

## ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПАЧКИ ЛИНГУЛОВЫХ ГЛИН НА ЮГО-ВОСТОКЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН ПО ДАННЫМ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА И КАРБОНАТНОСТИ

Фахрутдинов Э.И., Нургалиева Н.Г.

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань,  
e-mail: MKS-1989eduard@yandex.ru

Настоящая работа посвящена изучению реперной пачки лингуловых глин с обилием остатков *Lingula orientalis* Gol. в составе байтуганского горизонта и распространенной в Закамье Республики Татарстан. Цель исследования – реконструкция строения и условий осадконакопления пачки лингуловых глин на выбранной территории на основе данных гранулометрического состава и карбонатности пород. Образцы отобраны с учетом литологической неоднородности разреза. Для оценки указанной неоднородности разреза использовался литомодуль. Для определения карбонатности использовались данные по содержаниям CaO в отобранных образцах, измеренным методом рентгено-флуоресцентного анализа с использованием спектрометра Bruker. Анализ гранулометрического состава производился с использованием анализатора размера частиц Bluewave. Представлены результаты измерения и интерпретации гранулометрического состава и карбонатности пород 13-метровой толщи указанной пачки, обнажающейся в междуречье р. Лесная Шешма и Инэш на юго-востоке Республики Татарстан. Установлено, что изучаемая пачка лингуловых глин сложена двумя десятками слоев, большая часть которых представлена глинами известково-алевритовыми, алевритами известково-глинистыми и мергелями алевритовыми и глинисто-алевритовыми. Анализ гранулометрического состава и содержания карбонатов показал значительное преобладание пелитовой и алевритовой фракций, а также существенную карбонатность пород, что характерно для типов разрезов, распространенных в Закамье Республики Татарстан. Гистограммы распределения гранулометрических фракций имеют бимодальный характер, что свидетельствует о неоднородности состава изучаемых отложений, обусловленной значительными содержаниями мелкоалевритовой и среднелитовой фракций. Карбонатность изменяется значительно: максимальное значение почти в три раза превышает минимальное значение. Установлено, что вариации значений параметров гранулометрического состава (содержания фракций, модальные характеристики) и карбонатности отражают особенности пачки лингуловых глин согласно литолого-фациальной модели Н.Н. Форша. Изучаемая пачка соответствует осадочному циклу пятого порядка, а скорость осадконакопления оценивается значением ~0,6 мм/год.

**Ключевые слова:** нижнеказанский подъярус, пачка лингуловых глин, гранулометрический состав, карбонатность, модель Н.Н. Форша

*Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания, проект № FZSM-2023-0023 в сфере научной деятельности.*

## LITHOFACIES FEATURES OF LINGULA CLAY PACKAGE IN THE SOUTHEAST OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN BASED ON GRANULOMETRIC COMPOSITION AND CARBONATE CONTENT

Fakhrutdinov E.I., Nurgalieva N.G.

Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, e-mail: MKS-1989eduard@yandex.ru

The present work is dedicated to the study marker package of a Lingula clay with an abundance of remains of *Lingula orientalis* Gol. in the Baitugan horizon, widespread in the Kama region of the Republic of Tatarstan. The purpose of the study was the reconstruction of the structure and conditions of sedimentation of a package of Lingula clay in the selected territory based on data from the granulometric composition and carbonate content of the rocks. The samples are selected based on the lithological heterogeneity of the section. A lithomodule was used to assess the aforementioned heterogeneity. Carbonate content was determined using data on CaO concentrations in selected samples, measured by X-ray fluorescence analysis using a Bruker spectrometer. Granulometric analysis was performed using a Bluewave particle size analyzer. The results of the measurement and interpretation of the granulometric composition and carbonate content of rocks in a thirteen-meter thickness section of the specified package, exposed in the interfluvium of the Lesnaya Sheshma and Inesh rivers in the southeast of the Republic of Tatarstan, are presented. It was established that the studied Lingula clay package consists of couple dozen layers; most of them are represented by calcareous-silty clays, calcareous-clayey siltstones, and silty-clayey and clayey-silty marls. Analysis of the granulometric composition and carbonates revealed a significant predominance of pelitic and silt fractions, as well as a substantial carbonate content of the rocks, which is characteristic of the section types widespread in the Kama region of the Republic of Tatarstan. The histograms of the granulometric fraction distribution have a bimodal character, indicating the heterogeneity of the composition of the studied sediments, due to significant contents of of fine-silt and medium-pelitic fractions. Carbonate content varies significantly: the maximum value is almost three times the minimum value. It was established that variations in the values of granulometric composition parameters (fraction content, modal characteristics) and carbonate content reflect the features of the Lingula clay package according to the lithological-facies model by N.N. Forsch. The studied package corresponds to a fifth-order sedimentary cycle, and the rate of sedimentation is estimated at ~0.6 mm/year.

