



массовому развитию зоо- и фитопланктона. Скелетные остатки радиолярий концентрировались в тонких глинистых или алевроитово-глинистых илах с образованием смешанных разностей силицитов (глино-силицитов, алевро-глино-силицитов), периодически подавляемых известковым (фораминиферово-кокколитофоридовым) нанопланктоном и накоплением глинисто-кремнисто-известковых илов, прасадков современных пород, претерпевших различные диагенетические процессы трансформации глинистого вещества, кремнезема, глауконитизации, цеолитизации и т. п.

УДК [552.52+551.761+551.762] (470.44/47)

ОСОБЕННОСТИ ГЛИНИСТОГО ВЕЩЕСТВА В ПОЗДНЕТРИАСОВЫХ И ЮРСКИХ БАСЕЙНАХ ПРИКАСПИЙСКОГО РЕГИОНА

Т. Ф. Букина, Э. А. Яночкина, А. Д. Коробов

Саратовский государственный университет
E-mail: bukina_tf@land.ru

Наблюдение разрезов позднего триаса и юры Прикаспийского региона, сложенных серыми глинами, часто приводит к неточным выводам о их монотонности. Расчленение таких толщ производится трудоёмкими методами. Изучение их вещественного состава позволяет выявлять особенности, связанные с эволюционным развитием ландшафтов областей сноса и осадконакопления. Отличие глинистых минералов в отложениях юрских бассейнов от поздне триасовых заключается в нарастании степени дезинтеграции вещества с утратой реликтовых морфологических признаков, в увеличении доли аутигенных фаз и степени биогенной трансформации терригенных компонентов. Это допускает проведение границы триаса и юры по составу и структурным признакам глин.

Ключевые слова: микро- и наноструктурные признаки глин, поздне триасовые и юрские бассейны седиментации, Прикаспийский регион.

Features of the Clayey Matter from the Late Triassic and Jurassic Basins of the Pricaspian Region

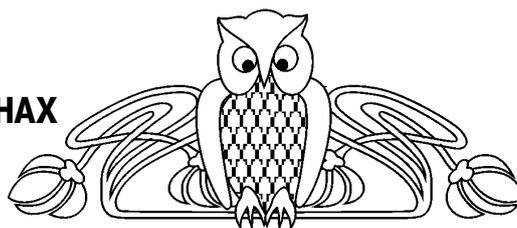
T. F. Bukina, Z. A. Yanochkina, A. D. Korobov

Examinations of the Late Triassic and Jurassic gray clay sections in the Pricaspian region frequently lead to incorrect conclusions on their monotony. Laborious methods are needed to divide such sequences. Investigations of their material compositions make it possible to reveal the features associated with the source-area landscape evolution and sedimentation. Clay minerals in the Jurassic basins differ from those in the Late Triassic ones in increasing degree of the matter disintegration with the loss of relict morphologic features, in increasing share of authigenic phases and the degree of biogenic transformation of terrigenous components. This enables to draw the Triassic-Jurassic boundary on the basis of the clay compositions and structural features.

Key words: clay micro- and nanostructural features, Late Triassic and Jurassic sedimentation basins, Pricaspian region.

Библиографический список

1. Свидзинский С. А., Музалевский М. М., Ковальский Ф. И. Гремячинское месторождение сильвинитов // Новые данные по геологии соленосных бассейнов Советского Союза. М., 1986. С. 204–219.
2. Ахлестина Е. Ф., Московский Г. А. Надсолевые мезозойско-кайнозойские отложения Гремячинского месторождения калийных солей // Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли : материалы 5-го Всерос. литолог. совещ. : в 2 т. Екатеринбург, 2008. Т. 1. С. 41–44.



Основными научными задачами исследований являются выявление генетических особенностей глинистого вещества в разрезах позднего триаса и юры Прикаспийского региона и поиск критериев для осуществления стратификации разрезов сероцветных глинистых толщ. Полевые наблюдения разрезов позднего триаса и юры Прикаспийского региона, сложенных преимущественно серыми глинами, приводят к неточным выводам о их монотонности даже опытных специалистов-геологов. Стратиграфическое расчленение таких толщ производилось трудоёмкими палеомагнитными, микропалеонтологическими, палинологическими методами в ходе комплексных исследований коллективом специалистов, начатых под руководством В. В. Липатовой с 1970 годы и продолжающихся по настоящее время, связанных с поисковыми работами на нефть и газ.

По данным экосистемного изучения материала керна большого количества опорных и параметрических скважин исследуемого региона, была установлена сопоставимость различных стратиграфических методов и результатов изучения вещественного состава отложений, особенно при недостатке палеонтологических и палинологических фактических данных.

Материал, используемый в данной статье, получен авторами в ходе тематических исследований, осуществляющихся НИИ геологии СГУ при совместных работах с ВНИГНИ. Привлечено было более 80 площадей со значительным большим объёмом бурения с целью нефтепоисковых работ по триасу, а также данные исследования скважин на Перелюбском и Коцебинском месторождениях юрских горючих сланцев.

Изучение глинистых минералов визуалью однородных сероцветных глин проводилось в ходе комплексных исследований вещества, включающих минералого-петрографический, рентге-



ноструктурный, электронно-микроскопический анализ. Структурно-морфологические особенности тонкодисперсных отложений изучались с применением сканирующих электронных микроскопов (СЭМ) и реплик на просвечивающих электронных микроскопах (ПЭМ). Диагностика минеральных ассоциаций проводилась путём выделения фракции менее 0,001 мм и её исследования на установке ДРОН-3, а также с помощью электронных микроскопов TESLA-BS-242 E и 500 E на просвет при увеличении до 18 тыс. крат и более. Для изучения отдельных элементов керогена применялось увеличение более 200000 крат, что позволило судить о микро- и наноструктурных особенностях биогенно трансформированных глин.

С помощью многолетних исследований глинистого вещества на рубеже триаса и юры на территории Прикаспийского региона было установлено, что сложные абиогенные наноструктуры отложений верхнего триаса формировались в условиях болотно-озерно-аллювиальных фаций континентального типа, в Прикаспийской впадине – в основном за счёт переотложения фрагментов кор выветривания с Урала и из других источников сноса, а на территории Мангышлака – также фрагментов гидротермалитов из разрушаемых вулканических аппаратов и пригидротермальных полей. Причиной появления в составе осадков верхнего триаса Прикаспийской впадины материала кор выветривания явилось их широкое распространение на источниках сноса уже в среднетриасовое время.

