



## ГЕОЛОГИЯ

УДК 552.57+551.251

### О связи стадий преобразования органического вещества углей и минеральных компонентов межугольных аркозовых песчаников (на примере Ленского и Иркутского бассейнов)

А. Д. Коробов, Л. А. Коробова

Коробов Александр Дмитриевич, доктор геолого-минералогических наук, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, korob@yandex.ru

Коробова Людмила Александровна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, korob@info.sgu.ru

В процессе исследования впервые установлена прямая связь вторичных изменений пород, вмещающих угли, со степенью метаморфизма самих углей. Доказано, что при тектонической обстановке, обуславливающей сочетание низкотемпературной пропилитизации в аркозовых песчаниках и степени углефикации Г и Ж самих каустобиолитов, возникает геохимическое равновесие в системе «органическое вещество углей – минеральное вещество песчаников». При ослаблении уровня метаморфизма углей такое равновесие сменяется состоянием геохимических противоречий, что выражается в каолинизации и выщелачивании пропилитов.

**Ключевые слова:** угленосный бассейн, марки углей, газоводный флюид, углекислый газ, межугольные песчаные пласты, цеолитовые пропилиты, аутигенный каолинит, гидротермальный процесс.

Поступила в редакцию: 28.10.2019 / Принята: 10.02.2020 / Опубликована: 01.06.2020

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

**The Relation between the Stages of Organic Matter Transformation in Coals and Mineral Components of Inter-Coalarkosesandstones (an the Example of Lena and Irkutsk Basins)**

A. D. Korobov, L. A. Korobova

Alexander D. Korobov, <https://orcid.org/0000-0002-9497-5030>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, korob@yandex.ru

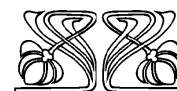
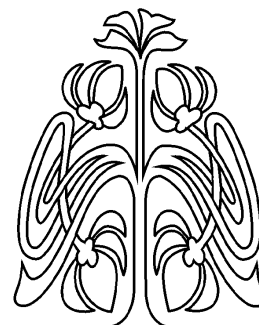
Lyudmila A. Korobova, <https://orcid.org/0000-0001-5900-7010>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, korob@info.sgu.ru

The research has first revealed the direct relation between the secondary changes in the coal-inclosing rocks and the metamorphosis degrees of the coals themselves. Geochemical balance has been proved to develop within the “coal organic matter – sandstone mineral matter” system in tectonic environments providing combination of low-temperature propylitization in arkose sandstones and caustobiolith coalification ranks of G and F. With decreasing levels of coal metamorphism, this balance is substituted with the state of geochemical collisions, which is manifested in kaolinization and propylite leaching.

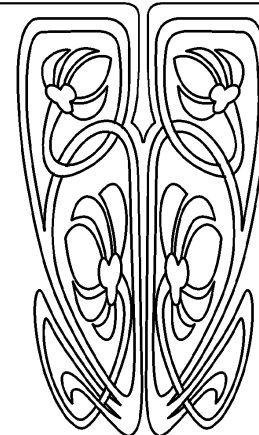
**Keywords:** coal-bearing basin, coal ranks, gas-water fluid, carbon dioxide, inter-coalsand layers, zeolite propylites, authigenic kaolinite, hydrothermal process.

Received: 28.10.2019 / Accepted: 10.02.2020 / Published: 01.06.2020

© Коробов А. Д., Коробова Л. А., 2020



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-2-109-118>

### Постановка задачи

Благодаря методу определения отражательной способности витринита появилась возможность выявления стадий углефикации не только концентрированного органического вещества (ОВ) в пластах, но и рассеянного ОВ в породах, а также рассмотрения этих стадий как количественно выраженного индикатора стадий минерального преобразования осадочных пород. Однако при этом необходимо знать, что обладает большей чувствительностью к изменению термодинамических условий – ОВ углей или минералы вмещающих их осадочных пород – и, как следствие, где четче и быстрее проявятся следы постдиагенетической перестройки.

Многие ученые уверены в том, что органическое вещество углей более чувствительно к изменению температуры, чем минеральные компоненты терригенных пород. Благоприятным фактором преобразования таких пород на угольных месторождениях считается высокое содержание ОВ, трансформация которого при литогенезе погружения генерирует значительное количество  $\text{CO}_2$ . На рассмотрении этого чрезвычайно важного обстоятельства необходимо остановиться более подробно.

Общеизвестно, что торф содержит 85–90% воды. Его трансформация и переход в бурый, а затем каменные угли и антрациты сопровождаются потерей большого количества механически связанной воды, а также газов, т. е. имеет место интенсивная дегазация. Формирующиеся угольные пласты являются мощным источником воды, углекислоты, метана, в значительной степени сероводорода и других газов. Очень важным представляется тот факт, что набор летучих, составляющих основную часть потерь в ходе преобразования углей, заметно меняется: на стадиях торфа и бурого угля теряется главным образом  $\text{CO}_2$ , тогда как на стадиях антрацита – метан.

Уголь по устоявшимся взглядам является сложным органическим соединением. Его метаморфизм в свете этих воззрений представляется процессом поликонденсации, т. е. образования конденсированных ароматических систем и обрыва боковых радикалов, веществ которых удаляется из угля в виде воды и газов, преимущественно  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ . Сказанное обеспечивает необратимость данного процесса.

Потеря летучих метаморфизирующимися углями происходит в основном из органического вещества (седикахитов) арконового типа (СКар), наиболее распространенным мацералом которого является витринит. Витринит, как известно, является важнейшим элементом углемарочной

шкалы. Именно поэтому в своих дальнейших рассуждениях мы будем рассматривать особенности процесса газообразования из СКар, основные этапы которого в цикле литогенеза фиксируются по изменению состава и интенсивности выделения летучих продуктов углефикации и привязаны к углемарочной шкале (рис. 1). Таким образом, показателем метаморфизма углей может служить не только степень деструкции ОВ (марка угля), но и соответствующее ей количество отделяющегося газодонного флюида с конкретным балансом между  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ .

