

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НИЖНЕМЕЛОВЫХ ПОРОД ПОЛУОСТРОВА ДЕ-ФРИЗА (ЮЖНОЕ ПРИМОРЬЕ)

© 2026 А.В. Можеровский¹, Н.Н. Баринов²

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
Владивосток, Россия, 690041; e-mail: manatoly@poi.dvo.ru

²Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия, 690022;
e-mail: nickolai.barinov2013@yandex.ru

Поступила в редакцию 09.12.2025; после доработки 09.04.2026; принята в печать 27.06.2026

При исследовании минерального состава цемента вулканогенно-осадочных нижнемеловых пород липовецкой и галенковской свит (никанская серия) полуострова Де-Фриза (район г. Владивостока, Южное Приморье, Россия) было предположено, что часть из них формировалась в мелководных морских обстановках в условиях, близких к аридным, а присутствие корренсита в липовецкой свите и ассоциация корренсита с ломонитом в галенковской свите может иметь важное стратиграфическое значение для уточнения ранне-меловых возрастных границ. Минеральный состав цемента одной из проб песчаника необычен. Он представлен слоистым силикатом, не разбухающим при обработке органическими растворителями. Подобный минерал в вулканогенно-осадочных породах северо-западной части зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану обнаружен впервые. Предполагается, что он образовался в процессе эпигенеза осадков галенковской свиты, которые отлагались вдоль береговой черты опресненного бассейна при колебании уровня поверхности и температурного режима.

Ключевые слова: смешанослойный минерал слюда-хлорит, нижний мел, Приморье, Россия.

ВВЕДЕНИЕ

При исследовании минерального состава цемента нижнемеловых вулканогенно-осадочных пород п-ова Де-Фриза (рис. 1а–в) района г. Владивостока (Южное Приморье) (Можеровский, 2021, 2023; Mozherovsky, 2021, 2022; Mozherovsky, Terekhov, 2016) в одном из образцов обнаружен высокоупорядоченный смешанослойный слюда-хлорит, межслоевой промежуток которого не изменяется при обработке этиленгликолем.

Существует пример нахождения подобных образований: А.Г. Коссовской с соавторами (1960), В.А. Дрицем и А.Г. Коссовской (1963) в отложениях Вилюйской синеклизы был обнаружен сангарит — не разбухающий при насыщении смешанослойный вермикулит-хлорит.

Подобные находки очень редки, поэтому их происхождение несомненно заслуживает детального исследования.

МАТЕРИАЛ

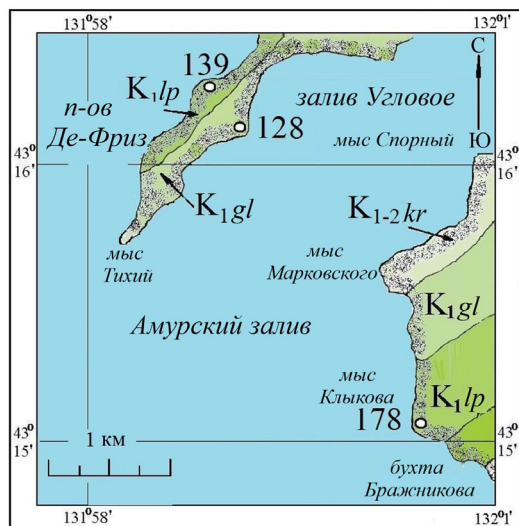
Образец был отобран при обследовании береговых обнажений в основании п-ова Де-Фриза и описан как песчаник нижнемеловой липовецкой свиты (Можеровский, 2021; Mozherovsky, 2021). На данном обнажении проведен дополнительный отбор образцов и уточнено взаимоотношение между залегающими породами (обр. 139, рис. 1а–в, 2а, 3а–е).

Образец был взят из песчаных линз в слое туфогравелита. Подстилающий и перекрывающий горизонты сложены параллельно-слоистыми грубозернистыми зеленоватыми песчаниками, содержащими корренсит и ломонит. Верхний слой обнажения имеет сильно выветрелую, осыпающуюся корку толщиной до 5 см.

С целью уточнения условий формирования подобных отложений для сравнения нами рассмотрены еще два образца песчаников —



а



K_{1lp} 1 K_{1gl} 2 K_{1-2kr} 3

б



в

один из галенковской свиты с корренситом и ломонитом (обр. 128, рис. 1б, 2б, 4а–г), другой — из липовецкой свиты, содержащий корренсит (рис. 1б, 2в, 4д, 4е; обр. 178).

МЕТОДЫ

Основным методом изучения минерального состава цемента вулканогенно-осадочных пород являлся рентгеноструктурный анализ. Дифрактометр «Дрон-2.0» использовался с $CuK\alpha$ излучением (плоский графитовый монохроматор), анодным напряжением 40 кВ и током 30 мА.

Образцы цемента (фракция <0.06 мм), приготовленные методом гравитационного осаждения из водной суспензии, изучались в воздушно-сухом и насыщенном этиленгликолем состояниях (Crystal..., 1980; Moore, Reynolds, 1997).