С историко-геологических позиций коры выветривания среднего триаса в начале позднего триаса стали активно размываться, формируя осадочный чехол. Они детально изучены А. Д. Наумовым [1], явились предметом исследования В. В. Гудошниковой и В. А. Гуцаки [2], Ю.Г. Цеховского [3]. В результате наших исследований [4] было установлено, что синхронная осадконакоплению вулканическая деятельность привела к образованию гидротермалитов на территории Мангышлака и Устюрта на юго-восточной периферии Прикаспийского региона, начиная с раннего триаса [5].

Были получены данные таких площадей, как Гмелинская, Шунгайская, Большое Богдо, Уш-Тюбе, Шар-Царынская, Бугринская, Кусан-Кудукская, Индерская, Жетыбай, Актас, Тасбулак, Северо-Ракушечная, Аксу и др.

Алевро-глинистые осадки пресноводных озёр здесь представлены глинами и алевролитами серых, буро-серых и зеленовато-серых цветов. От аналогичных озёрных образований раннего триаса эти породы отличаются комплексом глинистых минералов (монтмориллонит + гидрослюда), а также обилием углефицированных растительных остатков (15–20%), обуславливающих тонкую горизонтальную слоистость пород. Обилие растительных остатков, отпечатков стеблей и листьев свидетельствует о развитии растительного покрова в пределах водосборных площадей. Алевро-глинистые осадки осолонённых озёр

представлены алевритами и глинами серых и реже буровато-серых тонов. Текстуры пород массивные или слабогоризонтально-слоистые. Структуры алевро-пелитовые. По всей массе пород рассеян тонкозернистый доломит.

Осадки заболоченных озёр представлены серыми и темно-серыми глинами, алевролитами и пелитолитами (сложенными в основном фрагментами кор выветривания). Породы обогащены углистым детритом, вплоть до образования углистых прослоек. В массе углефицированных растительных остатков определяются древесные формы, фрагменты которых частично замещены халцедоном. Присутствие среди аллотигенных глинистых минералов каолинита и смешанослойных фаз монтмориллонит-гидрослюдистого состава связано с разрушением зрелых кор выветривания, описанных В. А. Гуцаки и В. В. Гудошниковым [2]. Аутигенный каолинит и сферолитовые стяжения сидерита свойственны для озерно-болотных фаций, формировавшихся в условиях гумидного климата.

Алевролиты серые, тонкослоистые. Обломочного материала в них 50–85%. Он представлен зёрнами кварца (до 20%), полевых шпатов (1–2%), обломками известняков, глин, кремнистых пород и микрокварцитов. Цемент поровый гидрослюдистого и хлоритового состава. Нередко отмечаются червеобразные аутигенные каолиниты, образованные в кислой среде, характерной для осадков болот. Аутигенный хлорит светло-зеленого цвета обычно заполняет всё поровое пространство, часто образуя каемки и пленки вокруг зерен. Отмечаются таблитчатые монокристаллы аутигенного хлорита в количестве 10–15%, реже 30% размером 0,5–5 мм. Хлоритовый цемент иногда ассоциирует с мелкокристаллическим кальцитом.

Встречаются породы с большим содержанием С орг. до 5–7%, с высокой степенью восстановленности железа и с обилием глобул пирита (10–15%). Для отложений озёрно-болотных фаций верхнего триаса характерным является наличие железистых карбонатов в виде радиально-лучистых новообразований сидерита (20–25%), иногда образующего маломощные (2–3 мм) прослойки, которые в нижнем и среднем триасе не встречаются. Состав болотных отложений отличается от состава аллювия резким сокращением количества полевых шпатов вследствие их интенсивного замещения глинистыми минералами.

Отсутствие на территории Прикаспийской впадины в алеврито-глинистых образованиях верхнего триаса остатков фауны, вероятно, связано с развитием в заболоченных водоёмах зон углекислотного заражения. Ибо трудно представить, чтобы в континентальных водоёмах в условиях тёплого климата с пышно произрастающей растительностью не обитала фауна. Можно предположить, что остатки организмов, имеющих известковый скелет, в условиях диагенеза полностью растворились. В то же время присутствует значительное количество растительных остатков.



Аналогичные отложения в пределах Жетыбай-Узеньско-Кокумбайской площади встречены в разрезе скв. 19 на глубине 3250–3530 м. Наличием мощных однородных пачек отличается Жазгурлинская свита. В разрезе преобладают глины и пелитолиты с мелкими, но различимыми фрагментами кор выветривания и гидротермалитов по туфам, вероятно, озёрные образования. Подчинённое значение имеют крупно- и среднезернистые аллювиальные песчаники, крупнозернистые озерно-аллювиальные и пойменные алевролиты, прослой туфов. Аргиллиты темно-серые, почти чёрные за счёт обилия углефицированного детрита, являются болотно-озёрными образованиями. В связи с предъюрским размывом сохранившаяся мощность верхнего триаса на этой территории изменяется от десятков метров до 270 м.

Поздний триас Мангышлака и Устюрта характеризовался усилением денудации вышедших на поверхность вулканических аппаратов и нивелировкой всех положительных форм рельефа с развитой на них корой выветривания. Аллювиально-озёрные и болотно-озёрные мелководные опреснённые водоёмы в это время заполнялись фрагментами гидротермалитов и кор выветривания, которые ещё не утратили своих вещественно-структурных, а главное, морфологических особенностей «кружевных структур». Самые сложные структуры скорее свойственны гидротермалитам, нежели корам выветривания, поскольку вулканиты и туфы, по которым они сформированы, изначально имели неоднородный состав. Процессы их образования протекали как вблизи подводных, так и выходящих на поверхность вулканических аппаратов.

В составе фрагментов кор выветривания, по данным рентгено-структурного анализа и электронной микроскопии, определены агрегаты каолинита (К) с гидрослюдой (ГС) и монтмориллонитом (ММ), не утратившие реликтовых структур осадочных, метаморфических и изверженных пород; фрагменты гидротермалитов отличаются большим разнообразием минеральных ассоциаций – различными модификациями К, ГС, хлорита, ММ, особенно магнезиального, с участием селадонита, сложных смешанослойных глинистых образований.

