

СИЛИЦИТОВЫЕ ПОРОДЫ ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ И СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Н. И. Афанасьева*, Д. А. Дмитриев**, А. В. Жабин**, С. О. Зорина*

*ФГУП «ЦНИИГеолнеруд» МПР России

**Воронежский государственный университет

Изучены и сравнены кремнистые породы Воронежской антеклизы и Среднего Поволжья. Несмотря на значительное сходство минерального состава доказано существование различных морфологических форм минералов свободного кремнезема. Рассмотрены генетические аспекты кремнистых пород и показано, что каждый из выделенных морфологических типов силицитовых минералов формировался на различных этапах литогенеза.

Одной из важнейших задач, стоящих в настоящее время перед российской геологией, является расширение минерально-сырьевой базы страны. И здесь, наряду с традиционными полезными ископаемыми, большое значение, как нам представляется, приобретает вовлечение в сферу производства некоторых видов минерального сырья, возможности которых раскрыты далеко не полностью. К числу таких ископаемых с полным правом можно отнести кремнистые породы: диатомиты, трепелы, опоки. Их полезные качества определяются высоким содержанием активной кремнекислоты и тонкопористой текстурой. Перечисленные факторы обуславливают их высокую гидравлическую активность, адсорбционные, каталитические, теплоизоляционные, фильтрационные свойства. Содержащиеся в силицитовых породах в виде примесей глинистые минералы, глаукониты и цеолиты расширяют спектр направлений возможного использования данного сырья.

Кремнистые образования встречаются практически по всему стратиграфическому разрезу Воронежской антеклизы и Среднего Поволжья. В дотуронских отложениях они распространены как в виде отдельных стяжений и конкреций кремней халцедонового состава, рассеянных в общей массе карбонатных пород, так и образуют маломощные прослои кремнистых глин и опоковидных песчаников. Начиная с турона, кремнистые породы (опоки, трепелы, диатомиты, кремнистые опоковидные глины, реже — радиолариты) образуют достаточно мощные (десятки метров) толщи, протяженностью в десятки и сотни километров.

Вопрос происхождения аморфного кремнезема является ключевым в проблеме генезиса силици-

тов. Существуют две основных точки зрения на природу этого явления: хемогенная и биогенная.

Химическое осаждение любого соединения, в том числе и кремнезема, возможно только из пересыщенных растворов. Растворимость аморфной кремнекислоты при обычных температурах в морских и пресных водах колеблется в пределах 100—140 мг/л. Достичь таких концентраций в осадке достаточно сложно. Этому препятствует самопроизвольное выравнивание концентраций раствора [23, 15]. Стоит только в какой-нибудь части осадка возникнуть превышению содержания любого компонента, как начнется его отток в сторону меньших концентраций. Движущей силой этого процесса является разность свободных энергий участков раствора с разной концентрацией, исходя из принципа динамического равновесия Ле Шателье [11]. С другой стороны, образование кремнистого компонента пород происходит, вероятно не закрытой системе, а в морской осадке, где наряду с кремнеземом присутствуют, в достаточном количестве, и другие химические соединения, катионы кальция, магния, калия, железа и др., которые наверняка будут вступать в реакцию с кремнеземом, что способствует уменьшению содержания последнего в осадке.

Считается [24], что условия для хемогенной осадки кремнезема исчезли уже в позднем протерозое с появлением первых организмов, использующих этот компонент для построения своих скелетов, что приводило к снижению его концентрации в морской воде. Но, учитывая то обстоятельство, что свободный кремнезем просто обязан вступать в реакции с катионами, хемогенная садка его была невозможна.

Избирательно же накапливать определенные химические соединения могут только живые организмы, причем не обязательно из сред с высокими

© Афанасьева Н. И., Дмитриев Д. А., Жабин А. В., Зорина С. О., 2006

концентрациями. Само собой разумеется, что как чисто кремневые, так и другие минеральные разновидности могут образовываться в гидротермальных условиях или при метасоматозе, но эти процессы не имеют ничего общего с хемогенной садкой в водных бассейнах.

Сейчас уже почти не вызывает сомнения органическое происхождение трепелов и опок, образование которых объясняется растворением створок диатомовых водорослей [9, 22]. Но для интенсификации и расширения органогенной садки SiO_2 было необходимо появление и развитие кремнистых организмов, обладающих высокой биопродуктивностью. Из всех известных кремнистых организмов этими особенностями обладают диатомеи.

Дискуссионным до настоящего времени остается вопрос об источнике кремнезема. Некоторые исследователи [4, 8] считают, что основные массы кремнезема привносились в бассейны платформенных областей с пенепленизированных участков суши в виде коллоидных и истинных растворов.

По мнению других исследователей [15, 20], определяющим фактором широкого развития процессов кремнеаккумуляции как в морях, так и в океанах, является наличие зон апвеллингов, в пределах которых осуществляется подток глубинных вод, богатых SiO_2 и другими биогенными веществами.

Большинству исследователей кремнистых образований [1, 16], минералы свободного кремнезема представляются одной морфологической разновидностью — в виде леписфер с гладкой или ребристой поверхностью. Состав первых — опаловый, вторых — опал-кристобалитовый или опал-кристобалит-тридимитовый. По поводу их генезиса существует несколько взаимно исключающих друг друга точек зрения, но принципиально все сводится к выпадению из коллоидных растворов первичного опалового вещества в виде глобуль или леписфер. Со временем, в зависимости от содержания в исходном аморфном кремнеземистом веществе посторонних ионов, оно преобразуется по двум направлениям. При малом количестве ионов опал сначала переходит в опал-кристобалит и далее в халцедон и кварц. При большом содержании — на первой стадии из опала формируется опал-тридимит, далее преобразование идет по первой схеме [20].