Сжимаясь и уплотняясь под действием возрастающей геостатической (геодинамической) нагрузки, увеличивая уровень восстановленности (карбонизации) за счет нарастающего прогресса, газоводные флюиды в участки относительно низкого давления. Таковыми являются пласты-коллекторы, т. е. песчаники, песчано-гравийные породы, которые залегают между угленосными пачкам и свитами. Нагретый газодонный флюид включается в гидротермальный процесс, действующий в упомянутых пластах-коллекторах. Следовательно, угленосные толщи и переслаивающиеся с ними песчаники из безугольных частей разреза необходимо рассматривать как геологическое пространство единой гидротермальной системы, минерагенез которой во многом определяется не только температурой, но и составом отделяющихся от каустобиолитов летучих. Однако при рассмотрении данной проблемы геологи, к сожалению, не всегда и не в полной мере учитывают участие этого флюида в преобразовании пород-коллекторов. Более того, они игнорируют меняющийся состав его летучих компонентов, который является функцией уровня карбонизации углей (см. рис. 1). Это привело к тому, что большинство геологов признает отсутствие прямой коррелятивной зависимости характера преобразования терригенных толщ от метаморфизма заключенных в них углей.

При рассмотрении данной проблемы возникает вопрос об участии горячего газодонного флюида в формировании метасоматитов по песчаникам. Чтобы оценить роль флюида в данном процессе, необходимо выяснить, как влияет состав летучих ( $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ ), отделяющихся от углей разных марок в процессе метаморфизма, на онтогенез вторичных минералов в межугольных коллекторах. Прекрасным примером этого является наложенная ломонтитизация песчаников (гравийно-песчаных пластов), которая широко распространена на месторождениях с неодинаковой степенью метаморфизма углей и рассматривается как проявление низкотемпературной цеолитовой пропилитизации.

Наблюдения показывают (см. рис. 1), что ломонтит цемента песчаников ассоциирует с бурыми и длиннопламенными (Иркутский угольный бассейн), длиннопламенными и газовыми (восточная часть Пенжинской губы, Камчатка), длин-

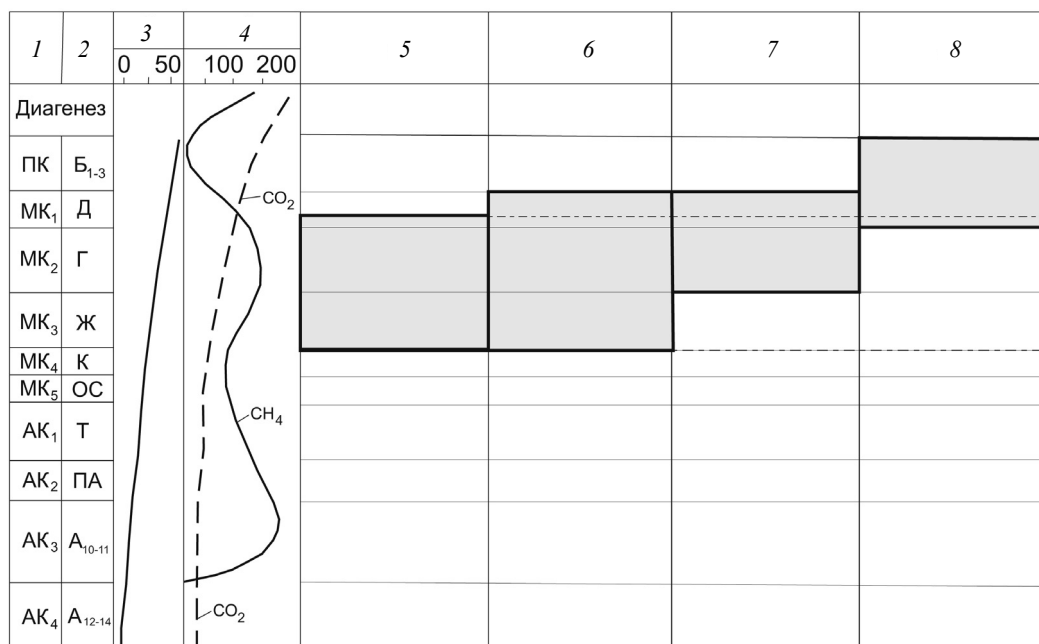


Рис 1. Цеолитовые пропилиты междуугольных коллекторов, ассоциирующие с карбонизированными и потерявшими летучие компоненты углями: 1 – градации катагенеза; 2 – марки углей по шкале Донбасса; 3 – выход летучих, % [1]; 4 – количество удаляющихся углеродсодержащих продуктов углефикации, м<sup>3</sup>/т г. м [1]; 5 – 8 – угольные бассейны, районы, месторождения: 5 – Ленский [2–4]; 6 – Печорский, реки Сильвая и Косью [3, 5]; 7 – полуостров Елистратова, руч. Конгломератовый, восточная часть Пенжинской губы [3, 6]; 8 – Иркутский, Прииркутская впадина [3–8]

нопламенными, газовыми и жирными (Печорский бассейн) углями. В Ленском угольном бассейне ломонтит, как правило, присутствует в парагенезисе с газовыми и жирными углями. Напомним, что в ходе преобразования углей сильно меняется состав отделяющихся летучих. В первую очередь надо отметить большое количество углекислоты в составе газовой флюиды на ранней стадии карбонизации и его резкое сокращение в дальнейшем. Поведение метана в общем противоположное (см. рис. 1). При этом важно подчеркнуть, что роль CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в эпигенезе не равнозначна. Углекислота, являясь наиболее распространенным газовым компонентом гидротермальных растворов, оказывает самое существенное влияние на величину pH, Eh и их изменение, обеспечивая условия переноса и отложения присутствующих в минералообразующей среде компонентов. Но особенно велика роль CO<sub>2</sub> в контроле щелочности термальных вод. CO<sub>2</sub> наряду с температурой закономерно контролирует распределение эпигенетической каолинизации, карбонатизации и цеолитизации (ломонтитизации) междуугольных коллекторов. Метан же химически не активен, практически не окисляется, плохо растворяется в воде, его участие в гидротермальном минералообразовании весьма скромное.

В литературе практически не освещен вопрос о степени метаморфизма каустобиолитов в границах выделяемых метасоматических формаций междуугольных песчаников. Поэтому цель настоящей статьи – выяснить, какой уровень карбонизации

углей способствует развитию низкотемпературной пропилитизации в междуугольных аркозовых песчаниках и как отклонение от данного уровня скажется на судьбе цеолитовых пропилитов. Это позволит подойти к решению важнейшего вопроса, касающегося прямого сопоставления стадий изменения углей и вмещающих их пород в широком термодинамическом диапазоне. В качестве примера рассмотрим Ленский угольный бассейн (марки углей К, Ж, Г) и Иркутский бассейн (марки углей Д<sub>1</sub> и Б<sub>3</sub>).