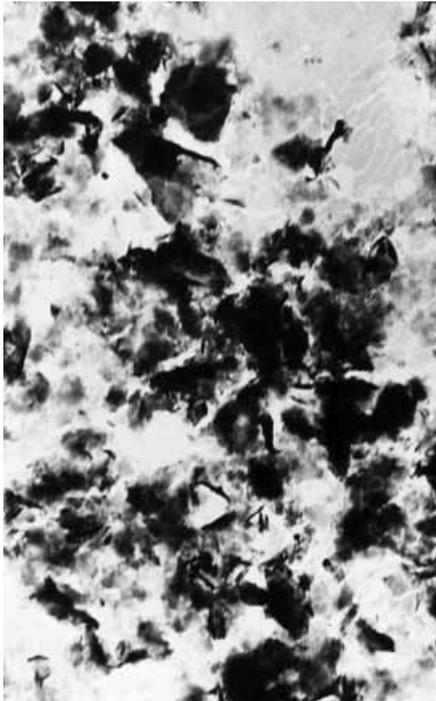
При визуальном изучении породы верхнего триаса часто определяются как серые глины, которые на основании сравнения тончайших признаков оказываются весьма неоднородными. Их структуры имеют обломочную абиогенную природу. Микро- и наноструктуры весьма разнообразны, но также не имеют следов переработки какими-либо организмами. Однородность серых глин триаса и юры с точки зрения структурного аспекта не подтверждается. Особенности структуры и наноструктуры отложений верхнего триаса хорошо иллюстрируются в шлифах и на электронных снимках. Приведём данные по разрезу скважины 35 – П Кусан-Кудукской площади из самой верхней части верхнего триаса (кусан-кудукская свита) (фототабл. 1).

В связи с тем что гидротермальные изменения отложений в разрезах среднего триаса по времени неоднородны, переотложенный в позднем триасе материал может быть свидетельством размыва какой-то определённой части разреза среднего триаса. В нижней части [6] было зафиксировано образование кварц-хлорит-альбитовых метасоматитов в зонах влияния лавы кислого состава и туфолавы на известняки, в средней части отмечалось серицитизация пирокластике в туфах, в верхней части – монтмориллонитизация и гидрослюдизация пепловых частиц в туфах и туффитах. Распределение изменений в разрезах скважин на глубинах от 3200 до 4200 м на площади Северная Ракушка и на глубинах 3200 и 3800 м на площади Южный Жетыбай рассмотрено в приведённой статье. Обломки таких пород в верхнетриасовых разрезах Горного Мангышлака, диагностированных в шлифах, свидетельствующих о размыве нижних и средних частей среднего триаса, показаны в фототабл. 2.

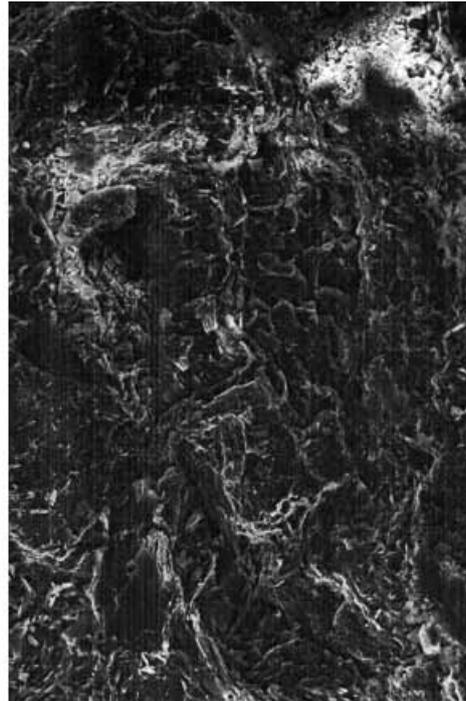
Таким образом, серые глины верхнего триаса Прикаспийского региона оказываются очень неоднородными абиогенными образованиями, сформировавшимися в условиях болотно-озёрно-аллювиальных фаций. Они не сохраняют следов присутствия фауны, но отражают реликтовые особенности первичных комплексов, по которым были развиты коры выветривания в пределах Урала и других источников сноса, а также синседиментационных гидротермалитов по вулканитам и туфогенным осадкам Мангышлака.

Юрский период ознаменовался увеличением акватории морских бассейнов. В ранней юре ландшафты, сходные с позднетриасовыми, уже отличались проникновением морских вод в эстуарии и авандельты. Увеличение дезинтеграции пород на источниках сноса привело к утрате структурных особенностей глинистых остатков кор выветривания и гидротермалитов. Их уже невозможно дифференцировать по генезису. В келловейское время на всей изученной территории распространялся бассейн, в котором накапливались осадки с дисперсным глинистым веществом, пропущенным через пищевые цепи фитопланктона, копепоид, остракод и других микроскопических организмов. Дальнейшее выветривание пород на источниках сноса и неоднократное переотложение дисперсного материала привели к коренному изменению облика осадков и их компонентов.

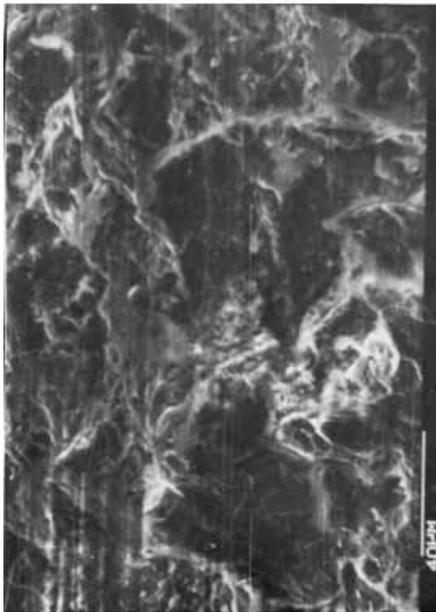
Если формально, по данным рентгено-структурного анализа, мы фиксируем в составе глинистых минералов обилие монтмориллонита и гидрослюды, хлорита, смешанослойной фазы ГС-ММ с прослоями каолинита, глауконита – индикатора морских обстановок, как бы значительно отличающихся от ассоциаций верхнего триаса, то реально имеем дело с совершенно иными по структурным особенностям комплексами, интенсивно переработанными морскими планктонными организмами, особенно кокколитофоридами (фототабл. 3) и другими – от микро-