Силицитовые образования в отложениях верхнего мела и палеогена Воронежской антеклизы и Среднего Поволжья, представлены как чистыми

кремневыми разностями (кремнями, диатомитами, опоками, трепелами), так и целой гаммой пород, в той или иной степени включающих в себя кремневую составляющую. Это опокovidные и трепеловидные глины, пески и карбонатные породы, содержащие в разных количествах минералы свободного кремнезема. В отличие от отложений Поволжья, в силицитовых образованиях Воронежской антеклизы отсутствуют диатомиты. Да и собственно в первом регионе они встречены только в палеогене.

При анализе силицитовых пород Воронежской антеклизы и Среднего Поволжья были проанализированы наиболее представительные образцы, которые сначала подвергались макроскопическому и микроскопическому изучению. Впоследствии пробы исследовались более точными методами. Так изучение минерального состава пород проводилось с использованием рентгеновского дифрактометра ДРОН-2. Данные рентгеноструктурного анализа дополнялись ИК-спектроскопией для уточнения вещественного состава кремнистой составляющей. Электронно-микроскопические снимки выполнялись для выявления морфологических особенностей силицитовых пород, на приборе SEM JSM-6380LV. Из Среднего Поволжья были проанализированы следующие образцы: 1) образец № 2 — диатомит, Атемары, Мордовия; 2) образец № 5-1 — цеолитсодержащая опока, Татарско-Шатрашанское месторождение; 3) образец № 5-2 — цеолитсодержащая опока, Татарско-Шатрашанское месторождение; 4) образец № 656/04 — диатомит, карьер Свет, Ульяновская область; 5) образец № 657/04 — диатомит, карьер Свет, Ульяновская область. С территории Воронежской антеклизы исследованию подвергались: 1) образец № 105/725 — трепел, Семилукский район, Воронежская область; 2) образец № 84/7 — опока, Нижнедевицкий район, Воронежская область; 3) образец № 84/7а — кремнь, Нижнедевицкий район, Воронежская область.

Анализируя данные рентгеноструктурного анализа кремнистых пород Среднего Поволжья (рис. 1), приходим к выводу, что основным минералом является опал который выявляется по гало в области углов $19-30$. Помимо опала, выделяется тридимит, по пикам малой интенсивности со значениями $4,29; 4,1; 3,87; 2,500 \text{ \AA}$ и кварц, фиксируемый по отражениям $2,26; 3,34 \text{ \AA}$ [18]. В исследуемых образцах, кроме минералов группы кремнезема, встречаются цеолиты группы гейландит-клиноптилолита ($9,0; 7,94 \text{ \AA}$), кальцит ($3,03 \text{ \AA}$) и гидрослюда (10 и $4,98 \text{ \AA}$).

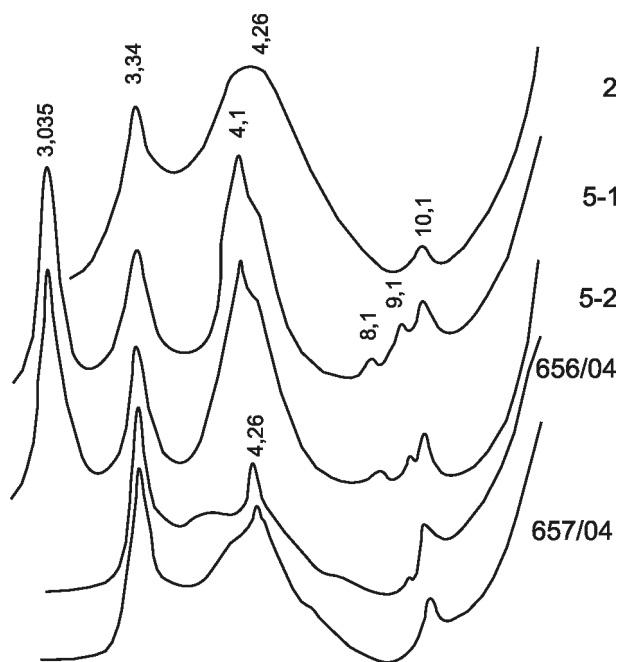


Рис. 1. Дифрактограммы кремнистых пород Среднего Поволжья

Данные дифрактометрического анализа подтверждаются полученными ИК спектрами (рис. 2). Так интенсивная диффузная полоса в области $1050-1200\text{ см}^{-1}$ [17], указывает на преобладание среди минералов группы кремнезема опала. Тридимит определяемый по хорошо выраженным рефлексам $420; 470; 568; 798\text{ см}^{-1}$. В некоторых образцах в значительном количестве присутствует кальцит, что подтверждается узкими полосами $714; 792; 876; 1429\text{ см}^{-1}$.

На дифрактограммах кремнистых пород Воронежской антеклизы (рис. 3) преобладающим, среди минералов группы кремнезема, является тридимит. Присущий кристобалиту рефлекс $4,04\text{ \AA}$ наблюдается редко. В незначительных количествах встречаются цеолиты группы гейландит клиноптилолита, гидрослюда и монтмориллонит определяемый по рефлексу в области 15 \AA . На кривых инфракрасных спектров поглощения (рис. 4) выделяется опал. Иногда проявляются слабые рефлексы в области частот $500\text{ и }615\text{ см}^{-1}$ характеризующие кристобалит. Основным же минералом является тридимит. Но существует большая вероятность, подтверждающаяся выводами Д. Бардоши и др. [13], что все эти минералы являются структурными элементами одной минеральной фазы, присущей именно осадочным кремневым образованиям.