**Keywords:** Lower-Kazanian substage, lingual clay package, granulometric composition, carbonate component, model by N.N. Forsch

*The work was carried out using funds from a subsidy allocated to Kazan Federal University to fulfill a state assignment, project No. FZSM-2023-0023 in the field of scientific activity.*

### Введение

В разрезе среднепермских отложений на территории Республики Татарстан широко распространены так называемые «лингуловые глины», относящиеся к байтуганскому горизонту нижнеказанского подъяруса.

Актуальность изучения пачки лингуловых глин связана с тем, что она имеет региональное распространение и является специфическим маркером истории осадко-накопления в казанское время на значительной части территории востока Русской плиты. Пачка лингуловых глин имеет большое значение в строении природных резервуаров углеводородов, выступая надежной крышкой для залежей сверхвязких нефтей, находящихся в песчаных отложениях нижележащего шешминского горизонта уфимского яруса.

Первые упоминания о нахождении беззамковых брахиопод *Lingula Orientalis* Gol. в пермских отложениях находятся в работе Николая Алексеевича Головкинского в 1868 г. [1].

А.М. Зайцев в 1878 г. при изучении обнажений правобережья р. Камы от села Усолье до г. Елабуги описал в разрезе светло-серые мергели и глины с остатками *Lingula orientalis* Gol. [1].

Значимые результаты по лингуловым глинам содержатся в отчетах Ф.Н. Чернышева в 1888 г., где он изучал левый берег верховья р. Ик. В его работе подчеркнута, что беззамковые брахиоподы *Lingula orientalis* Gol. являются «особенной характерной формой, покрывающей нередко сплошь поверхности наслаения песчанистого мергеля, который вполне заслуживает название «лингулового мергеля». Горизонт серого мергеля с остатками *Lingula orientalis* Gol. четко выявляется во многих разрезах и выступает опорным горизонтом при сравнении и корреляции пермских отложений Прикамья [1].

В 1915 г. А.В. Нечаев сделал вывод о двухчленном строении казанского яруса, выделив нижний спириферовый и верхний конхиферовый подъярусы [1].

Спириферовые и конхиферовые слои как стратиграфические подразделения, соответствующие подъярусам, изучались в работах А.В. Нечаева.

В 1934 г. Г.В. Распопов разделил спириферовый подъярус (среднее течение р. Ик) на две пачки: нижнюю (серые песчаники с *Lingula orientalis* и растительными остатками) и верхнюю (известняки с прослоями

глин, мергелей и горючих сланцев и углей). Отмечаются значительные литологические и фаунистические изменения с запада на восток.

В 1936 г. А.В. Миртова предложила схему нижнеказанских отложений в районе Сокольников, выделив четыре серии: серые глины с *Lingula orientalis* Gol.; плитчатые известняки; переслаивание глин, мергелей и песчаников; оолитовые/песчаные известняки и известковые песчаники с *Pseudomonotis garfortensis* King.

Исследования по уточнению строения лингуловых глин по берегам Камы и Вятки были также проведены в работах А.П. Блудорова в 1938 г. и в работах Г.П. Игнатовича в 1939 г. [1].

Выдающееся значение имеют труды Н.Н. Форша по систематическому изучению казанских отложений с построением палеогеографических карт байтуганского, камышлинского и барбашинского времени для востока Русской плиты, представленных в [2]. На этих картах лингуловые глины, сложенные глинистыми разностями с лингулами, двустворчатыми моллюсками и замковыми брахиоподами, относятся к зонам мелководного морского шельфа, лагун и низменностей, и их накопление шло в условиях семиаридного и семигумидного климата (рис. 1, А).