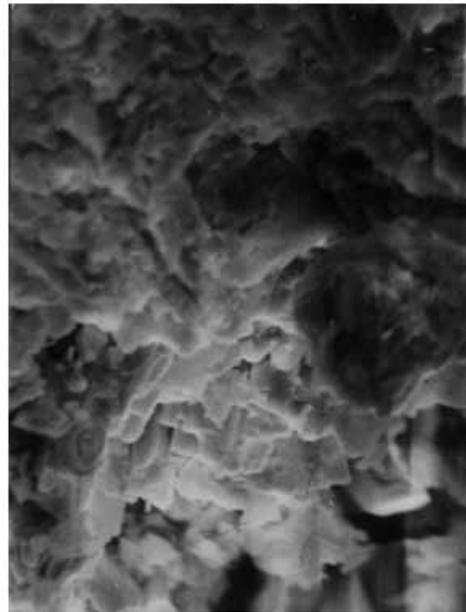
1



2



3



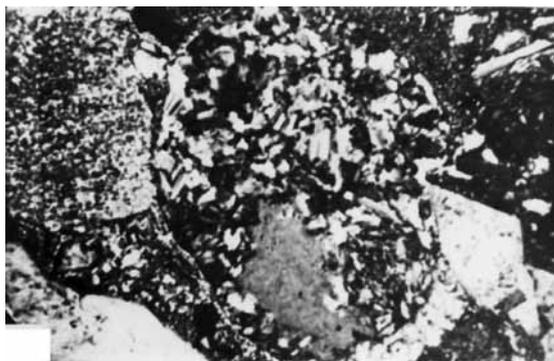
4

Фототабл. 1. Абиогенная структура глин: фиг. 1 – Кусан-Кудукская площадь. Верхний триас. РЭМ. Ув. 4000; фиг. 2 – электронный снимок фракции менее 0.001 мм из глин Кусан-Кудукской площади. ПЭМ, ув. 13000; фиг. 3 – абиогенная наноструктура глин Верхний триас Прикаспийской впадины. РЭМ, ув. 16000; фиг. 4 – пелитолиты, сложенные фрагментами гидротермалитов. Верхний триас Горного Мангышлака. РЭМ, ув. 2000

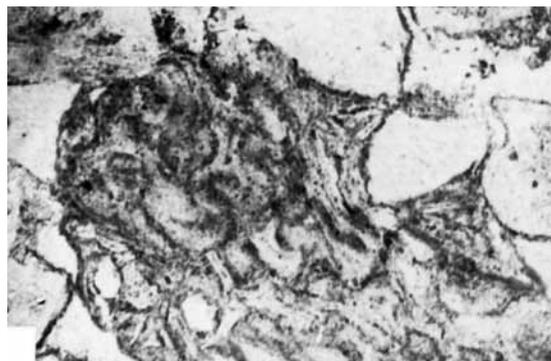
форм до аммонитов. Первичными потребителями нанопланктона становятся фораминиферы и копеподы – обитатели современных морей и океанов.

Литолого-фациальный анализ среднеюрских образований изученного региона показал, что в их

составе преобладают осадки умеренно активного морского мелководья с элементами заливно-лагунных, озерных, болотных и русловых обстановок. Источниками сноса служили равнинные участки суши, покрытые чехлом кор выветривания и бло-

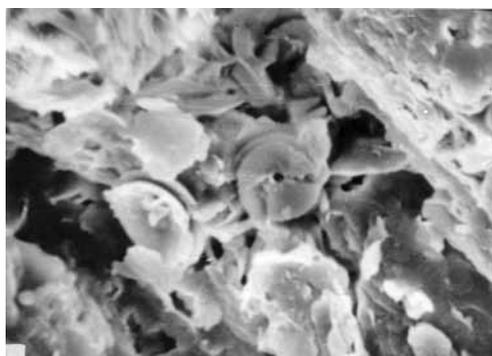


1

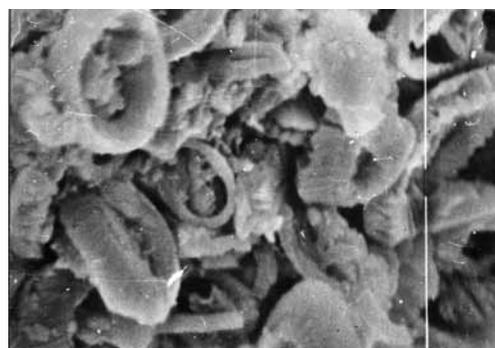


2

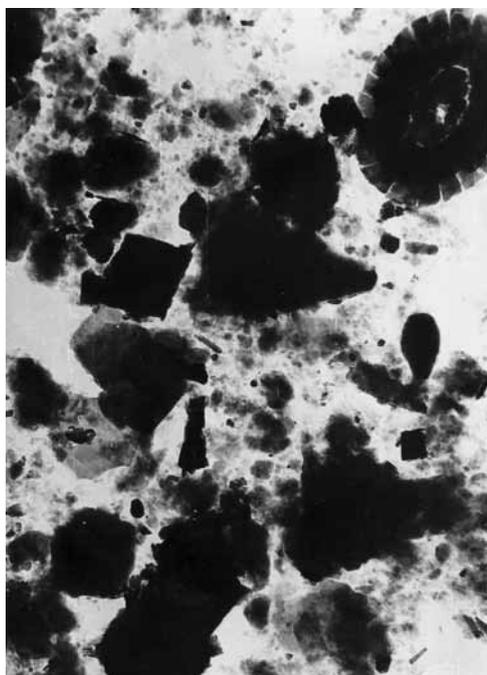
Фототабл. 2. Обломки пород в алевролитах: фиг. 1 – обломки альбитизированных туфов в переотложенном состоянии. Горный Мангышлак. Верхний триас. ПОЛАМ-Р 211.Ник.+ , ув. 300; фиг. 2 – обломки серицитизированных туфов в переотложенном состоянии. Горный Мангышлак. Верхний триас. ПОЛАМ-Р 211.Ник.+ , ув. 300