#### Пропилитизация в междуугольных песчаниках Ленского бассейна. Марки углей К, Ж и Г

Марки углей и состав аутигенных цеолитов: общие закономерности

Во внутренней зоне Приверхоанского краевого прогиба юрско-меловые угли подверглись региональному динамометаморфизму, нарастающему с приближением к складчатой области от стадии переходной от бурых к длиннопламенным (БД) до стадии Г. На всех крупных антиклиналях проявился еще и локальный динамометаморфизм до стадий Ж и К [9]. Это явилось отражением особой тектонической обстановки, в которой формировался Ленский угленосный бассейн. Тектонический режим контролировал повышение температуры до определенного уровня, который сохранялся в пределах отдельных территорий.



Рост температуры – главного фактора карбонизации углей – обуславливался динамометаморфизмом (боковым давлением) в сочетании с глубиной погружения ([10] и др.). В итоге это привело к возникновению четко выраженных протяженных зон (рис. 2), в которых локализованы определенные формации меловых отложений, характеризующихся разными условиями осадконакопления, спецификой постдиагенетического изменения и степенью восстановленности углей.

Так, в зоне, где залегают газовые (Г) и жирные (Ж) (паровично-жирные П-Ж) угли (пос. Сангары, Булун, месторождение Чай-Тумус), в цементе переслаивающихся с ними песчаников из безугольных частей разреза широко развит аутигенный ломонтит [11]. В зоне, где сосредоточены длиннопламенные (Д) или близкие к ним угли, в цементе песчаников присутствуют как ломонтит в ассоциации с эпидесмином (Оленекский район, р. Чарчык), так и один эпидесмин (к северо-западу от пос. Жиганск). В зоне, где залегают переходные от бурых к длиннопламенным разностям угли, в цементе песчаников могут развиваться эпидесмин (нижние горизонты тимирдяхской свиты) и гейландит (верхние горизонты тимирдяхской свиты, р. Леписке). Наконец, на участках, где распространены только бурые (Б) угли, цеолиты не обнаружены в цементе песчаников ([11] и др.).

Приведенные данные говорят о том, что в четко выраженных геотермических зонах Ленского бассейна устанавливается достаточно строгая взаимосвязь марок углей и состава аутигенных цеолитов в цементе межугольных пластов-коллекторов: Г, Ж (ломонтит) → Д (ломонтит + эпидесмин) → БД (эпидесмин + гейландит) → Б (цеолиты отсутствуют). Важно подчеркнуть, что такая зональность в развитии цеолитов присуща гидротермальным системам.

Анализ литературных данных [2–4, 11–13] показал, что нижнемеловые песчаники испытали интенсивное изменение, которое можно отнести к процессам пропилитизации. Среди формации пропилитов выделяются низкотемпературная (200–290°C) с цеолитовой и трансильванской фациями и среднетемпературная (290–380°C) фации. Последняя встречается редко и наблюдается на ограниченной территории. Рассмотрим подробнее каждую из упомянутых фаций.

#### Коксовые угли

**Среднетемпературные пропилиты.** По данным ([11] и др.), в нижнемеловых угленосных отложениях района пос. Сангары, р. Чечумы и Леписке встречены участки, где залегают коксовые (К) угли (см. рис. 2). В переслаивающихся с ними песчаниках в числе аутигенных минералов широко развиты гидрослюды (иллиты), серицит и кварц. А. Г. Коссовская [4] среди этой ассоциации отмечает новообразованные эпидот и альбит. Перечисленные минералы являются главными компонентами среднетемпературных пропилитов.

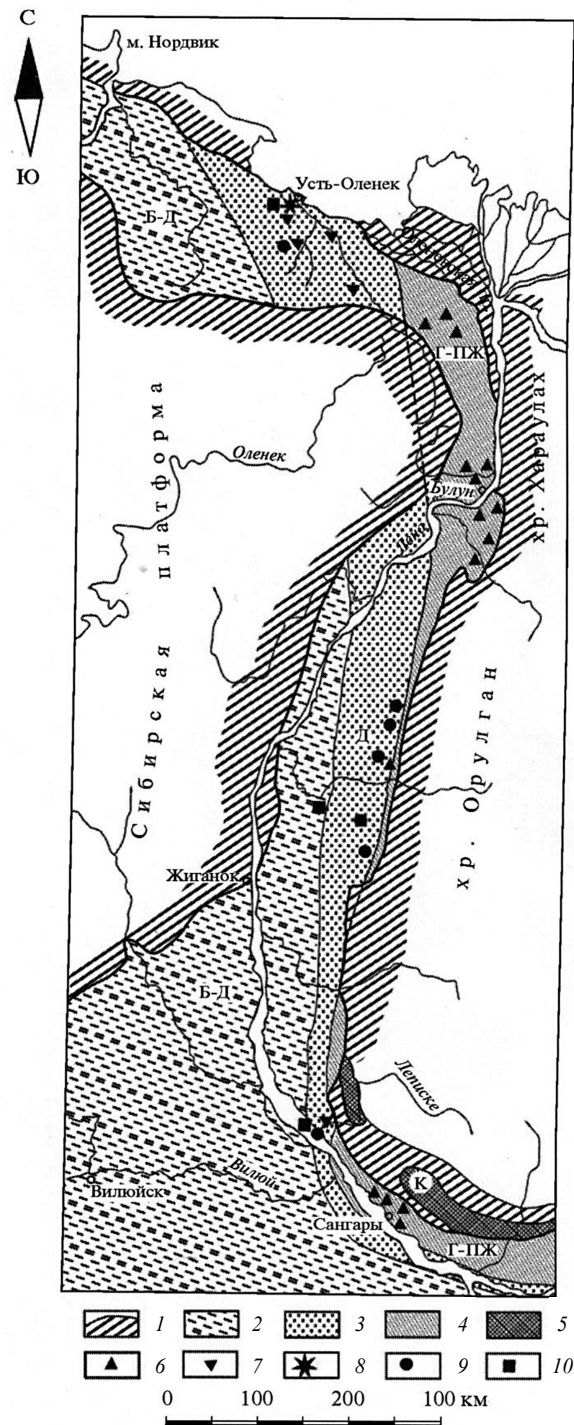


Рис. 2. Схематическая карта месторождения цеолитов в меловых отложениях севера Якутии [2, 7]: 1 – границы распространения меловых отложений; 2–5 – зоны меловых отложений с углями разной степени углефикации: 2 – приплатформенная – угли Б-Д, 3 – промежуточная – угли Д, 4 – предгорная – угли Г-ПЖ, 5 – предгорная – угли К, 6–10 – участки распространения песчаников с различными цеолитами: 6 – с большим количеством ломонтита, 7 – с малым количеством ломонтита, 8 – с десмином, 9 – с эпидесмином, 10 – с гейландитом