Отбор образцов, приготовление проб, съемка и диагностика минеральных образований выполнялась в Тихоокеанском океанологическом институте им. В.И. Ильичева (ТОИ) ДВО РАН А.В. Можеровским в соответствии с моделями, предложенными в работе (Дриц, Сахаров, 1976). Исследование микроструктуры и химического состава проводилось в Дальневосточном геологическом институте (ДВГИ) ДВО РАН на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) «EVO 50-XVP», оснащенный энерго-дисперсионной системой «INCA ENERGY 350» (аналитик Н.Н. Баринов).

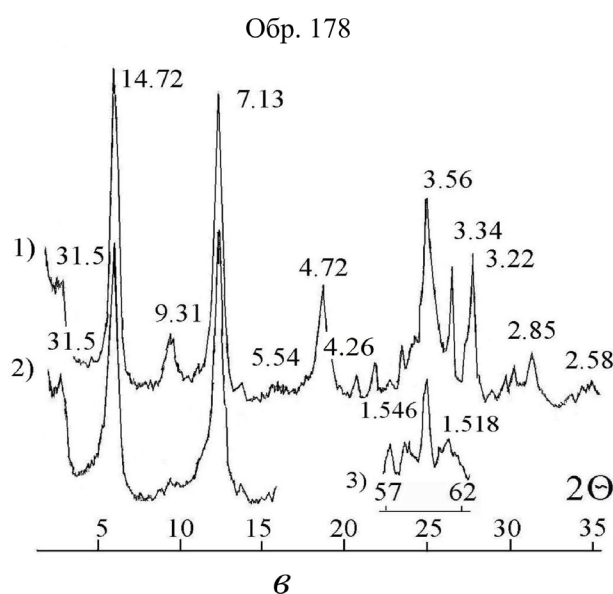
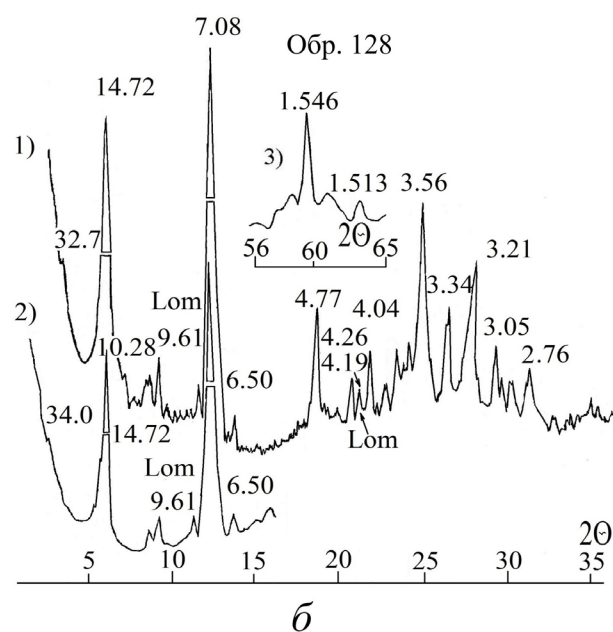
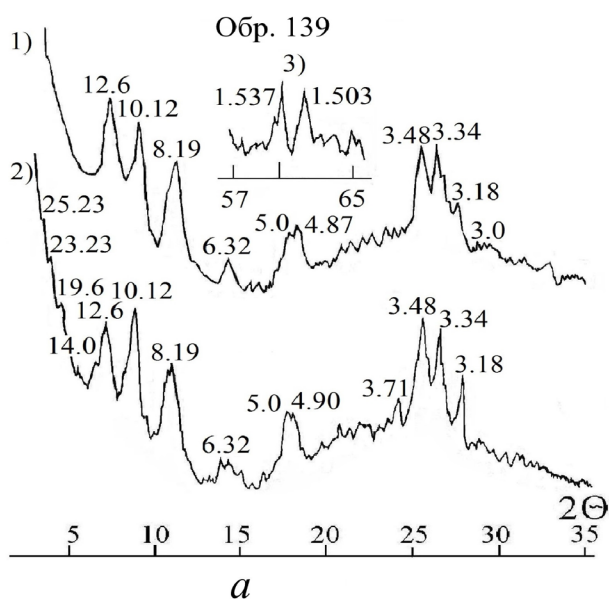
На препараты для создания проводящего слоя напыляли тонкую пленку углерода с использованием высоковакуумной системы «EDWARDS E-306». Кристаллохимические формулы рассчитывались бескислородным методом (Булах, 1967) на 22 аниона. Для изучения шлифов использовались поляризационные микроскопы систем «Karl Zeiss» и «Polam».

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оптическое изучение в шлифе показывает отличие исследованного образца из линзы песчаника в туфогравелите от привлеченных для сравнения туфопесчаников липовецкой и галенковской свит. Терригенные компоненты

Рис. 1. Общая схема района исследований: а — карта-схема района; б — места опробования (Анохин и др., 2011); в — обнажение, в котором отобраны пробы. Легенда: 1 — липовецкая и 2 — галенковская свиты, нижний мел; 3 — коркинская серия, нижний-средний мел.