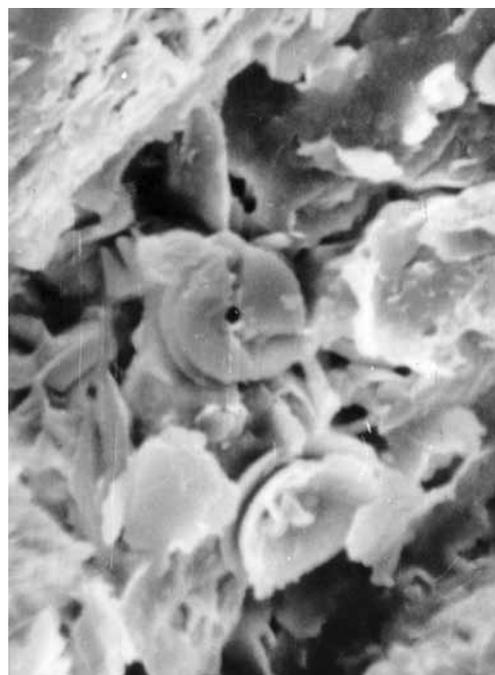
1



2



3



4

Фототабл. 3. Наноструктура глин юрского возраста: фиг. 1 – кокколитовая наноструктура бескарбонатных глин средней юры Поволжья, с. Вязовка. РЭМ, ув. 2000; фиг. 2 – кокколитовая наноструктура бескарбонатных глин средней юры Поволжья, с. Вязовка. РЭМ, ув. 5000; фиг. 3 – частичное замещение кокколита глинистым веществом. Электронный снимок фракции менее 0.001 мм. ПЭМ, ув. 8000; фиг. 4 – кокколитовая наноструктура бескарбонатных глин средней юры Поволжья с. Вязовка. РЭМ, ув. 5000



ки относительно свежих осадочных пород, в том числе красноцветов перми и триаса.

Локальное развитие в среднеюрское время известняков и небольшая толщина их прослоев, некарбонатный состав глин и наличие сидеритовых конкреций и «караваев» свидетельствуют о их отложении в условиях периодически опресняющихся лагун и заливов. На стыке пресных речных и солёных морских вод создавались геохимические барьеры, в пределах которых происходила коагуляция железосодержащих растворов.

В разрезе верхней юры ведущее значение имеют глины известковистые с прослоями известняков, фосфатоносных песчаников, а в зоне *Dorsoplanites panderi* сапропелевых глин и горючих сланцев. Осадки впадин, удалённых от побережья, формировались в раннем и среднем келловее, представлены глинами коричневато-серыми, темно-серыми, массивными, слоистыми, с тонкими прослоями светло-серого слюдистого алеврита.

Глины коричневато-серые на 90–98% сложены пелитовым веществом с оптически ориентированными глинистыми частицами, представленными преимущественно ГС (до 50%), ММ (до 30%) и каолинитом (20%). Содержание алевритовых частиц низкое. Для этих пород характерны реликтовые кокколитоидные наноструктуры. Плохая сохранность кокколитоидов в осадках связана с периодическим «заражением» вод углекислотой, с их охлаждением донными течениями, а также с опресняющим влиянием речного и дождевого стока. Об опреснённом характере бассейна можно судить также по наличию в составе пород аутигенного барита, по преобладанию в глинах бария над стронцием и по существенной роли агглютинированных раковин фораминифер наряду с секреторными.

В начале позднеюрской эпохи море, соединяющееся с бореальным бассейном и распространившееся на всей изученной территории, было довольно мелким. Однако в оксфордском и волжском бассейнах встречались участки с глубоководным режимом седиментации. Обмеление наметилось в северных акваториях к средневолжскому времени, а в поздневолжское время регрессия охватила весь бассейн. Источниками сноса служили пене-пленизированные участки Воронежского свода и плоские возвышенности Татарско-Башкирского свода, что и определило накопление в разнообразных ландшафтных обстановках морского бассейна тонкодисперсных осадков, кажущихся на первый взгляд однородными.

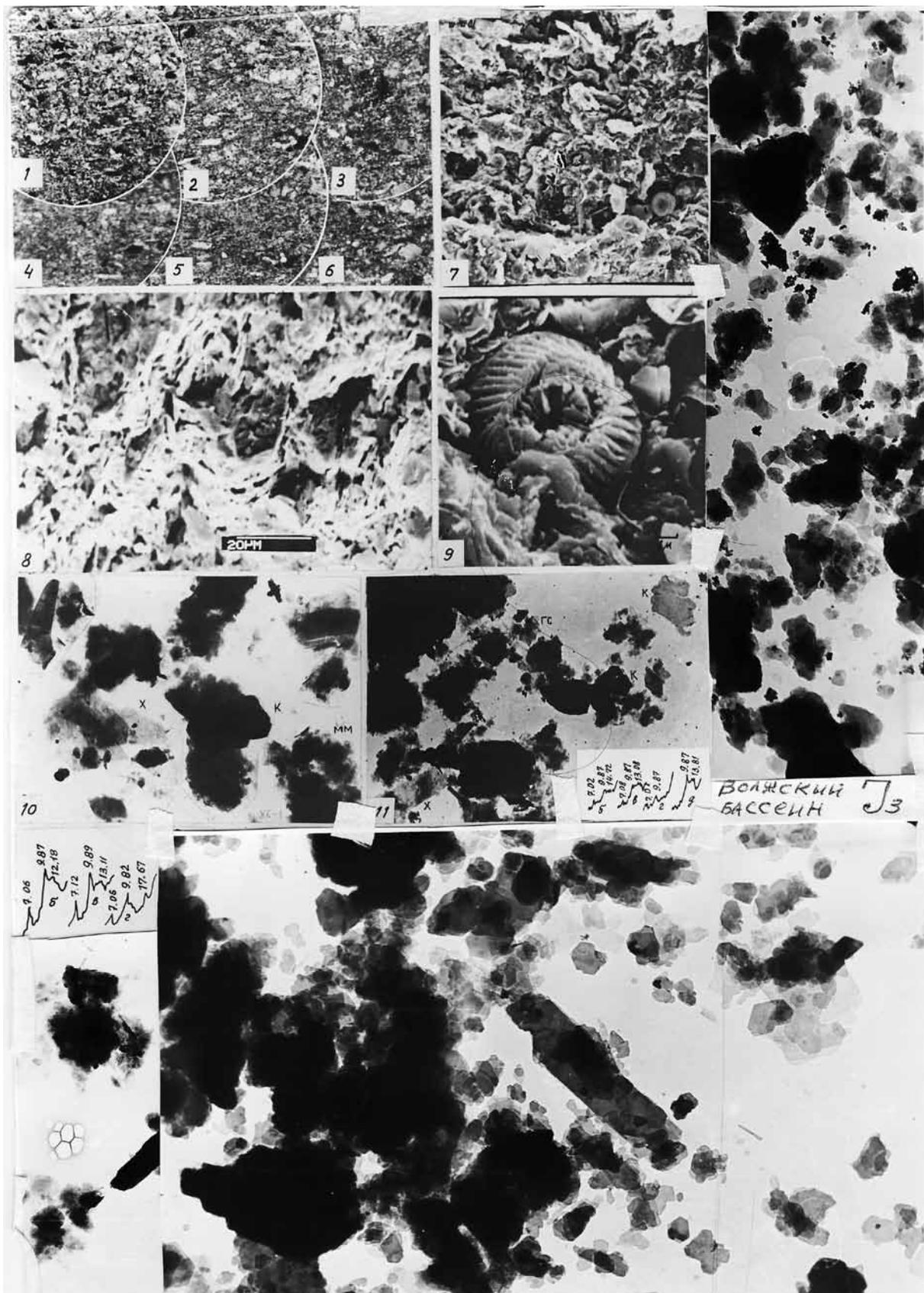
Осадки опреснённых лагун и заливов были широко распространены в средневолжское время. Породы имеют линзовидное залегание, детально изучены в верхней части разреза сланценосной толщи. Представлены глинами слабоизвестковистыми, иногда декарбонатизированными до бескарбонатных (фототабл. 4), с неравномерно распределённой примесью алевритового материала [7]. Они выявлены в ходе изучения сланценосной толщи [8]. Установлено, что наибольшее развитие