Исходя из довольно разнообразного минерального состава кремневой составляющей большинства силицитовых образований, логично предположить, что морфологические особенности

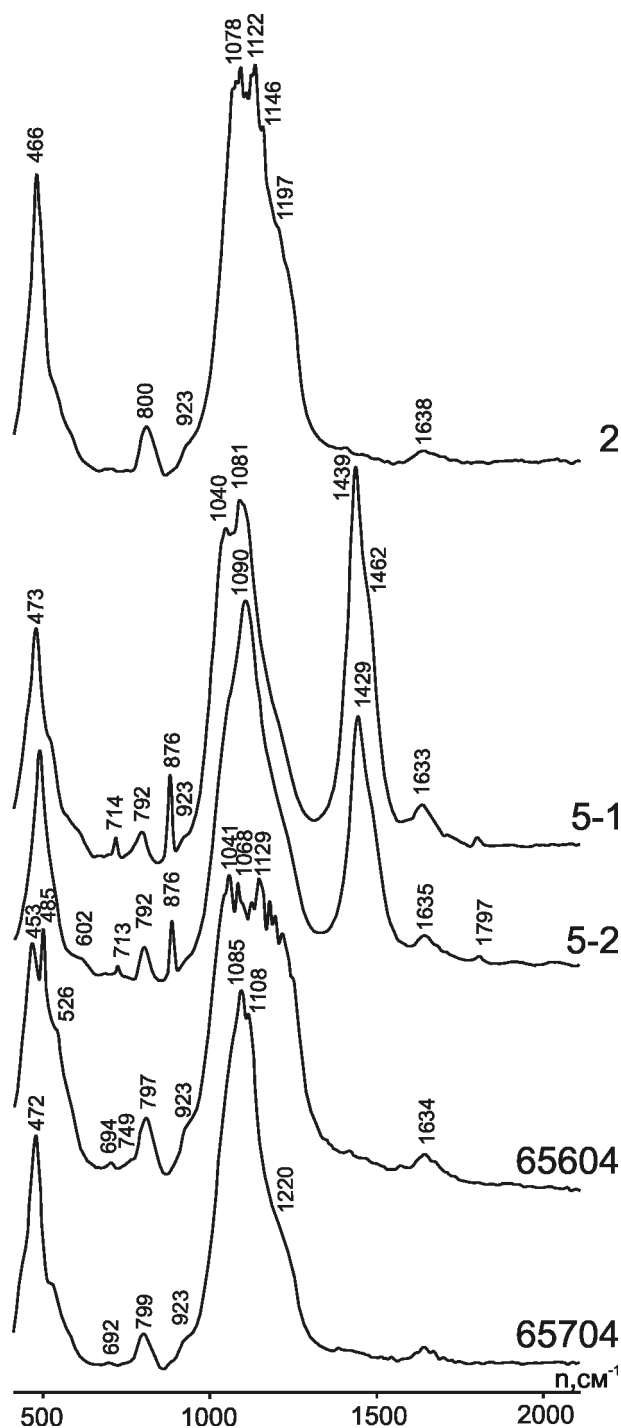


Рис. 2. Инфракрасные спектры поглощения кремнистых пород Среднего Поволжья

кристаллитов, слагающих породы или входящих в них в качестве примеси, во всяком случае, очень близки. Но результаты электронно-микроскопических исследований выявляют совершенно другую картину.

Изображенные на электронно-микроскопических снимках силицитовые минералы по своим морфологическим признакам можно разделить на четыре типа. Первый — слоисто-чешуйчатый. В

