanic and volcanoclastic rocks from Southern Sumatra // Journal of Asian Earth Sciences. 1997. V. 15. Iss. 1. P. 55–59. [https://doi.org/10.1016/S0743-9547\(96\)00080-3](https://doi.org/10.1016/S0743-9547(96)00080-3)
- Hauff P.L. Corrensite: Mineralogical Ambiguities and Geologic Significance / Open-File Report 81-850. United States Department of the Interior Geological Survey: USA, 1981. p. 45. <https://doi.org/10.3133/ofr81850>
- Iijima A., Utada M. Present-day zeolitic diagenesis of the Neogene geosynclinal deposits in the Niigata oil field Japan / Molecular Sieve Zeolites-I, Advances in Chemistry Series. 1971. № 101. P. 342–349. <https://doi.org/10.1021/ba-1971-0101.ch027>
- Jenkyns H.C. Geochemistry of oceanic anoxic events // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2010. V. 11. Iss. 3. P. 1–30. <https://doi.org/10.1029/2009gc002788>
- Jenkyns H.C. Cretaceous anoxic events: From continents to oceans // Journal of the Geological Society. 1980. V. 137. Iss. 2. P. 171–188. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.137.2.0171>
- Kimbara K., Sudo T. Chloritic clay minerals in tuffaceous sandstones of the miocene Green Tuff Formation Yamata district, Ishikawa Prefecture, Japan // The Journal of the Japanese Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists. 1973. V. 68. Iss. 8. P. 246–258. <https://doi.org/10.2465/ganko.1941.68.246>
- Kisch H.J. Coal-rank and very low-stage metamorphic mineral facies in associated sedimentary rocks / Colloque international petrograph. de la matiere organique des sediments. P.: CNRS. 1975. P. 117–121.
- Low temperature metamorphism / Ed. Frey M. Blackie, Glasgow and London, 1987. 351 p.
- Mehegan J.M., Robinson P.T., Delaney J.R. Secondary mineralisation and hydrothermal alteration in the Reydarfjordur Drill Core Eas. Iceland // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 1982. V. 87. Iss. B8. P. 6511–6524. <https://doi.org/10.1029/jb087ib08p06511>
- Mozherovskiy A.V. Practical application of the mineralogical mapping method for stratigraphy of the cretaceous deposits of Southern Primorye (Russian Far East) // Minerals. 2021. V. 11(8). Art. no. 840. <https://doi.org/10.3390/min11080840>
- Mozherovskiy A.V. Clay Mineral Assemblages in the Cretaceous Volcanogenic–Sedimentary Rocks of the North-Western Part of the Transition Zone from the Asian Continent to the Pacific Ocean // Minerals. 2022. V. 12(7). Art. no. 909. <https://doi.org/10.3390/min12070909>
- Mozherovskiy A.V., Terekhov E.P. Authigenic minerals in Early Cretaceous and Paleocene sedimentary rocks of the Yamato Ridge, East Sea // Geoscience Journal. 1998. V. 2. Iss. 3. P. 148–159. <https://doi.org/10.1007/bf02910258>
- Mozherovskiy A.V., Terekhov E.P. Authigenic minerals of Meso-Cenozoic volcanic-sedimentary rocks of marginal seas bottom of the North-Western Pacific // Standard Global Journal of Geology and Explorational Research. 2016. V. 3 (3). P. 105–114. https://www.researchgate.net/publication/303811393_Authigenic_minerals_of_Meso-Cenozoic_volcanic-sedimentary_rocks_of_marginal_seas_bottom_of_the_North-Western_Pacific
- Terekhov E.P., Mozherovskiy A.V., Barinov N.N. Barites from the underwater Yamano Ridge (Japan Sea) // Standard Global Journal of Geology and Explorational Research. 2016. V. 3 (4). P. 161–169. https://www.researchgate.net/publication/305268729_Barites_from_the_underwater_Yamato_Ridge_Japan_Sea
- Walker G.P.L. Zeolites zones and dike distribution in relation to the structure of the basalts of Eastern Iceland // Journal of Geology. 1960. V. 68. Iss. 5. P. 515–528. <https://doi.org/10.1086/626685>

МОЖЕРОВСКИЙ
**AUTHIGENIC MINERALS
IN PHANEROZOIC VOLCANOGENIC-SEDIMENTARY DEPOSITS
OF THE NORTHERN PART OF THE TRANSITION ZONE
FROM THE ASIAN CONTINENT TO THE PACIFIC OCEAN**

A.V. Mozherovsky

*Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, Russia, 690041; e-mail: manatoly@poi.dvo.ru*

Received February 21, 2023; revised July 12, 2023; accepted September 26, 2023

Authigenic minerals in Phanerozoic volcanogenic-sedimentary deposits in the northern part of the transition zone from the Asian continent to the Pacific Ocean have been studied. Chlorite, mica, corrensite, rectorite, defective chlorite, kaolinite, smectite, calcite, barite, gypsum, epsomite, zeolites, cristobalite, quartz, and goethite were found. Corrensite, rectorite; associations: corrensite-laumontite, corrensite-epsomite-authigenic calcite and mica-kaolinite-quartz have significant indicative properties. Such a set of minerals indicates that the thickness of sediments in the studied basins could reach three to five kilometers, and the temperature of their formation could be more than 150°C. The mica-kaolinite association may indicate epicontinental sedimentation conditions associated with coal formation on nearby land, corrensite-chlorite association may indicate conditions favorable for the evaporation of sea water, and the presence of laumontite in it may indicate the periodic calcium supply to the sedimentation basin. Periods of mineral formation, possibly related to global climatic events — 113–120, 110–113, 105–110, 93–95, 72–83, 61–72, 56–61, 33–56 Ma, were identified, which can serve as reference for reconstructing the conditions of sedimentation and a basis for more reliable stratigraphic constructions.

Keywords: Phanerozoic deposits, authigenic minerals, transition zone, sedimentation conditions.