такие фации получили на Чаганской площади, в периферических районах Волжского бассейна.

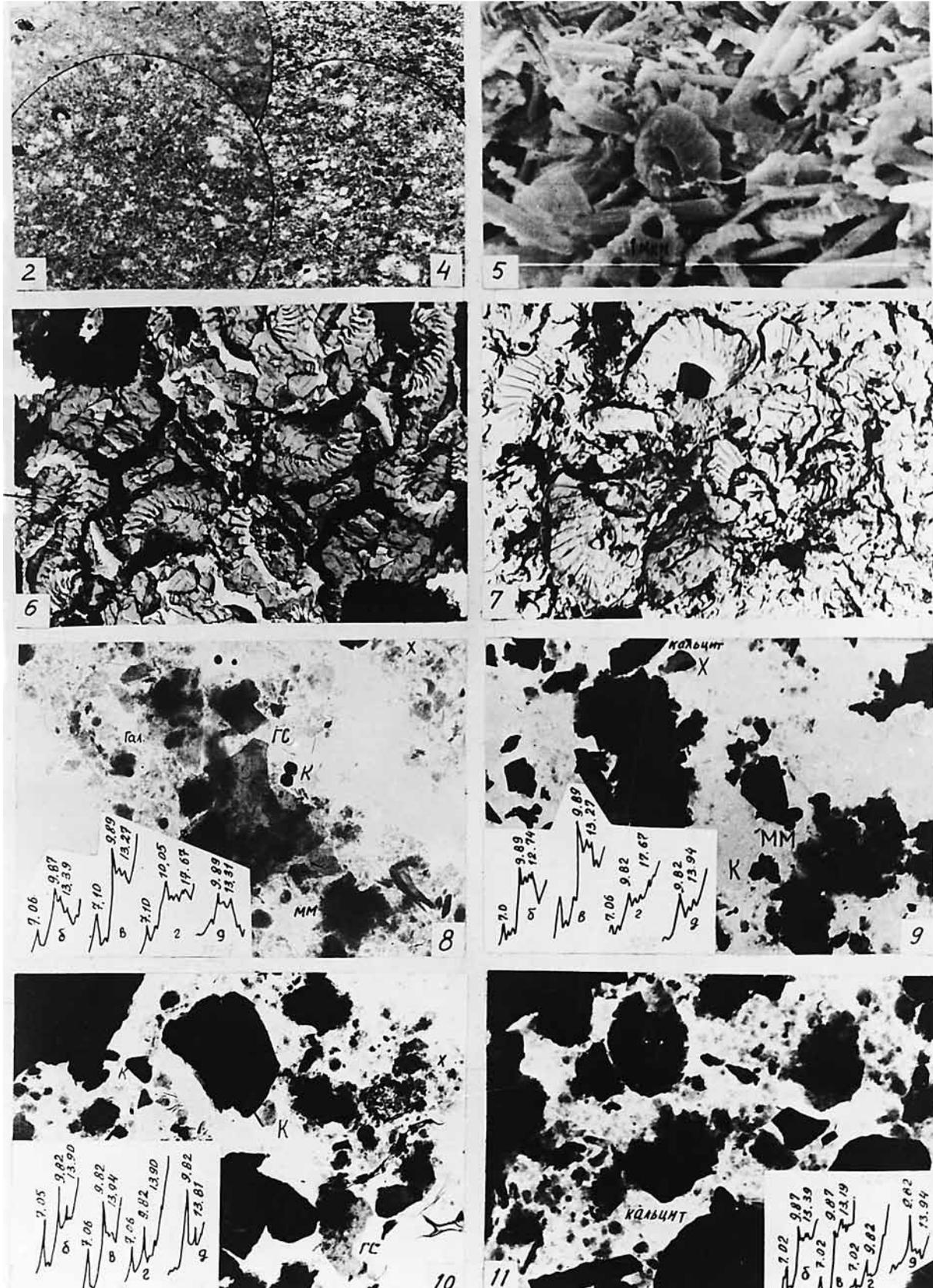
Глины обладают микролинзовой микро-структурой с субпараллельной оптической ориентировкой частиц, повышенной концентрацией слюд, хлопьевидной и реликтовой кокколитоидной наноструктурой (см. фототабл. 4), содержат 3–6% С орг. По данным рентгеноструктурного анализа, в них определяются ММ с магниевым поглощённым комплексом, ГС с разбухающими пакетами, каолинит, почти свежий хлорит. В составе алевритовых частиц преобладает кварц, по направлению к источникам сноса увеличивается роль полевых шпатов и обломков пород. Всегда присутствуют комочки глин с ближних отмелей. В комплексе аутигенных минералов обилие пирит (до 7% алевритовой фракции).