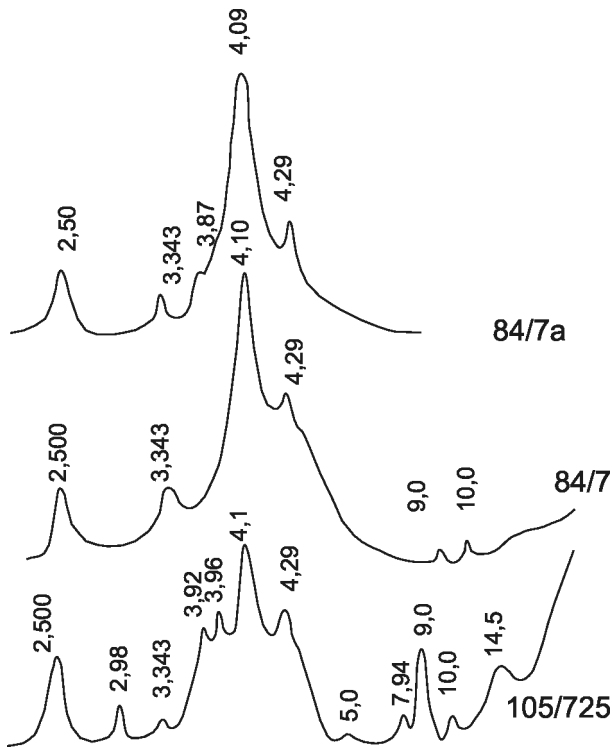


Рис. 3. Дифрактограммы кремнистых пород Воронежской антеклизы

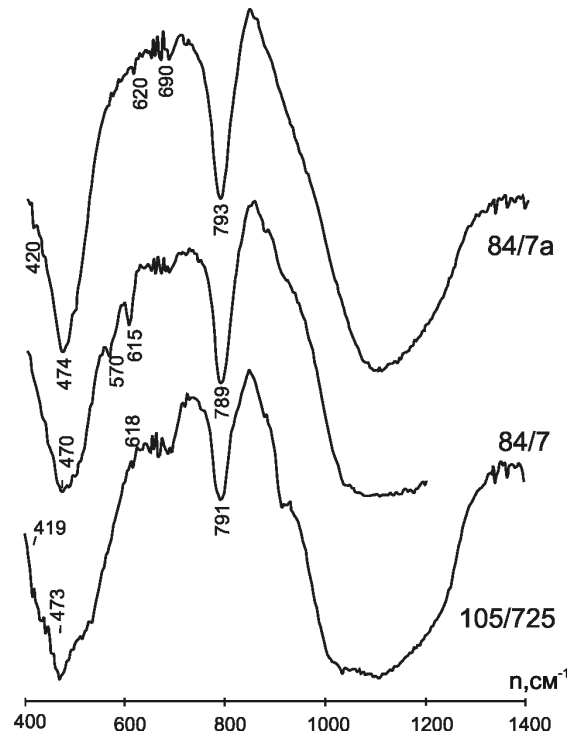


Рис. 4. Инфракрасные спектры поглощения кремнистых пород Воронежской антеклизы

опоках проявление этого типа выражается в образовании каркасной, с многочисленными порами, структуры, переплетающимися и прорастающими друг друга листоватыми, таблитчатыми, чешуйчатыми частицами (рис. 5). В трепелах таких переплетений и прорастаний не наблюдается. Все частицы разобщены и просто прилегают одна к другой (рис. 6).

Второй — глобулярный. Здесь минералы свободного кремнезема наблюдаются в виде сферических тел (леписфер) с ребристой, иногда с гладкой поверхностью. В опоках они приближены,

образуя иногда сплошную массу (рис. 7). В трепелах — разобщены, перемежаясь с чешуйчатыми формами других минеральных фаз (рис. 8). В светлых кремнях — плотно упакованы и по внешнему облику несколько отличаются от таковых в опоках и трепелах (рис. 9).

Третий — органогенный (рис. 10). Эта структура развита в породах первично органогенного происхождения — диатомитах, и выражается в обилии обломков и целых створок диатомовых водорослей.

Четвертый — призматический. Встречаются в пустотах и трещинах силицитовых пород (рис. 11).

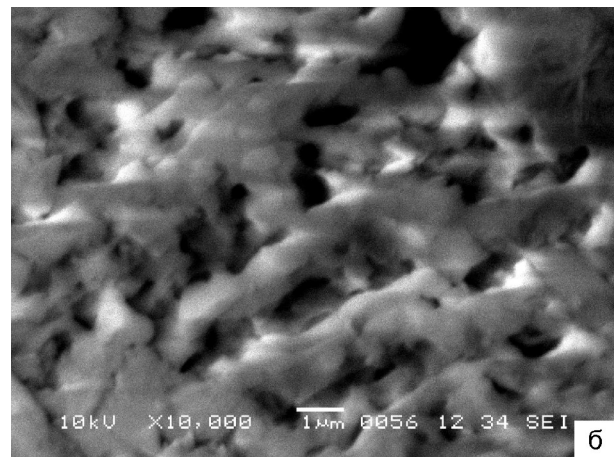
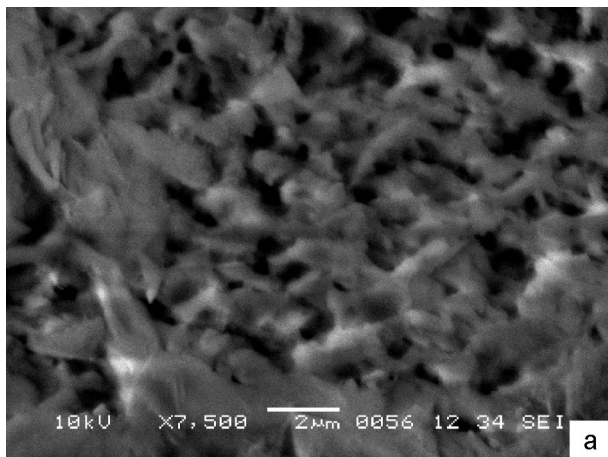


Рис. 5. Электронномикроскопические снимки опок с каркасной формой: а — обр. 5-1; б — обр. 5-2

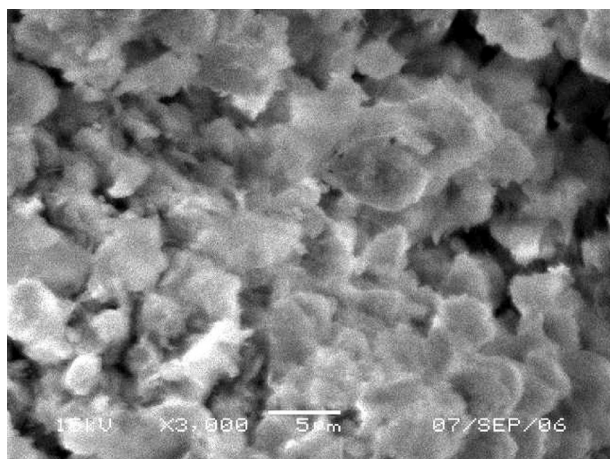


Рис. 6. Электронномикроскопический снимок трепела слоисто-чешуйчатого: обр. 105/725