Fig. 1. General map of the study area: а — map-diagram of the research area; б — geological sampling scheme (Anokhin et. al., 2011); в — sampling site. Legend: 1 — Lipovtsy and 2 — Galenki Formations of Lower Cretaceous; 3 — Korki Series, Lower-Middle Cretaceous.



изучаемого образца (рис. 3а–г) представлены в основном слабо окатанными, угловатыми, мало измененными зернами калиевого полевого шпата (КПШ), кварца, плагиоклаза (олигоклаз) и, изредка, обломками гнейсов, окруженными тонким пленочным глинистым цементом. В подчиненных количествах присутствуют биотит и роговая обманка. Чешуйки биотита изменены незначительно, но изогнуты в процессе породообразования и несут явные следы ожелезнения (рис. 3д, 3е). Образцы, использованные для сравнения (рис. 4а–е), по составу обломков можно отнести к грауваккам. Сильно измененные, слабоокатанные обломки эффузивных пород и плагиоклазов (андезин?), имеющих волнистые изъеденные края, скреплены глинистым цементом коррозионного типа. Иногда встречаются поры, выполненные концентрически зональными слоями глинистого минерала и ломонтита (рис. 4а–г, обр. 128). Для примера (рис. 4д, 4е, обр. 178) показаны поры, полностью выполненные игольчатым минералом — корренситом.

Согласно полученным рентгеновским данным цемент в образце 139 (из линзы песчаника в туфогравелите) представлен смешанослойным высокоупорядоченным минералом типа слюда-хлорит (рис. 2а, рефлексы 12.6, 8.19, 4.87 и 3.48 Å) с $Wc:Wx=0.5:0.5$; $S=1$, вероятностью $p_{cc}=0.3$, не разбухающим при насыщении этиленгликолем (Дриц, Сахаров, 1976) и слюдой в виде чистой фазы (10.5 и 3.34 Å соответственно). Триоктаэдрический и диоктаэдрический компоненты присутствуют в приблизительно равных количествах (рис. 2а, рефлекс 060). Удлиненные частицы цемента и слегка округлые чешуйки биотита представлены на рисунке 5а и 5б, а их химический состав и приблизительные формулы минералов отражены в таблице.

Оказалось, что минерал слюда-хлорит встречается как в линзах грубозернистого песчаника,

Рис. 2. Рентгенограммы цемента песчаников: а — образец 139 — смешанослойное образование типа слюда-хлорит, предположительно липовецкая свита, нижний мел; б — образец 128 — корренсит с ломонтитом (Lom), галенковская свита, нижний мел; в — образец 178 — корренсит, липовецкая свита, нижний мел. Цифры: 1 — образец ориентированный воздушно-сухой; 2 — насыщен этиленгликолем; 3 — рефлекс 060. Отражения даны в ангстремах — Å.

Fig. 2. Diffractograms of sandstone cement: а — Sample 139 — mica-chlorite mixed-layer formation, presumably from the Lipovtsy Formatoin, Lower Cretaceous; б — Sample 128, corrensite with laumontite (Lom), Galenki Formatoin, Lower Cretaceous; в — Sample 178, corrensite, Lipovtsy Formatoin, Lower Cretaceous. Numbers: 1 — sample oriented, air-dry; 2 — saturated with ethylene glycol; 3 — reflex 060. Reflexes are given in angstroms — Å.