Детальное исследование петрографии и гранулометрии лингуловых глин в камских и икских разрезах (рис. 1, Б, разрезы обозначены черными треугольниками) известно из работы А.С. Ильясовой [3, с. 45–166]. В этой работе были выделены основные петротипы пород лингуловой толщи. Лингуловые глины сложены глинистыми, алевролитовыми, известково-глинистыми и мергелистыми разностями. Территориально только глины представлены в обнажениях по правобережью р. Камы. В остальных разрезах глины перемежаются с другими петротипами (например, по р. Ик – Абсалямово, Муслумово). Макроскопически глины – плотные породы серого цвета, тонко горизонтально слоистые. На плоскостях напластования наблюдаются скопления листочков слюд, раковин лингул, растительные остатки. Глины из обнажений сильно выветрелые, с выделениями гидроокисей железа, в отличие от глин керна скважин, в которых отмечается обилие вкраплений пирита. Глины всегда в той или иной степени известковистые. По содержанию алевролитового и карбонатного материала выделяются три типа глин: 1) Глины алевроитовые с содержанием

кластики 11–38%; 2) Глины известковистые с содержанием карбонатного материала 9–20%; 3) Глины промежуточного типа: известково-алевроитовые (алевроитовый материал преобладает над известковистым) и алевроито-известковистые (карбонатный материал преобладает над алевроитовым).

В работе Н.Г. Нурғалиевой и др. [4] представлена первая карта изопакит лингуловых глин на территории востока Республики Татарстан (рис. 1, Б). Карта построена на основе данных интерпретации диаграмм гамма-каротажа по многочисленному фонду скважин структурного бурения (на карте они показаны точками, рис. 1, Б). Толщины изучаемой пачки увеличиваются в юго-западном и южном направлениях, что указывает на возможный снос обломочного материала с северо-восточных и северных возвышенных участков.

Обобщение данных по лингуловым глинам по [3, с. 105–146; 4] позволило установить, что распространенностью пользуются глины известковистые и промежуточного типа, а также мергели и алевролиты.

Различаются по крайней мере два типа разреза байтуганских слоев с разным строением лингуловых глин: красногорский и приказанский [3, с. 105–146; 4]. В Закамье Татарстана распространены разрезы, близкие по строению к приказанскому типу. В пачке лингуловых глин здесь наряду с преобладающим петротипом глин заметное значение приобретают мергели, мергели алевроитовые и мергели алевроито-глинистые, а также алевролиты и известняки в виде тонких слоев.

Лингуловые глины соответствуют трансгрессивному седиментационному комплексу [4; 5].

Несмотря на значительный объем исследований лингуловых глин, изученность литофациальных особенностей пачки остается недостаточно полной, особенно в разрезах Закамья Республики Татарстан, что снижает информативность реконструкции условий осадконакопления и затрудняет создание надежных моделей в минерагенических целях. Таким образом, существует необходимость в более детальном изучении в указанном регионе литологии лингуловых глин, в первую очередь их гранулометрического состава и карбонатности.

В настоящей статье впервые предлагается рассмотрение строения и генетических особенностей разреза лингуловых глин, находящегося в междуречье р. Лесная Шешма и Инэш, где отмечается участок с толщиной лингуловой пачки 10–15 м (рис. 1, Б).

**Цель исследования** – реконструкция условий осадконакопления в начале раннеказанского времени на выбранной территории на основе данных гранулометрического состава и карбонатности пород.

#### *Характеристика объекта*

Объектом исследования в данной статье являются отложения пачки лингуловых глин обнажения А1 (географические координаты: 54°31' с.ш., 52°12'10" в.д.) в междуречье р. Лесная Шешма и Инэш, в районе с. Каркали, в 19 км от г. Лениногорска на юго-востоке Республики Татарстан.

Пачка лингуловых глин входит в состав сводного разреза нижеказанских отложений, составленного на основе изучения восьми искусственных и естественных обнажений (А1–А8) (рис. 2). Описание сводного разреза приведено в работах [6; 7]. В указанных работах пачка лингуловых глин обозначена как пачка № 6. Общая толщина пачки составляет 13 м.

На основе полевого описания и литологических данных в пачке № 6 выделяется 20 слоев снизу вверх.

Слой 6–1: Переслаивание глины, алевролита и мергеля. Глина серая слоистая, отмечается в нижней и верхней частях слоя (общая толщина 1 м), с остатками сетчатых мшанок *Trepotomida*, брахиопод *Beecheria netschaevi* Grunt, *Licharewia rugulata* (Kutorga), конодонтов *Kamagnathus khalimbadzhae* Chern., и двустворок *Pseudobakewellia ceratophagaeformis* Noin., *Netschajewia sp.* Алевролит серый известково-глинистый, с толщиной 1,36 м, в средней части слоя; мергель светло-серый глинисто-алевроитовый, с толщиной 0,4 м, в средней части слоя. Общая толщина слоя – 2,76 м.