В шлифах можно видеть, как гидротермальный эпидот развивается по плагиоклазам. А. Г. Коссовская [4] описывает так называемые «сетчатые» эпидотизированные вторичные альбиты, имеющие массовое распространение в нижних интервалах меловых отложений. По мнению Т. М. Пчелиной [13], новообразованные эпидот и цоизит в песчано-алевритовых породах чонгургасской и эксеняхской свит возникли за счет перекристаллизации аллотигенных зерен этих же минералов.

Особого внимания заслуживает серицит. Он характерен для верхней части джаской свиты, развитой в районе пос. Сангары. Наибольшее его количество наблюдается в прослоях среднезернистых песчаников. Серицит образует мелко- и крупночешуйчатые агрегаты часто сноповидной формы. Минерал выполняет поры, реже встречается в виде оторочек. Серицит формируется по гидрослюдистому цементу, плагиоклазам и биотиту. В песчаниках, содержащих высокий процент серицитового цемента, наблюдается и наибольшая степень серицитизации плагиоклазов. Местами они настолько сильно изменены, что сливаются с серицитовым цементом. Важно подчеркнуть, что серицит присутствует только в тех разрезах, в которых наблюдается наибольшая для Приверхоянья степень метаморфизма углей марки К [13].

В менее глубоких горизонтах междуугольных пластов серицит начинает уступать место иллиту, появляются новые вторичные минералы, падает уровень карбонизации углей. При этом сначала появляются участки, где пространство всех пор выполнено вторичной гидрослюдой. В дальнейшем отмечаются песчаники (Чай-Тумусское месторождение), у которых внутренняя часть одних пор сложена иллитом, а других – ломонтином [2, 12]. Постепенно цеолит захватывает господствующее положение среди аутигенных минералов междуугольных аркозовых песчаников, и наблюдается переход к низкотемпературным пропилитам.

#### *Газовые и жирные угли*

Низкотемпературные пропилиты. Цеолитовая фация. По данным Т. М. Пчелиной [13] и А. Г. Коссовской [4], в нижнемеловых угленосных отложениях района пос. Сангары, Булун, месторождения Чай-Тумус располагается узкая, но весьма протяженная зона, где залегают газовые (Г) и жирные (Ж) (паровично-жирные (П-Ж)) угли (см. рис. 2). В переслаивающихся с ними песчаниках ломонит слагает цемент коллекторов. В алевролитах этот минерал встречается крайне редко. Песчаники с ломонитовым цементом образуют прослои толщиной от 3 до 140 м и распространены в отложениях мощностью 2500 м, которые прослеживаются по простиранию прогиба на расстояние свыше 1000 км. Наибольшая толщина отложений, содержащих песчаники с ломонитовым цементом, наблюдается в сангарском и чечумском разрезах.

Количество ломонита в песчаниках колеблется от 1 до 15%, изредка достигая 20–30%. Обычно такие песчаники имеют порово-пленочную структуру цемента, в которой терригенные зерна и внешняя часть пор оконтурены тонкой хлоритовой оторочкой, а центральная часть пор выполнена ломонитом.

Ломонит является очень «агрессивным» минералом, образующим специфические структуры метасоматического замещения в песчаниках. Он интенсивно развивается за счет полевых шпатов, аллотигенных зерен эпидота, биотита, роговых обманок, граната, ортита, ильменита и в единичных случаях кварца. Иногда образует сплошные участки цемента, в котором «запечатаны» сохранившиеся кристаллы. Нередко ломонит почти полностью замещает терригенные зерна, тогда о первичной форме минералов можно судить лишь по тонкой хлоритовой оторочке, оконтуривавшей прежний обломок. Важно отметить, что при рассмотрении ломонита Приверхоянья как продукта катагенеза А. Г. Коссовская [4] подчеркивает большую схожесть его с ломонитом гидротермального происхождения по оптическим свойствам и химическому составу.

Низкотемпературные пропилиты. Трансильванская фация. Наиболее ярко процесс возникновения этой фации проявился в той же зоне, в которой залегают газовые (Г) и жирные (Ж) (паровично-жирные (П-Ж)) угли. Он выражается в кальцитизации разных ингредиентов терригенных пород-коллекторов. Кальцит содержится в цементе песчано-алевритовых отложений в количестве от долей процентов до 30%. Преобладает зернистый, изредка пелитоморфный минерал. Он выполняет поры, реже образует порово-базальную и базальную, нередко пойкилитовую структуру. Кальцит интенсивно развивается по всем обломочным зернам, в том числе и аксессуарным минералам (апатит, гранат, эпидот), зачастую полностью замещая их. Нередко оторочкой вокруг терригенного материала служит хлорит, изредка монтмориллонит [13].

Важно отметить, что характер карбонизации терригенных пород удивительно напоминает особенности их цеолитизации. Многочисленные наблюдения свидетельствуют о том, что ломонит часто встречается вместе с кальцитом, причем нередко кальцит замещает ломонит.

Если расположить рассматриваемые зоны в ряд, отражающий ослабление уровня карбонизации углей (К → Ж, Г), то в междуугольных пластах ему будет соответствовать смена метасоматических фаций (таблица): среднетемпературные пропилиты → низкотемпературные пропилиты (цеолитовые и трансильванские). Такая же метасоматическая зональность развита в районах разгрузки гидротермальных систем. В этой связи надо подчеркнуть, что идею о сходстве формирования осадочного и гидротермального ломонита высказывали Н. Л. Добрецов с соавторами (1972 г.)