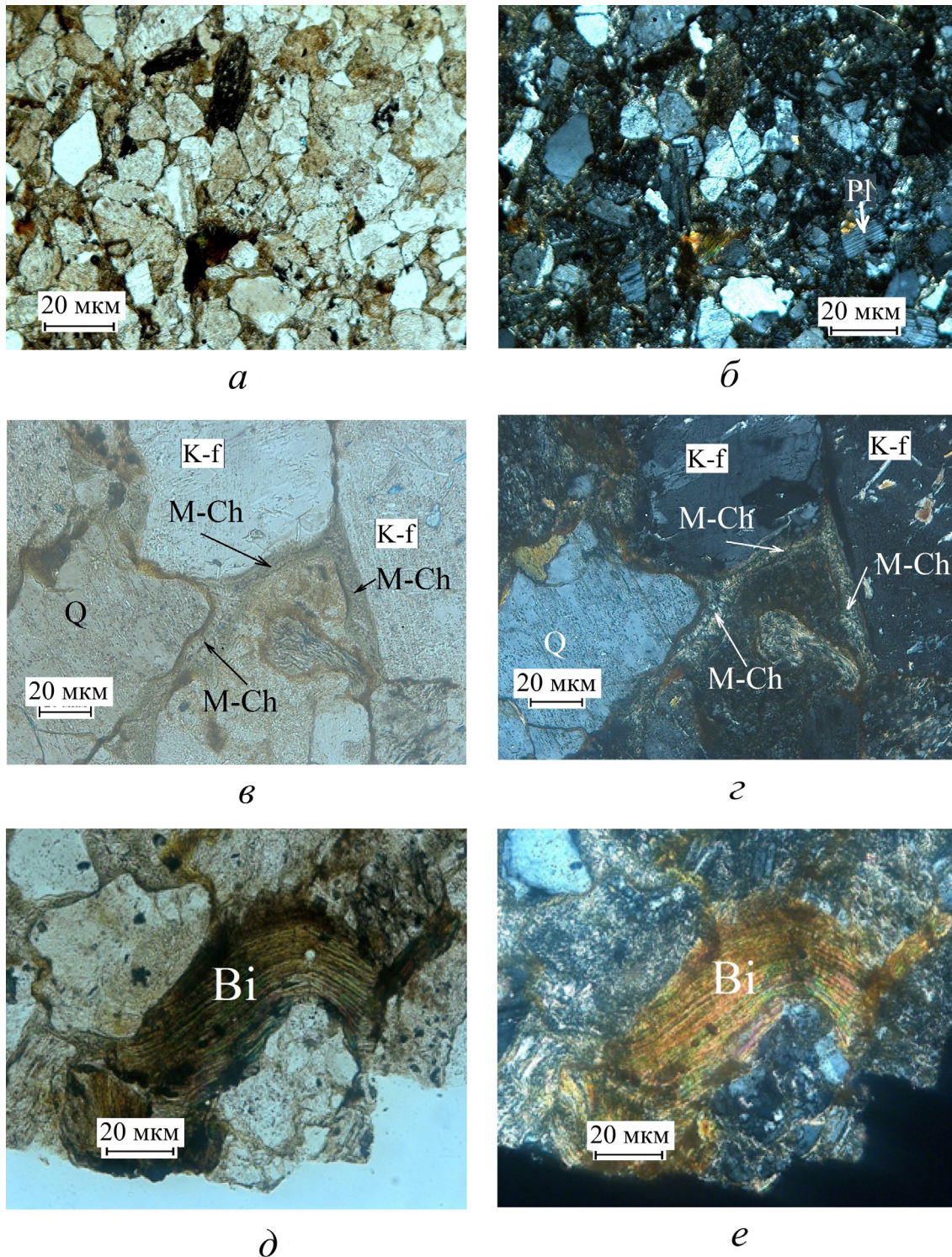
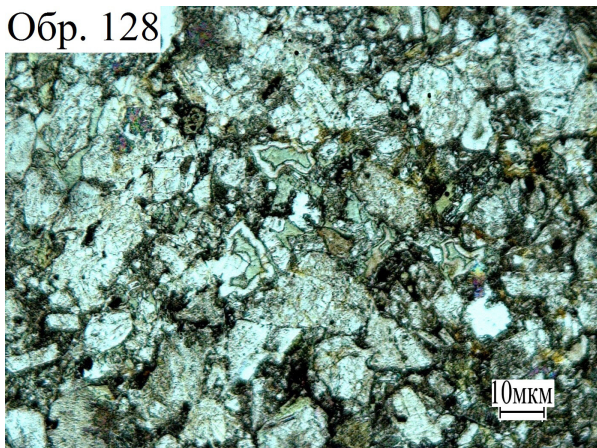
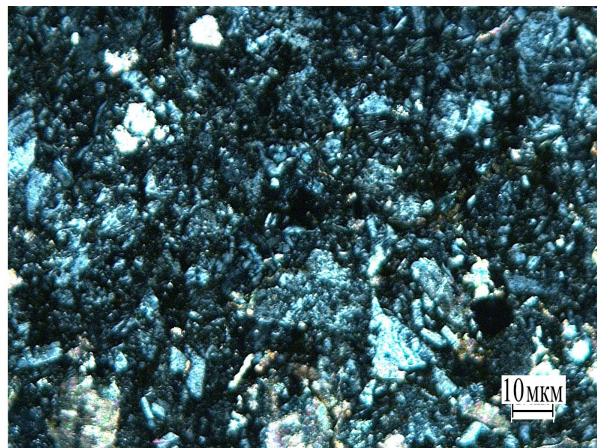