Слой 6–2: Мергель светло-серый плотный алевроитовый слоистый, с плитчатой отдельностью. Толщина – 0,05 м.

Слой 6–3: Глина серая, с субгоризонтальной слоистостью, с остатками брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Общая толщина – 0,15 м.

Слой 6–4: Алевролит светло-серый известково-глинистый горизонтально слоистый, с остатками брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина – 1,1 м.

Слой 6–5: Алевролит зеленовато-серый известково-глинистый, с остатками брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина – 0,65 м.

Слой 6–6: Известняк серый пелитоморфный, участками конкреционный, с остатками брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина – 0,15 м.

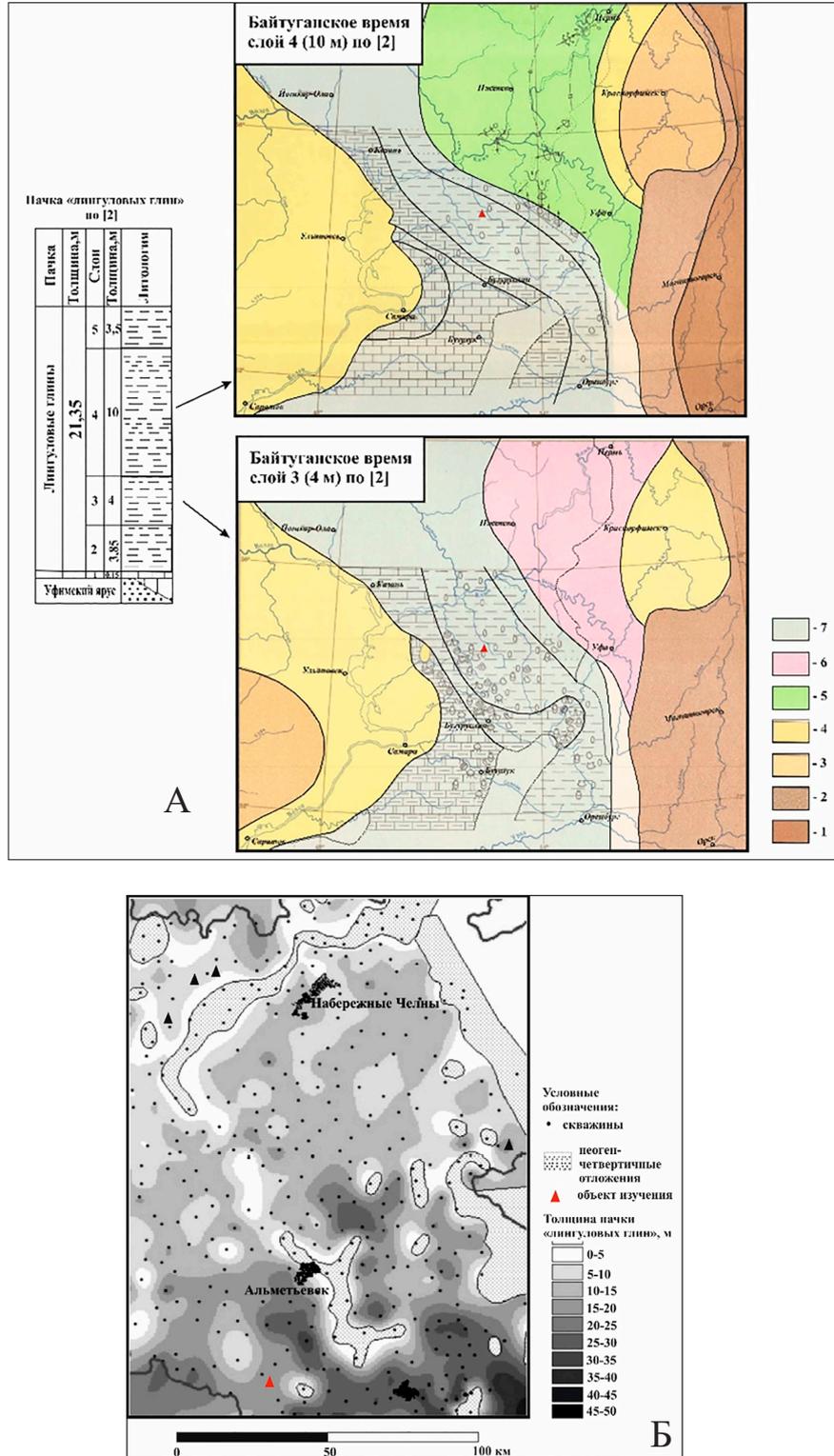


Рис. 1. Лингуловые глины. А – литолого-палеогеографические карты по Н.Н. Форицу: 1 – высокогорная суша, область размыва; 2 – низко- и среднегорная суша, в основном область размыва; 3 – равнина возвышенная, плато; 4 – предгорная низменность с болотами, озерами, речными