**Зависимость состава продуктов эпигенеза в цементе песчаников межугольных коллекторов от степени карбонизации углстого ОБ**

| Метасоматическая зональность |                       |                     |                         | Ленский угольный бассейн<br>(районы пос. Сангары, Булун, месторожд. Чай-Тумусское) |                  | Иркутский угольный бассейн<br>(Прииркутская впадина) |  |
|------------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|--|------------------|--|--|
|                              |                       |                     |                         | Марки углей  |                  |  |  |
| Формации                     | Фации                 | Минералы-индикаторы |                         | К  |                  | Ж, Г   |  |
|                              |                       |                     |                         | Количество удаляющегося CO <sub>2</sub> , /т г. м [1]                              |                  |  |  |
|                              |                       |                     |                         | $\frac{50,0 - 58,3}{54,2}$   |                  | $\frac{58,3 - 100,0}{79,2}$                          |  |
| Гидротермальные аргиллизиты  | Гидротермальные глины | Каолинит            |                         | Каолинит   |                  |  |  |
|                              |                       | Смектит             |                         |  |                  |  |  |
| Пропилиты                    | Низкотемпературные    | Трансильванская     | Кальцит                 | Кальцит  | Ломонтит, хлорит |  |  |
|                              |                       |                     | Цеолитовая              |  |                  |  |  |
|                              | Ломонтит              | Хлорит              |                         |  |                  |  |  |
|                              | Среднетемпературные   |                     | Эпидот, альбит, серицит | Ломонтит   |                  |  |  |
|                              |                       |                     | Эпидот, альбит, серицит |  |                  |  |  |

Примечание. В числителе приводятся минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

и В. Н. Дислер (1981 г.). В. И. Копорулин [3] также считает ломонтитовую минерализацию разновидностью гидротермальных образований, характерных для осадочных толщ. В силу вышесказанного ломонтит цемента песчаников района развития углей марок Ж и Г является естественным аутигенным минералом, который служит коррелятивом при сопоставлении и расчленении разрезов [2, 4, 11, 13 и др.]. Поэтому необходимо согласиться с А. Г. Коссовской, утверждающей, что ломонтит является характерным индикатором определенной степени катагенеза угленосных толщ, имеющих межугольные пласты аркозового состава, а сами породы следует отнести к так называемым ломонтитовым песчаникам.

Из этого вытекает важный вывод: в рассматриваемых случаях ход преобразования углей не нарушал развития процесса пропилитизации в ме-

жугольных аркозовых песчаниках. Следовательно, можно говорить о существовании в районах пос. Сангары, Булун, месторождения Чай-Тумус тектонической обстановки, которая обеспечивала в вышерассмотренных толщах геохимическое равновесие двух близко-одновременно протекавших преобразований: формирования углей марок Ж и Г, с одной стороны, и низкотемпературных пропилитов (цеолитовых и трансильванских) в терригенных породах – с другой. Ранее уже отмечалось, что во всех геотермических зонах Ленского бассейна выявлена достаточно строгая взаимосвязь марок углей и состава аутигенных цеолитов в цементе межугольных песчаников. Это позволяет рассматривать изменения в системе «органическое вещество углей – минеральное вещество песчаников» как единый геохимически равновесный процесс.



### Пропилитизация и последующие процессы эпигенеза в межугольных песчаниках Иркутского бассейна. Марки углей Д<sub>1</sub> и Б<sub>3</sub>

Иркутский (Черемховский) угольный бассейн в целом демонстрирует зависимость степени углефикации ниже-среднеюрских каустобиолитов от интенсивности тектонического напряжения [10]. На северо-западе породы почти не дислоцированы. Угли здесь бурые (Б) и переходные к длиннопламенным (Д). В центральной части (район г. Черемхово) угли преимущественно длиннопламенные (Д). Особый интерес представляет юго-восточная часть бассейна, где располагается Прииркутская впадина со значительно дислоцированными породами. По мнению В. С. Вышемирского [9], эта территория имеет свои характерные особенности. Угленосные отложения здесь пережили эпоху напряженного геотермического режима, в течение которой геотермический градиент был высоким, но весьма изменчивым по площади. Вследствие этого в разных районах Прииркутской впадины формировались угли разных марок – от Б<sub>3</sub> и Д<sub>1</sub> [3] до Г. Метаморфизм нарастает с глубиной, но в силу неравномерности своего проявления в разных районах одни и те же марки углей встречаются на неодинаковой глубине [10].

Мозаичный характер распределения геотермического режима Прииркутской впадины, видимо, привел к соседству и даже к пространственному совмещению слабо метаморфизованных каустобиолитов с более высокотемпературными цеолитовыми пропилитами аркозовых пластов-коллекторов. Именно поэтому в Прииркутской впадине на участках развития блестящих бурых (Б<sub>3</sub>) и длиннопламенных (Д<sub>1</sub>) углей в цементе переслаивающихся с ними песчаников из безугольных частей разреза В. И. Копорулин [7, 8] наблюдал широкое распространение аутигенного ломонтита. Это особым образом иллюстрирует различие хаотичной тектонической обстановки Прииркутской впадины и строго выдержанных, закономерно сменяющих друг друга тектонических зон Ленского угольного бассейна. Прежде всего это касается зоны интенсивного формирования новообразованного ломонтита, который, в отличие от анализируемой территории, ассоциирует с более карбонизированными (марки Г и Ж) углями.

В Прииркутской впадине Иркутского бассейна юрские терригенные породы заключают серию пластов каменных и бурых углей мощностью от 10–15 см до нескольких метров. Мощность всей толщи неодинакова – максимальна в центральных частях впадины (до 350–600 м) и сокращается на поднятиях до 100–150 м. Преобладают песчаники, значительно слабее развиты гравелиты, алевролиты, глинистые породы очень редки. Накопление угленосных отложений осуществлялось в континентальной обстановке. Песчано-гравийные породы угленосной толщи по вещественному составу

относятся к категории аркозов [8]. Это уникальный случай, когда цеолитовая пропилитизация в межугольных коллекторах сочетается с ранними стадиями (марки Б<sub>3</sub> и Д<sub>1</sub>) карбонизации самих углей. Сказанное нашло отражение в сложном взаимоотношении пропилитизации и гидротермальной аргиллизации во вмещающих терригенных толщах. Рассмотрим эти явления более подробно.