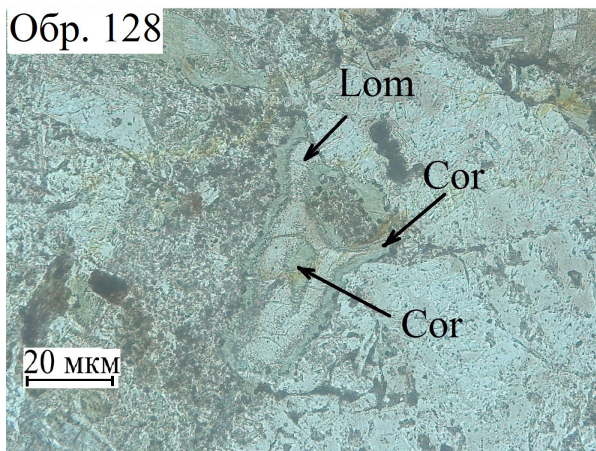
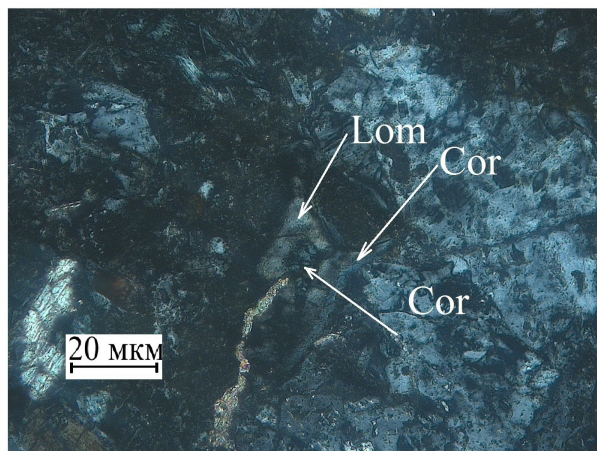
Рис. 3. Микрофотографии шлифа образца 139. Линзы песчаника в туфогравеллите, содержащие смешанослойный высокоупорядоченный неразбухающий минерал слюда-хлорит (предположительно липовецкая свита, нижний мел); *a, в, д* — николи параллельны: *a* — общий план, видны слабо измененные зерна минералов и обломков пород; *в* — тип пленочного цемента, характерного для этого образца; *д* — обломок слабо-измененного (ожелезненного) биотита; *б, з, е* — николи скрещены. Буквенные обозначения: Bi — биотит; M-Ch — смешанослойный слюда-хлорит; K-f — калиевый полевой шпат; Pl — плагиоклаз; Q — кварц.

Fig. 3. Micrographs of a thin section of sample 139. Sandstone lenses in tuff-gravellite containing a mixed-layered, highly ordered, non-swelling mica-chlorite mineral (presumably from the Lipovtsy Formation, Lower Cretaceous); *a, в, д* — parallel nicols: *a* — general view, showing slightly altered grains of minerals and rock fragments; *в* — type of film cement characteristic of this sample; *д* — a fragment of slightly modified (iron-rich) biotite in transmitted light; *б, з, е* — nicols crossed. Letter designations: Bi — biotite; M-Ch — mixed-layer mica-chlorite; K-f — k-feldspar; Pl — plagioclase; Q — quartz.

Обр. 128

*a**б*

Обр. 128

*в**г*

Обр. 178

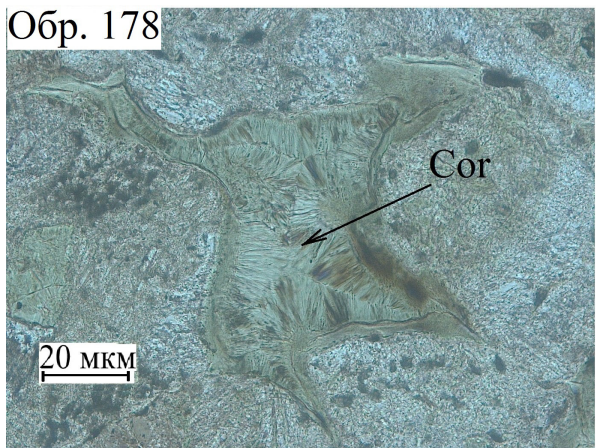
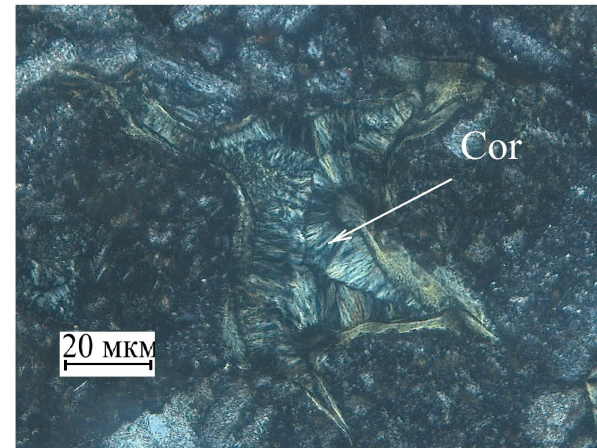
*д**е*

Рис. 4. Микрофотографии шлифов образцов туфопесчаников 128 и 178. Образец 128 — туфопесчаник, содержащий корренсит (Cor) и ломонтит (Lom) (галенковская свита, нижний мел). Образец 178 — пора выполнена корренситом (липовецкая свита, нижний мел); *a, б, в, г* — пример высокой степени изменения обломков и зерен пород образца 128, цемент коррозионный и заполнения пор, а также стадии выделения ломонтита — тонкая каемка корренсита, затем ломонтит и снова корренсит; *д, е* — образец 178, игольчатый корренситовый поровый цемент.