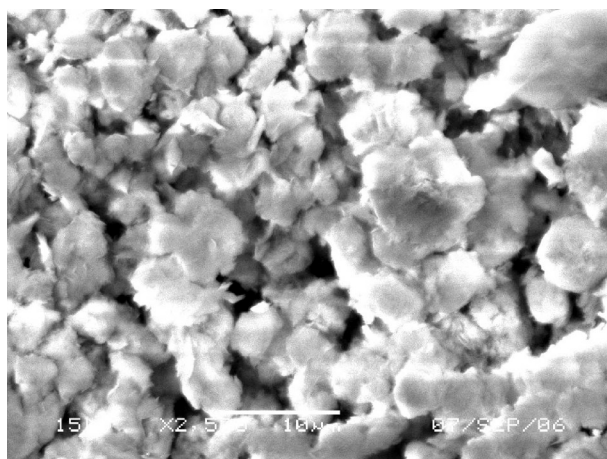


Рис. 7. Электронномикроскопический снимок опоки глобулярной: обр. 84/7

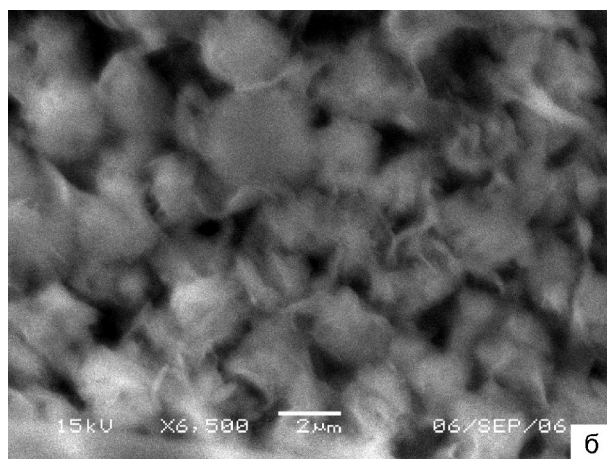
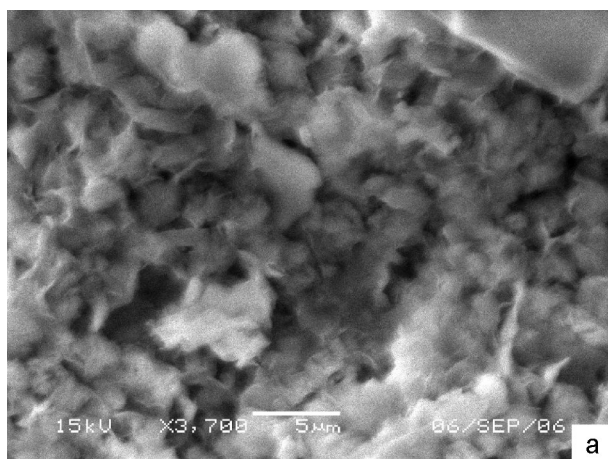


Рис. 8. Электронномикроскопические снимки трепела глобулярного: обр. 105/725

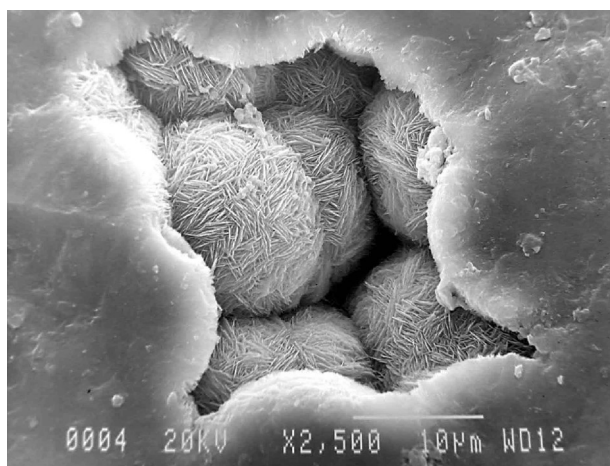


Рис. 9. Электронномикроскопический снимок кремня глобулярного: обр. 84/7а

Принимается за цеолиты группы гейландита [1]. Но нашими исследованиями [6, 7, 19] доказана ошибочность таких представлений.

Рассматривая различные аналитические материалы, приходим к выводу, что кремнистые породы, идентичные по составу, структурно-текстурным признакам, выделяемым, как визуально, так и с помощью оптических методов, совершенно различны по морфологическим особенностям слагающих их минералов свободного кремнезема, определяемым только электронно-микроскопическими методами. Различные формы кристаллитов силицитовых минералов, встречаемые в идентичных петрографических видах пород, зависят только от условий их образования и могут служить надежным критерием генезиса кремневых пород в целом.

Процесс образования пород из силицевого материала представляющего собой створки диато-

мей и других организмов с кремнистым скелетом опалового состава, выпавших в осадок, в зависимости от pH и скорости осаждения, шел несколькими путями.

В слабо щелочных обстановках, в особенности при высокой скорости осаждения, кремневые скелеты организмов не претерпевали заметных изменений, формируя из своих остатков породы соответствующего состава (диатомиты, радиоляриты и т.п.). На невысокую щелочность указывает и частая примесь в них разных количеств каолинита.

При значениях pH осадка более 8, кремневый биогенный материал подвергается растворению и перекристаллизации уже в стадию седиментогенеза [5]. В спокойной гидродинамической обстановке преобразование осадка происходило во всей его массе и при перекристаллизации кремниевого материала возникала структура из переплетающихся и прорастающих друг друга чешуйчато-пластинчатых частиц. Данное строение придает породе высокую прочность. Таким образом, формируются первично осадочные опоки. В более активной гидродинамической обстановке преобразование кремневых скелетных остатков происходило в каждой отдельно взятой частице. Срастанию их в каркас мешало постоянное взмучивание осадка, что приводит к образованию слабой сыпучей породы — первично осадочному трепелу.