Низкотемпературные пропилиты. Цеолитовая фация. Минералообразующий процесс в межугольных песчано-гравийных коллекторах, по данным В. И. Копорулина [7, 8], сопровождался совместным возникновением ломонтита и хлорита. Интенсивной хлоритизации подверглись зерна биотита и полевых шпатов. Отмечается активная цеолитизация средних плагиоклазов (андезина, основного олигоклаза). Новообразованный ломонтит иногда полностью замещает полевошпатовые зерна и судить о них можно лишь по контурам, сложенным хлоритовой оторочкой. Крустификационная плёночка хлорита отчетливо фиксирует исходные грани обломков. В ряде случаев ломонтит интенсивно корродирует и замещает роговую обманку, эпидот, цоизит.

Цеолит в песчаниках и гравелитах выполняет все поры между обломочными зернами. Он возникает за счет преобразования седиментационного цемента и значительной части крупных чашуек биотита. В зонах активной пропилитизации крупные выделения ломонтита формируются уже на ранних этапах преобразования первичного цемента. Происходит стремительная перекристаллизация тонкодисперсного цеолитового материала с образованием монокристаллического ломонтита. Последний выполняет центральные части пор и окаймлен широкой пленкой смектита с хлоритовой пленкой на границе обломочных зерен. Размер кристаллов ломонтита обычно не превышает размера одной поры. При этом, когда крупные выделения цеолита охватывают несколько обломочных зерен, цемент приобретает пойкилитовую структуру [7, 8].

Дальнейшая эволюция эпигенеза в Прииркутской впадине проявляется в стремительном развитии каолинита. Это свидетельствует о резкой смене формации пропилитов формацией гидротермальных аргиллизитов, в частности фацией гидротермальных глин.

Фация гидротермальных глин. В. И. Копорулин [7, 8] утверждает, что последующее разложение ломонтита и парагенетичного хлорита с переходом их в каолинит обусловлено резким изменением химической обстановки существования пород и появлением кислых агрессивных растворов. В нижних частях межугольных песчано-гравийных толщ, испытавших низкотемпературную пропилитизацию, монокристаллический ломонтит разлагался и переходил в каолинит. Любопытно отметить, что на ранних этапах каолинит замещал цеолит в самых крупных порах, в то время как в мелких пустотах и в заливообразных участках крупных пор еще сохранялся свежий ломонтит.



Процесс формирования каолинового цемента был тесно связан с изменением обломков, прежде испытавших низкотемпературную пропилитизацию. Наиболее активно замещался каолином хлоритизированный биотит. На участках активного замещения ломонтита каолином отмечается интенсивная регенерация обломочного кварца. При этом хлоритовая пленка, маркирующая первичные контуры минеральных фрагментов, нередко оказывается запечатанной в новообразованном кварце. Отмечается случай, когда в песчаниках и гравелитах с каолиновым цементом по периферии пор присутствуют реликты крустификационной пленки хлорита. На некоторых участках терригенный материал сохраняет следы интенсивной предшествующей пропилитизации. Широко представлены обломки хлоритизированных полевых шпатов и ломонтитизированных средних плагиоклазов. Цемент состоит из каолинита с хорошо выраженной пленочкой хлорита на границе преобразованных терригенных зерен.

При формировании каолинового цемента характерным является сначала полное переорождение ломонтита, а уже затем – хлоритовых пленочек, облекавших обломочные зерна коллекторов [7, 8].

Приведенный материал позволяет говорить, что в Прииркутской впадине в междугольных пластах существует «сокращенная» метасоматическая зональность: низкотемпературные цеолитовые пропилиты → гидротермальные каолиновые глины (см. таблицу). Характерными особенностями процесса, приведшего к появлению этой зональности, являются ярко выраженная наложенная каолинизация и выщелачивание, которые в значительной степени уничтожили пропилиты.

Возникновение агрессивных кислых вод, вызвавших каолинизацию и выщелачивание, необходимо связывать с присутствием в Прииркутской впадине углей, находящихся на ранних стадиях карбонизации (марки Д<sub>1</sub> и Б<sub>3</sub>) и поставляющих в междугольные коллекторы повышенное количество (133,4 м<sup>3</sup>/т г.м) СО<sub>2</sub> [1].

Из этого следует важный вывод: газодонный флюид, отделяющийся от углей марок Б<sub>3</sub> и Д<sub>1</sub>, был химически резко неравновесным по отношению к цеолитовым пропилитам вмещающих аркозовых отложений. Иными словами, метаморфизм каустобиолитов активно препятствовал развитию (сохранению продуктов) низкотемпературной пропилитизации в междугольных песчаниках. Следовательно, можно говорить о существовании в Прииркутской впадине тектонической обстановки, в которой возникла резко неравновесная гидротермальная система, складывающаяся из процессов формирования углей марок Б<sub>3</sub> и Д<sub>1</sub>, с одной стороны, и цеолитовых пропилитов в междугольных аркозовых коллекторах – с другой. Иными словами, изменения в системе «органическое вещество углей – минеральное вещество песчаников» необходимо рассматривать как геохимический неравновесный

процесс. В этом состоит кардинальное отличие тектонического режима Прииркутской впадины от районов пос. Сангары, Булун и месторождения Чай-Гумус Ленского бассейна, где эти явления не вызвали геохимических противоречий, а угли были представлены марками Г и Ж.

### Обсуждение результатов

О ведущей роли режима углекислоты в развитии эпигенеза междугольных пластов уже неоднократно говорилось. Но в особой степени это относится к проблеме формирования ломонтита. Так, Л. Капдекомм (1953 г.), А. Л. Олби и Е-Ан-Зен (1969 г.), опираясь на термодинамические расчеты, пришли к выводу, что формирование ломонтита контролируется не только температурой и давлением, но и соотношением активностей Н<sub>2</sub>О и СО<sub>2</sub> в жидкой фазе. Э. Э. Сендеров [14], М. В. Мироненко и Г. Б. Наумов [15] на основании термодинамических расчетов показали, что образование ломонтита требует весьма низкой концентрации СО<sub>2</sub> в жидкой фазе. Можно полагать, что в условиях незначительного содержания ионов (НСО<sub>3</sub>)<sup>-</sup> в гидротермах при наложенном эпигенезе, протекавшем в интервале 300–200°С, что соответствует низкотемпературной пропилитизации, кальций осаждается не в форме кальцита, а в форме ломонтита. Это, в частности, доказывается предельной температурой устойчивости ломонтита ~300°С.