Fig. 4. Micrographs of thin sections of tuffaceous sandstones, samples 128 and 178. Sample 128 contains corrensite (Cor) and laumontite (Lom) (Galenki Formation, Lower Cretaceous); Sample 178 contains pore-filling corrensite (Lipovtsy Formation, Lower Cretaceous); *a, б, в, г* — Sample 128 is an example of a high degree of alteration of rock fragments and grains, corrosive pore-filling cement, as well as of the stages of laumontite extraction (thin rim of corrensite, then laumontite, and again corrensite); *д, е* — Sample 178, needle-shaped corrensite pore cement.

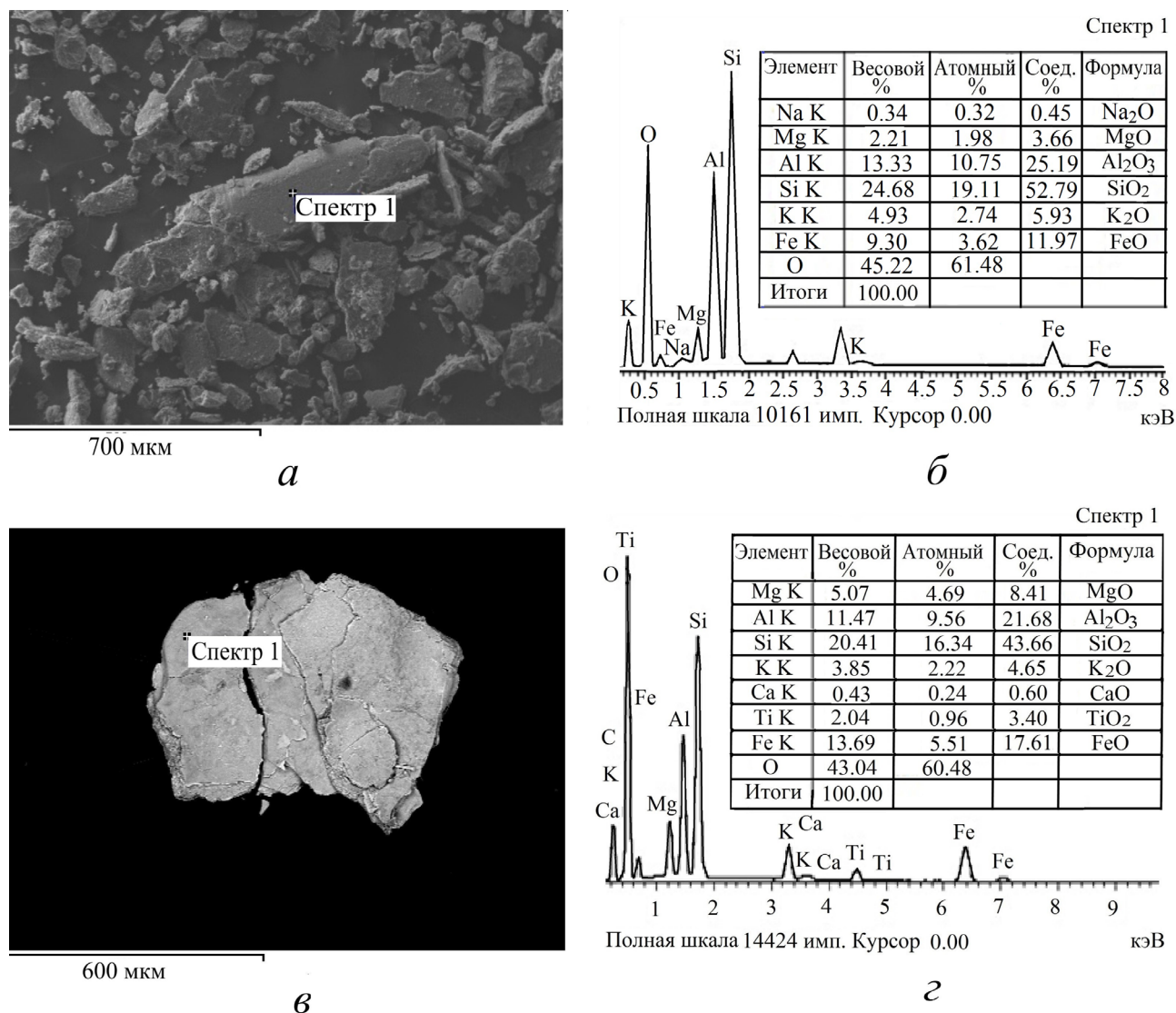


Рис. 5. Микрофотографии глинистого цемента и чешуек биотита (СЭМ) Буквенные обозначения: а — глинистый цемент; в — чешуйки биотита; б, г — энергетические спектры (б) и химический состав (г) в точках опробования.

Fig. 5. Micrographs of SEM images of clay cement and biotite flakes. а — clay cement; в — biotite flakes, б, г — energy spectrum (б) and chemical composition (г) at the sampling point.