Пористость пород, по нашему мнению, возникает по двум причинам. В любом случае, каждая биогенная форма — довольно крупная частица (от нескольких микрон и более), будь то диатомовые, радиолярии или спиккулы губок. И при хаотичном осаждении на дно водоема биогенных остатков между ними возникали полости, которые впоследствии и преобразовывались в поры.

Второй причиной образования пор является то обстоятельство, что сами раковины, после разложения органического материала, становятся внутри пустыми.

Рассматривая вопрос образования кремней, Ю. Н. Сеньковский [20] особо отмечает их приуроченность к чистым разностям карбонатных пород. На электронно-микроскопических снимках некоторых видов светлых кремней и вторичных силицитов обращает на себя внимание похожесть изображенных на них ситуаций (см. рис. 8, 9). Во всех случаях на снимках наблюдаются леписферы с ребристой поверхностью. Но только у кремней это очень плотные на вид тела, тесно соприкасающиеся друг с другом. У вторичных опок и трепелов структура леписфер более рыхлая, но в первых —

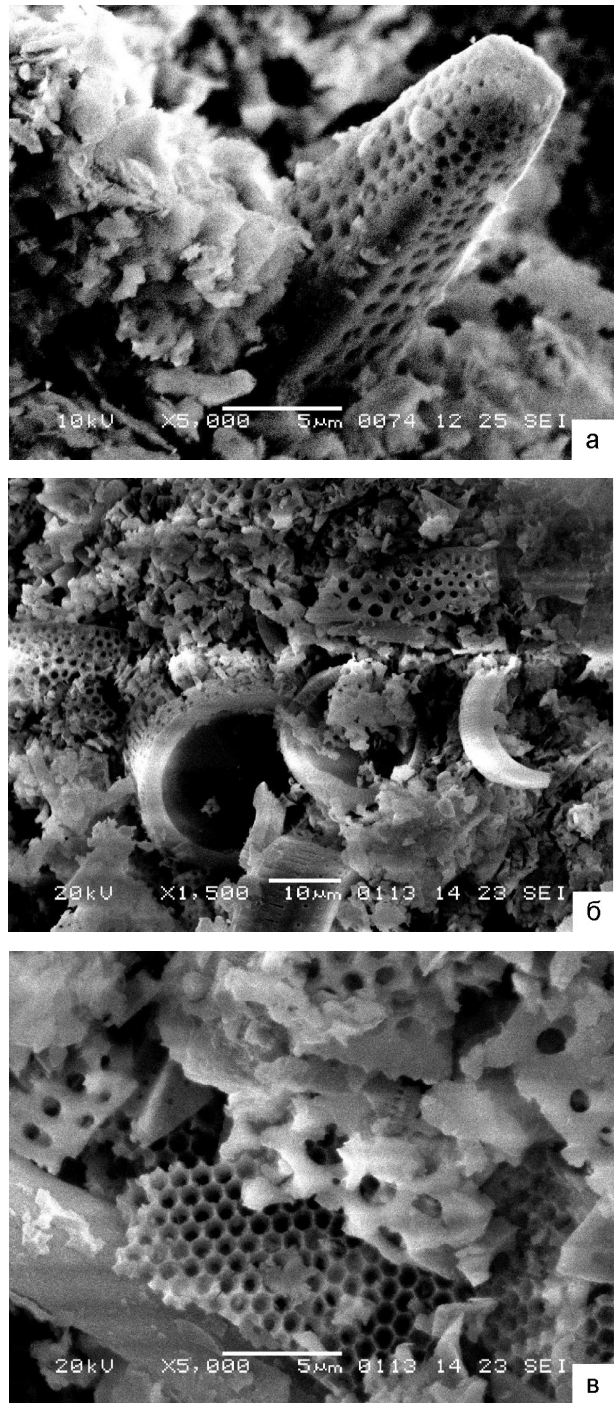


Рис. 10. Электронномикроскопические снимки диатомита: а — обр. 65704; б — обр. 65604; в — обр. 65604

они упакованы плотнее. Причиной такого строения вторичных кремнистых образований является литологический состав преобразующихся карбонатных пород. В очень чистых разностях, при практически полном отсутствии кластического и в особенности глинистого материала, кремнезем, замещающий кальцит, выпадает в виде плотно соприкасающихся глобул, образуя кремни. При увеличении содержания в карбонатных породах минераль-