Сравнение особенностей пропилитизации и последующих процессов эпигенеза в междугольных песчаниках, ассоциированных в одном случае с углями марок Г и Ж, а в другом Б<sub>3</sub> и Д<sub>1</sub>, отдающих разное количество СО<sub>2</sub>, показало следующее. Угли марок Г и Ж (Сангарский и аналогичные районы) поставляют в междугольные пласты 58,3–100,0 м<sup>3</sup>/т г.м (в среднем 79,2 м<sup>3</sup>/т г.м), а их аналоги марок Б<sub>3</sub> и Д<sub>1</sub> (Прииркутская впадина) – 100,0 – 166,7 м<sup>3</sup>/т г.м (в среднем 133,4 м<sup>3</sup>/т г.м) СО<sub>2</sub> [1]. Прежде отмечалось, что рост температуры – главного фактора карбонизации углей и в меньшей степени гидротермального минерогенеза – обуславливался динамометаморфизмом в сочетании с глубиной погружения. В Сангарском и аналогичных районах Ленского бассейна при реализации этих факторов достигалось гармоничное сочетание уровня преобразования терригенных толщ (цеолитовые и трансильванские пропилиты) и заключенных в них углей (марки Г и Ж).

Одними из главных показателей этого являются широкомасштабная (региональная) цеолитовая пропилитизация в междугольных аркозовых песчаниках и выдержанная на этой же территории степень карбонизации каустобиолитов (марки углей Г и Ж). Ломонтитовая минерализация обязана своим проявлением незначительному количеству углекислоты (79,2 м<sup>3</sup>/т г.м), отделяющемуся от метаморфизирующихся каустобиолитов в термодинамической обстановке, соответствующей низкотемпературной пропилитизации.





В силу большой неравномерности распределения геотермического градиента в Прииркутской впадине не только одни и те же марки углей встречаются на разной глубине [10], но и продукты гидротермального перерождения межугольных терригенных коллекторов оказываются в беспорядочном взаимоположении с метаморфизованными каоустобиолитами. В частности, ломонитовая минерализация цемента песчаников оказалась пространственно совмещенной со слабокарбонизованными углями. Последние, находясь на территории с напряженным геодинамическим режимом [9], сбрасывали (видимо, за счет пульсирующего стресса) повышенное количество ( $133,4 \text{ м}^3/\text{т г.м}$ )  $\text{CO}_2$  в пропицитизированные межугольные песчаники. Это явилось причиной появления кислых растворов, интенсивной каолинизации и выщелачивания сформировавшихся и продолжавших образовываться ломонита и сопутствующих аутигенных минералов в межугольных коллекторах. Сказанное свидетельствует о том, что в Прииркутской впадине в период формирования угленосных толщ существовала тектоническая обстановка, при которой возникла ярко выраженная неравновесная система в процессе преобразования терригенных отложений и метаморфизма заключенных в них углей.

Промежуточную позицию в рассматриваемом процессе (см. рис. 1) занимают верхнемеловые угленосные толщи восточного побережья Пенжинской губы (Камчатка), где цеолитовые пропициты ассоциируют с углями марок Д и Г [6]. Здесь в силу вышеназванных причин отмечается начало нарушения геохимического равновесия в системе «органическое вещество углей – минеральное вещество песчаников». В таких случаях в породах-коллекторах не всегда четко определяются масштаб и последовательность наложенных преобразований. В частности, в песчано-гравийных толщах континентальных фаций В. И. Копорулин [6] выделяет две фазы аутигенного минералообразования. В ходе первой фазы формировался каолинитовый цемент, а во вторую – ломонитовый (монокристаллический) с крустификационным хлоритом по периферии пор и цеолитизированные зерна плагиоклазов.

К сожалению, мы не располагаем материалами [5] по отложениям интинской свиты юга Печорского угленосного бассейна, но приводимые В. И. Копорулиным [3] данные позволяют предполагать близость условий эпигенеза в межугольных пластах-коллекторах этой территории и охваченных ломонитизацией зон Ленского бассейнов (см. рис. 1).

Изложенный материал можно представить в виде рис. 1, на котором за эталон геохимически равновесной системы принят тектонический режим рассмотренной нами части Ленского угленосного бассейна. В таком случае смещение положения ломонитовой минерализации относительно осевого поля распространения углей

марок Г и Ж в сторону ослабления степени карбонизации в ряду Ленский бассейн (Сангарский, Булунский районы, месторождение Чай-Тумус) → Печорский бассейн (р. Силовая, р. Косью) → угленосный бассейн Пенжинской губы, северная часть (полуостров Елистратова, руч. Конгломератовый) → Иркутский бассейн (Прииркутская впадина) будет говорить о последовательно нарастающем геохимическом неравновесии (противоречии) в системе «органическое вещество углей – минеральное вещество песчаников». Мерилом геохимических противоречий в предлагаемой нами модели может служить степень разрушения (каолинизации и выщелачивания) цеолитовых пропицитов в межугольных аркозовых пластах. А минералом-индикатором, маркирующим зоны геохимических неравновесий в рассматриваемой системе, следует считать аутигенный каолинит. Следовательно, нельзя соглашаться с мнением Г. Ф. Крашенинникова [16] и О. В. Япаскурта [17] об отсутствии прямой коррелятивной связи вторичных изменений вмещающих угли пород со степенью метаморфизма самих углей. Сказанное имеет принципиальное значение, поскольку доказывает возможность такого сопоставления в широком термодинамическом диапазоне. Важно подчеркнуть, что такое сопоставление считалось возможным только для процессов седименто- и диагенеза [16, 18, 19, 20].

## Выводы

На основании вышеизложенного можно заключить следующее.

1. В период формирования угленосного бассейна продуктивные толщи и переслаивающиеся с ними песчаники из безугольных частей разреза необходимо рассматривать как геологическое пространство единой гидротермальной системы, минерагенез которой во многом определяется не только температурой, но и составом отделяющихся от каоустобиолитов летучих.