содержащихся в слое туфогравелита, так и в самом слое. Цемент туфогравелита, кроме смешанослойного минерала, содержит ломонтит, а в линзах песчаника его нет. В привлеченных для сравнения образцах туфо-песчаников отмечается корренсит (рис. 2в, 4д, 4е; обр. 178), а в обр. 128 поры с ломонтитом и корренситом (рис. 2б, 4а-г).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изученные в шлифах образцы отличаются как составом обломочной части, так и типом цемента. Очевидно, что они формировались в различных обстановках осадконакопления. В линзах хорошо отсортированного аркозового песчаника источником КППШ, кварца, плагио-

клаза и темноцветов являлись кислые породы «коры континентального типа».

Продукты их разрушения, вероятно, отлагались в мелководной обстановке опресненного водоема или в коротком водотоке (хорошо отмытые, слабо окатанные зерна с пленочным типом цемента). Слабо измененные (таблица), не окатанные, ожелезненные чешуйки биотита (рис. 3д, 3е) свидетельствуют об «окислительной обстановке», близости суши (волноприбойная зона?) и о невозможности формирования цемента за счет биотита (малое количество чешуек, слабая степень изменения).

Образцы песчаников, привлеченные для сравнения, относятся к грауваккам. Обломки средних эффузивных пород, которые вместе с плагиоклазами (андезин?) слабо окатаны,

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Химический состав (масс. %) цемента, зерен биотита и их структурные формулы

Chemical composition of cement, biotite grains and their structural formulas

Элемент	Цемент	Зерна биотита	Химический анализ	
	Среднее из n=27	Среднее из n=6	Биотит*	Биотит**
Na ₂ O	1.18	-	-	-
MgO	4.81	7.30	23.24	0.3 – 28
Al ₂ O ₃	25.53	15.30	11.76	9.5 – 31.5
SiO ₂	52.50	39.80	41.58	33 – 45
K ₂ O	4.43	2.27	10.86	4.5 – 8.5
FeO	11.43	31.30	8.29	2.8 – 27.5
Fe ₂ O ₃	-	-	-	0.3 – 20.5
H ₂ O	-	-	3.64	6 – 11.5
F	-	-	1.10	-
Na	0.15	-	-	-
Mg	0.46	0.82	-	-
Al	1.94	1.37	-	-
Si	3.38	3.02	-	-
K	0.36	0.22	-	-
Fe	0.61	1.98	-	-

*Биотит — Mineral Data (webmineral.com)

* $\text{KMg}_{2.5}\text{Fe}^{2+}_{0.5}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_{1.75}\text{F}_{0.25}$

**Биотит — Wikipedia (wikipedia.org)

** $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}, \text{F}]_2$

интенсивно изменены и скреплены в основном корренситовым цементом, который «разъедает» их границы. Кварц, чешуйки слюды и другие темноцветы в этих породах не наблюдаются, но кварц рентгенографически определяется по рефлексам 4.26 и 3.34 Å (рис. 2б, 2в). Возможно, он присутствует в токозернистых обломках пород. Цемент туфогравелита, вмещающего песчаные линзы, содержит неразбухающий минерал и ломонтит, в то время как в линзах ломонтита нет.

В образце 178 из липовецкой свиты игольчатый корренсит полностью выполняет поры (рис. 4д, 4е). Поровый цемент присутствует и в образце 128 из галенковской свиты, но там он концентрически зональный — глинистый минерал перемежается с ломонтитом (рис. 4а–г). Вероятно, слой туфогравелита сформировался при смене фациальной обстановки, при обмелении морского бассейна, либо местной трансгрессии и опреснении водоема. Возможна также и смена температурного режима (похолодание?). Присутствие песчаных линз без ломонтита можно объяснить размывом ранее сформировавшихся некрепких пород и перемещением их в зону отложения туфогравелитов (возможно олистострома). Признаки внутриформационного размыва в

породах никанской серии были описаны в работе (Mozherovsky, 2021).

Поскольку ломонтит был встречен только в галенковской свите, то можно выдвинуть два предположения: либо породы, из которых отобраны эти образцы, относятся к галенковской свите, либо ломонтит встречается и в липовецкой свите.

Ранее (Можеровский, 2021, 2023; Mozherovsky, 2021, 2022) было высказано предположение, что отложения, содержащие корренсит и ломонтит, могут служить реперными горизонтами при стратиграфических построениях и быть важными физико-химическими индикаторами среды осадконакопления.

Присутствие ломонтита в отложениях липовецкой свиты с одной стороны несколько усложнит интерпретацию полученных данных, а с другой — существенно ее расширит. В случае нахождения ломонтита в породах липовецкой свиты вероятны существенные поставки кальция в бассейн осадконакопления, которые могли осуществляться не только в галенковское, но и в липовецкое время. Другие отложения липовецкой и галенковской свит, содержащие в цементе корренсит, скорее всего формировались в обстановках близких к аридным.