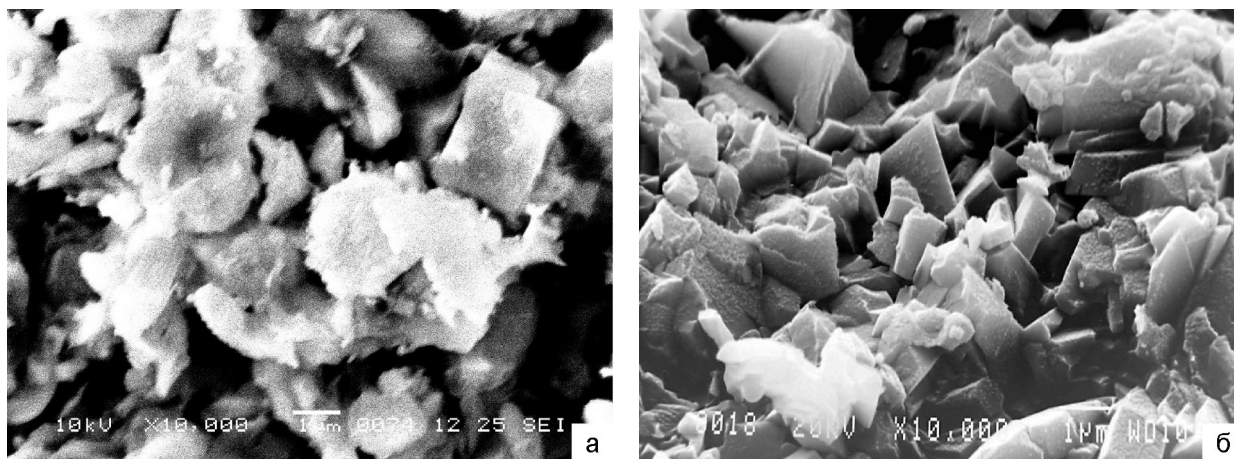


Рис. 11. Электронномикроскопические снимки брусковидных кристаллов тридимита – обр. 65604 (справа сверху); б – обр. 226-7(Воронежская антеклиз)

ных, особенно тонкодисперсных составляющих, они, во-первых, препятствуют сближению глобул и, во-вторых, при преобразовании этих тел, способствуют разрыхлению их структуры. Отсюда и различие в литологических типах пород. Чем меньше минеральных примесей в изменяющейся карбонатной породе, тем более сближены образующиеся глобулы и тем плотнее внутренняя структура леписфер. Вторичные опоки и трепелы различаются только количеством и в какой-то мере качеством примесей, препятствующим сближению леписфер и цементации породы. Отсюда опоки прочные, крепкие породы, трепелы — слабые, часто сыпучие. Образование этого морфологического типа кремнистых пород происходит при гипергенных процессах. Под действием кислых вод, содержащих, не обязательно в высоких концентрациях, кремнезем, происходит растворение кальцита, вынос его и образование глобул опала. Судя по всему,



Рис. 12. Электронномикроскопический снимок диатомита: обр. 65704

этот процесс может происходить и в породах, содержащих незначительные количества карбонатной составляющей, в частности диатомитах. На электронномикроскопическом снимке (рис. 12) наблюдается опаловая глобула, как и положено с гладкой поверхностью, среди обломков диатомовых водорослей. С течением времени и с изменениями среды (повышения pH) первично опаловый состав глобул изменяется на опал-тридимитовый. Слоистые частицы этой минеральной фазы вырастают от поверхности к центру глобул, образуют ребристую специфическую структуру поверхности.

Глобулярные формы образуются при метасоматическом преобразовании карбонатных пород. Этот процесс может идти только при медленном поступлении кислых растворов, содержащих кремнезем. При быстром — будет происходить интенсивное растворение карбонатов. На скорость разложения последних, влияет и степень кислотности. Весьма вероятно, что их растворяют и воды с нейтральной pH. То есть, для нормального протекания процесса, должно соблюдаться условие — скорость растворения карбонатного материала должна соответствовать скорости осаждения кремнезема.

Сложно представить, чтобы данное метасоматическое преобразование карбонатов происходило в морской осадке, где господствует щелочная среда, благоприятная для сохранения последних. Поэтому мы полностью разделяем точку зрения В. П. Семёнова и др. [14] на генезис подобных силицитов. Их образование данные авторы связывают с гипергенными процессами, происходящими при континентальных перерывах. Просачивающиеся через коры выветривания поверхностные воды приобретают кислую реакцию и некоторое количество кремнезема. На контакте с карбонатными породами проис-

ходит их растворение и выпадение кремнезема в виде глобуль опалового состава. Метасоматическое замещение может происходить в любых направлениях, трассируемых ослабленными зонами в породах. Поэтому не должно вызывать удивления, отмечаемые многими авторами [3, 12] резкие вертикальные переходы (иногда длиной в десятки метров) от карбонатных к кремнистым породам.

Силициты с призматическими формами кристаллов образуются в уже сформированных силицитовых породах по трещинам и другим полостям, пространство которых создает условия для свободного роста кристаллов опалкристобалит-тридимитового состава. Надо полагать, что их генезис связан с инфильтрационными водами, поступающими из кор выветривания при континентальных перерывах.

Из всего сказанного можно сделать следующие выводы. Во-первых, силициты мелового возраста, в своем абсолютном большинстве, являются вторичными образованиями, на что указывает глобулярный и брусковидный виды минералов свободного кремнезема, слагающих эти породы. Во-вторых, позднемеловая эпоха не была отмечена расцветом организмов с кремневым скелетом и накоплением мощных толщ первично-осадочных кремнистых отложений.

На границе мела и палеогена в результате глобального катастрофического события [2, 21], произошла коренная перестройка биогенного осадочного накопления. В эпиконтинентальных бассейнах Русской плиты закончился расцвет микроорганизмов с карбонатным скелетом, им на смену пришла эпоха кремнеземсодержащей биоты, представленной, в основном, диатомовыми водорослями. Отсюда и широкое развитие в палеогеновых отложениях диатомитов [10] и силицитовых пород, в сложении которых участвуют пластинчато-листоватые формы минералов свободного кремнезема.

ВЫВОДЫ:

1. Минералы свободного кремнезема, образующиеся при диагенезе первично биогенного осадка, имеют пластинчато-листоватый облик кристаллитов и опал-кристобалит-тридимитовый состав.
2. Глобулярная форма силицитовых образований характеризует гипергенные условия их формирования при континентальных перерывах.
3. Призматический облик кристаллитов свидетельствует об образовании кремневых минералов при инфильтрационных процессах в уже образованных кремнистых породах.

4. Силициты мелового возраста являются вторичными образованиями.