2. Тектонический режим угленосного бассейна отвечал за изменение температуры – ведущего фактора карбонизации углей и в меньшей степени гидротермального минералообразования. Геотермический градиент был обусловлен динамометаморфизмом в сочетании с глубиной погружения. Он контролировал уровень метаморфизма углей и состав отделяющихся при этом летучих (прежде всего,  $\text{CO}_2$ ), которые определяли характер онтогенеза аутигенного ломонита и сопутствующих минералов в межугольных аркозовых песчаниках.

3. При тектонической обстановке, обуславливающей сочетание низкотемпературной пропицитизации в аркозовых песчаниках межугольных пластов и степень углефикации Г и Ж самих каоустобиолитов, возникает геохимическое равновесие в системе «органическое вещество углей – минеральное вещество песчаников». При этом



метаморфизм каоустобиолитов не препятствовал развитию цеолитовой пропилитизации в межугольных аркозовых толщах. При тектонической обстановке, создающей низкотемпературную пропилитизацию в межугольных песчаниках в сочетании со слабокарбонизированными углями (Б<sub>3</sub> и Д<sub>1</sub>), такое равновесие уступает место состоянию геохимических противоречий. Цеолитовые пропилиты разрушаются: испытывают интенсивное кислотное выщелачивание и каолинизацию, а сам каолинит в таких случаях является минералом-индикатором зон геохимических противоречий.

4. Главным критерием оценки уровня геохимических противоречий является степень разрушения цеолитовых пропилитов в межугольных аркозовых песчаниках.

5. Впервые установлена прямая коррелятивная связь вторичных изменений вмещающих угли пород со степенью метаморфизма самих углей. Это доказывает возможность такого сопоставления в широком термодинамическом диапазоне.

#### Библиографический список

1. Бочкарев А. В. Катагенез и газоносность угленосных толщ // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1984. № 4. С. 108–115.
2. Запорожцева А. С. Литология и фациальные условия накопления меловых отложений района Чай-Тумусского месторождения угля (левобережье дельты реки Лены) // Литологическая характеристика пород и состав углей Ленского бассейна. М. : Госгортехиздат, 1960. С. 93–136 (Труды НИИ геологии Арктики. Т. 112).
3. Копорулин В. И. О формировании ломонтита в осадочных отложениях (на примере осадочных толщ России) // Литология и полезные ископаемые. 2013. № 2. С. 128–144.
4. Коссовская А. Г. Минералогия терригенного мезозойского комплекса Вилюйской впадины и Западного Верхоянья. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1962. 250 с. (Труды ГИН АН СССР. Вып. 63).
5. Тимофеев П. П., Боголюбова Л. И., Копорулин В. И. Седиментогенез и литогенез отложений интинской свиты юга Печорского угленосного бассейна. М. : Наука, 2002. 224 с.
6. Копорулин В. И. Мезозойские и кайнозойские терригенные отложения Северо-Востока и Дальнего Востока России. М. : Наука, 1992. 126 с. (Труды ГИН РАН. Вып. 480).
7. Копорулин В. И. О происхождении цеолитового цемента в песчано-гравийных породах юго-восточной части Иркутского бассейна // Докл. АН СССР. 1961. Т. 137, № 1. С. 174–177.
8. Копорулин В. И. Типы вторичных изменений песчано-гравийных пород угленосной толщи Иркутского бассейна и их возможная связь с подземными водами // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1962. № 3. С. 72–87.
9. Вышемирский В. С. О формах проявления динамометаморфизма углей // Геология и геофизика. 1968. № 4. С. 23–31.
10. Вышемирский В. С. Геологические условия метаморфизма углей и нефтей. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1963. 380 с.
11. Гусев А. И., Запорожцева А. С. О некоторых закономерностях накопления меловых осадков в Ленском угленосном бассейне // Литологическая характеристика пород и состав углей Ленского бассейна. М. : Госгортехиздат, 1960. С. 3–23 (Труды НИИ геологии Арктики. Т. 112).
12. Корженевская Е. С. Петрографический состав и качественная характеристика углей Чай-Тумусского месторождения // Литологическая характеристика пород и состав углей Ленского бассейна. М. : Госгортехиздат, 1960. С. 137–179 (Труды НИИ геологии Арктики. Т. 112).
13. Пчелина Т. М. Литолого-петрографическая характеристика мезозойских пород Сангарского района Ленского бассейна // Литологическая характеристика пород и состав углей Ленского бассейна. М. : Госгортехиздат, 1960. С. 24–92 (Труды НИИ геологии Арктики. Т. 112).
14. Сендеров Э. Э. Влияние CO<sub>2</sub> на устойчивость ломонтита // Геохимия. 1973. № 2. С. 190–200.
15. Мироненко М. В., Наумов Г. Б. Физико-химические условия образования ломонтита в углекислых гидротермальных системах // Геохимия. 1982. № 4. С. 597–602.
16. Крашенинников Г. Ф., Янаскурт О. В. Эпигенетические изменения пород северной части Ленского угленосного бассейна // Литология и полезные ископаемые. 1977. № 3. С. 53–66.
17. Янаскурт О. В. Катагенез угленосных отложений и особенности тектонического развития севера Ленского бассейна // Угольные бассейны и условия их формирования. М. : Наука, 1983. С. 145–149.
18. Мазор Ю. П. Процессы преобразования органического вещества и их корреляция // Угольные бассейны и условия их формирования. М. : Наука, 1983. С. 161–165.
19. Мазор Ю. П. Соотношение стадий преобразования органического вещества углей и вмещающих их пород // Осадочные бассейны и их нефтегазоносность. М. : Наука, 1983. С. 254–264.
20. Мазор Ю. П., Матвеев А. К. Изменение углей и вмещающих их пород // Литология и полезные ископаемые. 1974. № 6. С. 68–80.

#### Образец для цитирования:

Korobov A. D., Korobova L. A. О связи стадий преобразования органического вещества углей и минеральных компонентов межугольных аркозовых песчаников (на примере Ленского и Иркутского бассейнов) // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2020. Т. 20, вып. 2. С. 109–118. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-2-109-118>

#### Cite this article as:

Korobov A. D., Korobova L. A. The Relation between the Stages of Organic Matter Transformation in Coals and Mineral Components of Inter-Coalarkosesandstones (an the Example of Lena and Irkutsk Basins). *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Earth Sciences*, 2020, vol. 20, iss. 2, pp. 109–118 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-2-109-118>