Осадки лагун, заливов и открытого мелководья с неустойчивой солёностью были распространены в конце времени *Dorsoplanites panderi*, представлены в разной степени известковистыми сапропелевыми глинами и горючими сланцами. Породы сложены органическими и минеральными остатками кокколитофорид с примесью глинисто-алеваитового материала. Общей их особенностью является наличие линз и прослоев пород со следами либо декарбонатизации, либо карбонатизации вещества с реликтовой кокколитоидной наноструктурой. Имеющиеся данные указывают на неустойчивый режим не только солёности, но и температур. Растворимость карбонатов в холодных водах повышается, а в перегретых, наоборот, резко снижается, способствуя осаждению кристаллического кальцита, наряду с биогенным. Породы содержат множество остатков фауны плохой сохранности, часто в виде неопределимых ядер. Обилие жизни в мелководной части бассейна было обусловлено наличием пищи в виде фитопланктона, хорошей аэрацией и освещённостью бассейна. Глины верхней части разреза зоны пандери нередко содержат 35–45% К, 30–35% ГС, 15–20% ММ и менее 10% Хл, а у Кашпира количество каолинита снижается, что связано с его локальным распространением. Определяются смешанослойные ГС-ММ образования с переменным содержанием фаз монтмориллонита и гидрослюды. В сапропелевых глинах они пропитаны органическим веществом.

В группе осадков открытого, относительно глубокого моря выделены генетические типы впадин, удалённых от побережья. Они представлены глинами известковыми, пепельно- и голубовато-серыми пластичными, иногда плотными мергелевидными, прослоями неяснослоистыми, с неориентированными микро-структурами. Наноструктура глин кокколитоидная (фототабл. 5), фораминиферо-кокколитоидная, с беспорядочным расположением частиц. Содержание пелитовых компонентов в породах превышает 95%, 30–35% приходится на карбонат кальция в виде скелетных элементов кокколитофорид, более 50% составля-



Фототабл. 4. Наноструктура декарбонизированных глин сланцевосной толщи. Волжский бассейн. Верхняя юра: фиг. 1–6 – ПОЛАМ-Р211, ув. 300. (Ник.+); фиг. 7–9 – РЭМ, ув. 2000–5000; фиг.10–12 – электронные снимки фракции менее 0.001 мм. ПЭМ, ув. 10000–18000



Фототабл. 5. Кокколитовая наноструктура известковых глин сланценой толщи с беспорядочной ориентировкой кокколитов. Волжский бассейн. Верхняя юра: фиг. 1–4 – ПОЛАМ-Р 211, ув. 300. (Ник.+); фиг. 5 – РЭМ, ув. 5000; фиг. 6, 7 – ПЭМ, реплики, ув. 6000; фиг. 8–11 – ПЭМ, ув. 9000



ют глинистые минералы и всего 1–5 % – примесь тонких алевритовых частиц. Все это подчёркивает тонкодисперсный характер отложений самых глубоких участков бассейна. Интересным фактом является несоответствие между структурным и химическим составом глин. На РЭМ и согласно поляризационной картине в шлифах кокколлиты составляют не менее 90% объёма образца (фото-табл. 5) при явном дефиците карбоната кальция. Глинистое вещество обволакивает, отчасти замещает кокколлиты. Оно представлено ММ, ГС, Х, иногда с примесью каолинита. Соотношение первых трех компонентов варьирует в широких пределах как по разрезу, так и по площади с тенденцией нарастания содержания хлорита к периферии – ближе к источникам сноса, а монтмориллонита – к центральным зонам бассейна. Гидрослюда чаще скапливалась в углублениях дна. Биогенная трансформация терригенных частиц в осадках привела к образованию смешанослойных минералов ряда ГС- ММ. Бассейн, вероятно, имел нормальную солёность, отношение Sr к Va составляет от 2 до 5 единиц.

Фауна представлена обильными фораминиферами (*Spiroplectamina*, *Ammobaculites*, *Ammodiscus* и др.), разнообразными моллюсками (*Aucella*, *Pecten*, *Nucula*), остатками ежей, двустворок рода *Vuchia* с изящной хрупкой раковинкой и другой фауны. В составе биоты разнообразны донные ползающие формы [8]. Накоплению глинистого материала, как и в современных впадинах морей и океанов, способствовала не только механическая дифференциация вещества, но и биофильтрация планктонными копеподами и другими организмами. Взвешенный органический детрит вместе с терригенным материалом эти организмы связывали в фекальные комочки, которые оседали на дно.

Известковые кокколлитовые глины являются планктоногенными образованиями. Широкое распространение они получили в оксфорде, кимеридже, подробно изучены в зоне *Dorsoplanites panderi* волжского яруса [8]. В фазу *Virgatites virgatus* они уступили место близким по происхождению мелководным образованиям. Максимальная толщина слоев в разрезах достигает 10–35 м. На протяжении почти всей поздней юры терригенная седиментация играла подчинённую роль, уступив место существенно биогенным процессам.

Накопление осадков протекало на значительном удалении от берегов (приток алевритового материала был сокращён), сопровождалось вулканической деятельностью в удалённых районах, а тончайший пепловый материал заносился в стагнированный бассейн золовым путём. Приведённый иллюстративный материал (см. фото-табл. 3) свидетельствует о существенной связи глинистого вещества с биогенными микро- и наноструктурами. От глин триаса глины юрских бассейнов отличаются иной генетической сущностью, а главное – низким темпом седиментации.

В зависимости от структурных особенностей глин применение их и свойства в процессе каких – либо технологических воздействий не могут быть однозначными. Так, в своё время юрские глины месторождения у с. Вязовки пытались использовать в производстве кирпича. После формования и обжига кирпичи не выдерживали транспортировки и распадались рядом с печами. Причину такого поведения материала требовалось установить. Тогда в ходе исследований с помощью РЭМ мы впервые столкнулись с кокколлитовыми наноструктурами бескарбонатных глин среднеюрского возраста. Гигроскопичность чрезвычайно тонких, генетически обусловленных элементов кокколлитов не даёт возможности получить прочную структуру строительного материала. Необходимы экспериментальные наблюдения в каждом отдельном случае при кажущейся простоте использования «монотонных серых глин».

Основные отличия глинистых минералов в отложениях бассейнов позднего триаса и юры заключаются: 1) в нарастании степени дезинтеграции вещества с утратой реликтовых структурно-морфологических признаков исходных терригенных пород и минералов; 2) в увеличении доли аутигенных фаз; 3) в увеличении степени биогенной трансформации переотложенных терригенных компонентов. Такие особенности глин при недостаточности данных по макро- или микрофауне позволяют уверенно проводить границу триаса и юры по вещественному составу и наноструктурным признакам тонкодисперсных комплексов [9].