5. Расцвет организмов с кремневым скелетом приходится на палеоген, с началом которого связывается образование мощных толщ первично-осадочных кремнистых отложений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ахлестина Е.Ф.* Атлас кремнистых пород мела и палеогена Поволжья / Е. Ф. Ахлестина, А. В. Иванов. — Саратов: Колледж, 2000. — 166 с.
2. Глобальные катастрофические события и их роль при стратиграфических корреляциях осадочных бассейнов разного типа / А. Б. Веймарн, Д. Н. Найдин, Л. Ф. Колаевич, А. С. Алексеев, М. А. Назаров. — МГУ, 1998. — 74 с.
3. *Дистанов У.Г.* Закономерности формирования высококремнистых осадков в мезозое-кайнозое / У. Г. Дистанов // Геохимия морей и океанов. М.: ИО АН СССР. 1986, Т. 1. С. 45—46.
4. *Дистанов У.Г.* Геолого-промышленные типы месторождений осадочных кремнистых пород СССР, критерии их прогноза и поисков / У. Г. Дистанов // Происхождение и практическое использование кремнистых пород. — М., 1987. — С. 157—167.
5. *Дистанов У.Г.* Особенности кремнезема накопления в морских платформенных бассейнах / У. Г. Дистанов // Сырьевая база кремнистых пород СССР. — М., 1974. — С. 13—17.
6. *Дмитриев Д.А.* Облик минералов и их генезис: исследование на примере палеогеновых и верхнемеловых толщ Воронежской антеклизы / Д. А. Дмитриев, А. В. Жабин // Проблемы литологии, минералогии и стратиграфии осадочных образований воронежской антеклизы. — Воронеж, 2002. — С. 76—80. — (Тр. НИИ геологии ВГУ; Вып. 11).
7. *Жабин А.В.* Аутигенное минералообразование в палеогеновых и верхнемеловых отложениях Воронежской антеклизы / А. В. Жабин, Д. А. Дмитриев // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. — 2002. — № 1. — С. 84—94.
8. *Казаринов В.П.* Выветривание и литогенез / В. П. Казаринов, Ю. П. Казанский. — М.: Недра, 1969. — С. 384—400.
9. *Каледа Г.А.* Основные черты эволюции кремнистого осадконакопления / Г. А. Каледа // Геохимия кремнезема. М.: Наука. 1966. — С. 371—393.
10. *Зорина С.О., Афанасьева Н.И.* Хроностратиграфическая схема карбонатных и кремнистых минералогических стратонев верхнего мела-палеогена Среднего и Нижнего Поволжья / С. О. Зорина, Н. И. Афанасьева // Осадочные процессы: седиментогенез, литогенез, рудогенез (эволюция, типизация, диагностика, моделирование). Материалы 4-го Всероссийского литологического совещания (Москва, 7—9 ноября 2006 г.). Том 2. — М.: ГЕОС, 2006. — С. 83—85.
11. Краткая химическая энциклопедия Т. II. М. 1963. 1088 стб.

12. Кремнистые породы (диатомиты, опоки, трепелы) верхнего мела и палеогена Урало-Поволжья / У. Г. Дистанов, В. А. Копейкин, Т. А. Кузнецова и др. — Казань: Татар. кн. изд-во, 1970. — 331 с. — (Тр. Казан. геол. ин-та; Вып. 23).
13. Кристобалит в бат-келловейских радиоляритах гор Баконь / Д. Бардоши, Й. Конда, Ш. Рапп-Шик и др. // Проблемы геохимии. — М., 1965. — С. 521—536.
14. Литотипы и литофации кремнистых метасоматитов карбонатных пород позднего мела КМА / В. П. Семенов, Б. В. Аскоченский, В. Н. Селезнев и др. // Литология и полезные ископаемые Воронежской антеклизы. — Воронеж, 1982. — С. 89—103.
15. *Муравьев В.И.* Вопросы абиогенного осадочно-кремненакопления // Происхождение и практическое использование кремнистых пород. — М.: Наука, 1987. — С. 86—96
16. *Муравьев В.И.* Минеральные парагенезы глауконитово-кремнистых формаций / В. И. Муравьев. — М.: Наука, 1983. — 208 с. — (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 360).
17. *Плюснина И.И.* Физико-химические методы изучения вещества осадочных пород / И. И. Плюснина. — М.: Изд-во МГУ, 1997. — 160 с.
18. Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов / Под. ред. Г. Брауна; Пер. с англ. В. А. Дрица. — М.: Мир, 1965. — 599 с.
19. *Савко А.Д.* Морфология частиц цеолитов группы гейландита и минералов свободного кремнезема (на примере отложений Воронежской антеклизы) / А. Д. Савко, А. В. Жабин, Д. А. Дмитриев // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. — Воронеж, 2001. — № 12. — С. 51—56.
20. *Сеньковский Ю.Н.* Литогенез кремнистых толщ юго-запада СССР / Ю. Н. Сеньковский; Под ред. Л. Г. Ткачук. — Киев: Наук. думка, 1977. — 128 с.
21. *Синицин В.М.* Древние климаты Евразии. Ч. 2. Мезозой. Изд-во ЛГУ. 1966, 264 с.
22. *Страхов Н.М.* О некоторых вопросах геохимии кремнезема / Н. М. Страхов // Геохимия кремнезема. — М.: Наука, 1966. — С. 5—8.
23. *Угай Я.А.* Общая и неорганическая химия / Я. А. Угай. — М.: Высш. школа, 1997. — 527 с
24. *Фролов В.Т.* Литология: Учеб. пособие / В. Т. Фролов. — М.: Изд-во МГУ, 1992. — Кн. 1. — 336 с.