ВЫВОДЫ

В результате выполненных исследований мы можем предположить, что высокоупорядоченный смешанослойный слюда-хлорит образовался в процессе эпигенеза осадков галенковской свиты, часть которых (слой туфогравелита), возможно, отлагались вдоль береговой черты опресненного бассейна при колебании уровня поверхности и температурного режима, а песчаные линзы либо сформировались ранее и в виде реликтов могли попасть в более молодые отложения (олистострома?), либо появились в результате перемыва в галенковское время, что менее вероятно, судя по аркозовому минеральному составу обломков.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы ТОИ ДВО РАН № 124022100084-8.

Список литературы [References]

- Анохин В.М., Рыбалко В.И., Аленичева А.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1000000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист К-(52), 53. Владивосток. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, Россия, 2011. 332 с. [Anohin V.M., Rybalko V.I., Alenicheba A.A. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1000000 (tret'e pokolenie). Seriya Dal'nevostochnaya. List K-(52), 53. Vladivostok. Sankt-Peterburg. Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2011. 332 p. (in Russian)].
- Булах А.Г. Руководство и таблицы для расчета формул минералов. Москва: Недра, 1967. 144 с. [Bulah A.G. Rukovodstvo i tablitsi dliya rascheta formul mineralov. Moscow: Nedra, 1967. 144 p. (in Russian)].
- Дриц В.А., Коссовская А.Г. Сангарит — новый минерал с упорядоченной смешанослойной структурой // Доклады Академии наук СССР. 1963. Т. 151. № 4. С. 934–937 [Drits V.A., Kossovskaya A.G. Sangarite, a new clay mineral with ordered mixed-layer structure // Doklady Akademii nauk SSSR. 1963. V. 151. № 4. P. 934–937 (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)].
- Коссовская А.Г., Шутов В.Д., Муравьев В.П. Мезозойские и верхнепалеозойские отложения Западного Верхоянья и Вилюйской 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)].
- Можеровский А.В. Аутигенные минералы вулканогенно-осадочных пород палеозойско-кайнозойского возраста Южного Приморья // Тихоокеанская геология. 2021. Т. 40. № 6. С. 100–110. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2021-40-6-100-110> [Mozherovsky A.V. Authigenic minerals of paleozoic—cenozoic volcanogenic-sedimentary rocks in the Southern Primorye Region // Russian Journal of Pacific Geology. 2021. V. 15. № 6. P. 583–601. <https://doi.org/10.1134/s1819714021060075>].
- Можеровский А.В. Аутигенные минералы в фанерозойских вулканогенно-осадочных отложениях северной части зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2023. № 3 (59). С. 104–118. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2023-3-59-104-118> [Mozherovsky A.V. Authigenic Minerals in Phanerozoic Volcanosedimentary Deposits of the Northern Part of the Asian Continent—Pacific Ocean Transition Zone // Russian Journal of Pacific Geology. 2024. V. 18. Suppl. 1. P. S55–S66. <https://doi.org/10.1134/S1819714024700209>].
- Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification / Eds. G.W. Brindley, G. Brown. London: Mineralogical Society of Great Britain and Ireland, 1980. P. 305–360. <https://doi.org/10.1180/mono-5>
- Moore D.M., Reynolds R.C. X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. New York: Oxford University Press, 1997. 400 p.
- Mozherovsky 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. Iss. 8. Art. no. 840. <https://doi.org/10.3390/min11080840>
- Mozherovsky 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. Iss. 7. Art. no. 909. <https://doi.org/10.3390/min12070909>
- Mozherovsky 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. Iss. 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

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
MINERALOGICAL FEATURES
OF THE LOWER CRETACEOUS ROCKS FORMATION
OF THE DE-FRIZ PENINSULA (SOUTHERN PRIMORYE, RUSSIA)

A.V. Mozherovsky¹, N.N. Barinov²

¹*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, Russia; e-mail: manatoly@poi.dvo.ru*

²*Far East Geological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia;
e-mail: nickolai.barinov2013@yandex.ru.*

Received December 09, 2025; revised April 04, 2026; accepted June 27, 2026

Based on the mineral composition of the cement in the volcanogenic-sedimentary Lower Cretaceous rocks of the Lipovtsy and Galenki formations (Nikanka Series) on the De-Friz Peninsula (near Vladivostok, South Primorye, Russia) it was suggested that some of these rocks formed in shallow-water marine environments under conditions close to arid ones, and that the presence of corrensite in the Lipovtsy Formation, and the association of corrensite with laumontite in the Galenki Formation may have important stratigraphic significance for refining the Early Cretaceous age boundaries. The mineral composition of the cement in one of the sandstone samples is unusual. It consists of a layered silicate that does not swell when treated with organic solvents. This is the first time such a mineral has been discovered in volcanogenic-sedimentary rocks in the northwestern part of the transition zone from the Asian continent to the Pacific Ocean. It is proposed that it formed during the epigenesis of the Galenki Formation sediments, which were deposited along the shoreline of a desalinated basin level fluctuation and temperature conditions changing.

Keywords: mixed-layer mica-chlorite mineral, Lower Cretaceous, Primorye, Russia.