Библиографический список

1. Наумов А. Д. Пенеплены. Их геологическое значение как особой генетической категории рельефа материков. Саратов, 1981. 404 с.
2. Гудошников В. В., Гуцаки В. А. Геологическая история Урала в мезозое и Кайнозое // Вопр. геол. Южн. Урала и Поволжья. Саратов, 1970. Вып. 7. С. 153–154.
3. Цеховский Ю. Г. О связи эпох формирования кор выветривания с обстановками растяжения земной коры // Проблемы литологии, геохимии и рудогенеза осадочного процесса: материалы к 1 Всерос. литол. совещ., 19–21 декабря 2000 г. (Москва): в 2 т. М., 2000. С. 375–380.
4. Липатова В. В., Яночкина Э. А., Букина Т. Ф. Межрегиональная корреляция триасовых толщ Прикаспийской впадины, Устюрта и Мангышлака // Проблемы геол. Южн. Урала и Нижн. Поволжья. Саратов, 1991. С. 177–191.
5. Яночкина Э. А., Липатова В. В. Палеогеография и условия осадконакопления Каспийского бассейна седиментации в триасовый период. Саратов, 1991. 68 с. Деп. в ВИНТИ № 505-В91.
6. Яночкина Э. А., Букина Т. Ф. Гидротермально-метасоматические изменения триасовых отложений Южного и Горного Мангышлака (как информативные показатели событийной стратиграфии) // Тр. / НИИ геол. Новая серия. 2001. Т. VII. С. 57–67.



7. Букина Т. Ф. Седиментогенез и ранний литогенез верхнеюрских сланценосных отложений центральной части Волжского бассейна : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М., 1988. 24 с.

8. Кулева Г. В., Яночкина З. А., Букина Т. Ф., Иванов А. В., Барышников В. И., Троицкая Е. А., Еремин В. Н. Разрез верхнеюрских сланценосных отложений Волжского бас-

УДК 550.837

АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЗАДАЧ ГЕОЭЛЕКТРИКИ

В. П. Губатенко*, И. Г. Московский**

* Саратовский государственный университет
E-mail: gubatenkovp@gmail.com

** Саратовский государственный технический университет
E-mail: mosig@mail.ru

Предложен метод нахождения аналитических решений уравнений Максвелла для стационарных и переменных электромагнитных полей. В отличие от классических методов, основанных на решении прямых задач геоэлектрики, данный метод применяет специально поставленную обратную задачу. Разработаны пакеты новых аналитических решений трехмерных задач геоэлектрики.

Ключевые слова: аналитические решения, прямая и обратная задачи, электроразведка.

Analytical solutions of Three-dimensional Geoelectric Problems

V. P. Gubatenko, I. G. Moskovskiy

A method for obtaining analytical solutions of Maxwell equations is proposed for stationary and alternating electromagnetic fields. In contrast to traditional methods of finding the analytical solutions, based on the solution of direct problems of electrical prospecting, this method uses a specially posed inverse problem. A package of new analytical solutions of three-dimensional problems of electrical prospecting is designed.

Key words: analytical solutions, the direct and inverse problems, electrical prospecting.

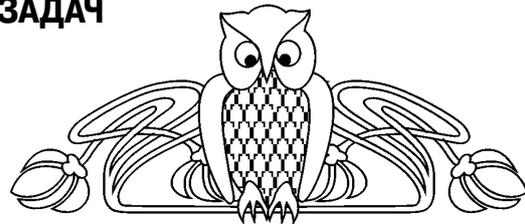
ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] поставлена обратная задача геоэлектрики – отыскание магнитной проницаемости, электропроводности и напряженности магнитного поля по заданной в некоторой односвязной области напряженности электрического поля. Сформулированы условия существования решения этой задачи, а также изложен метод ее решения для постоянных токов и переменного монохроматического электромагнитного поля. В работе [2] представлены простейшие примеры, в частности двумерные задачи, иллюстрирующие предложенный метод нахождения аналитических решений уравнений Максвелла.

В настоящей статье рассмотрим пакеты аналитических решений трехмерных задач геоэлек-

сейна (зона Dorsoplanites panderi) // Тр. / НИИ геологии. Новая серия. 2004. Т. 17. 110 с.

9. Букина Т. Ф. Наноструктуры как индикаторы процессов седиментогенеза в бассейнах триаса и юры Прикаспия, Мангышлака и Западной Сибири. // Проблемы синергетики и эволюции геосфер : материалы Всерос. науч. симп., Саратов, 2008. С. 111–118.



трики, применение которых позволит проводить качественную и количественную интерпретацию полевых результатов электроразведки для сложнопостроенных геологических сред.

1. Трехмерные аналитические решения для стационарного электромагнитного поля

Пусть V – односвязная область евклидова пространства R^3 . Для этой области рассмотрим всевозможные модели геологических сред с различными электрическими свойствами. Вначале исследуем стационарное электромагнитное поле для линейной изотропной среды. В случае отсутствия в V области источников электромагнитного поля векторы \mathbf{E} и \mathbf{H} напряженностей электрического и магнитного поля, электропроводность σ и магнитная проницаемость μ связаны соотношениями (уравнениями Максвелла для стационарных полей)

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \sigma \mathbf{E}, \operatorname{rot} \mathbf{E} = 0, \operatorname{div} \mu \mathbf{H} = 0. \quad (1)$$

Здесь и в дальнейшем предположим, что векторы \mathbf{E} и \mathbf{H} , а также параметры среды σ и μ являются достаточно гладкими и отличными от нуля функциями. В случае неограниченной области V дополнительно потребуем, чтобы $\mathbf{E} \rightarrow 0$, $\mathbf{H} \rightarrow 0$ при бесконечном удалении от границы этой области.

Можно поставить следующую обратную задачу: по заданному в области V вектору \mathbf{E} (или \mathbf{H}) найти в этой области отличные от нуля σ и μ , а также вектор \mathbf{H} (или \mathbf{E}), обращающие соотношения (1) в тождества. Показано [1], что если в области V задан вектор \mathbf{E} , то решение обратной задачи существует тогда и только тогда, когда \mathbf{E} является произвольным отличным от нуля потенциальным вектором, причем это решение не единственное. Если же в области V задан вектор \mathbf{H} , то решение обратной задачи существует и не