долинами, пресноводными лагунами; 5 – опресненные бассейны (лагуны) с эпизодическими морскими ингрессиями; 6 – море внутреннее, залив, озеро с пониженной соленостью; 7 – море, мелкая часть шельфа, прибрежная зона. Б – карта изопахит пачки «лингуловых глин». Красным треугольником отмечен изучаемый разрез. Черными треугольниками отмечены ранее изученные разрезы. Источник: составлено авторами на основе [2; 3, с. 115; 4]

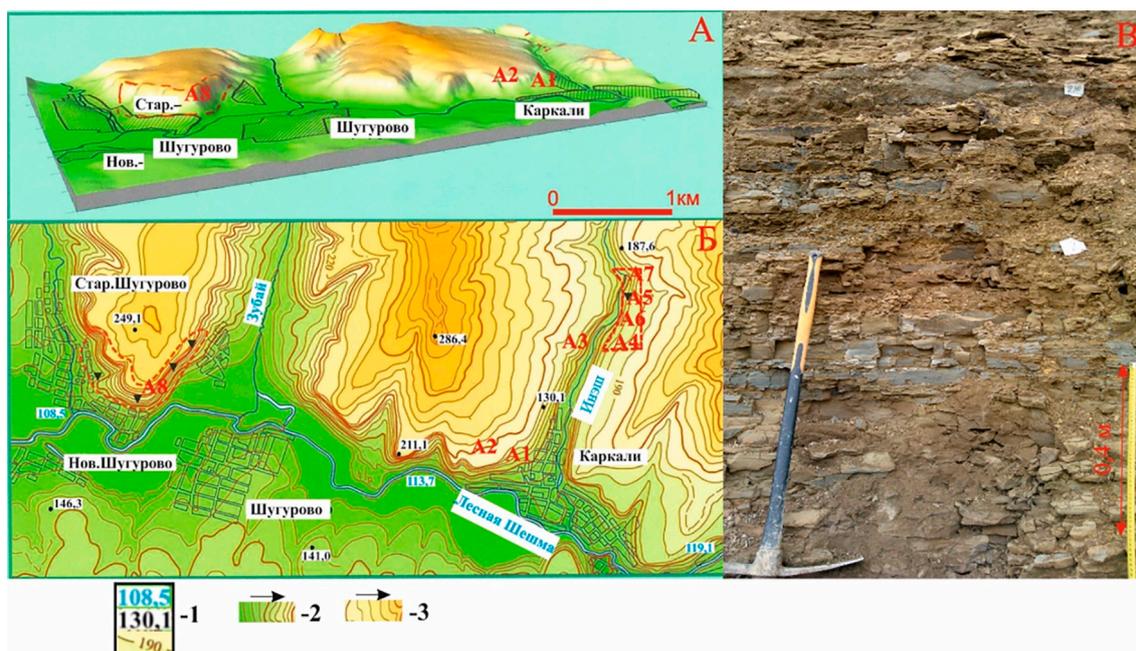


Рис. 2. Объект исследования (обозначения А1–А8 соответствуют точкам обнажений: А – трехмерная физико-географическая модель района исследований. Б – топографическая карта. Условные обозначения: 1 – абсолютные отметки, 2 – абсолютные отметки 120–200 м, 3 – абсолютные отметки >200 м. В – обнажение А1 пачка № 6 «Лингуловые глины»  
Источники: составлено авторами на основе [6; 7]

Слой 6–7: Переслаивание глин и алевролитов. Глина серо-зеленая алевролитовая с толщиной 1,6 м; алевролит известково-глинистый с толщиной 0,6 м, с сетчатymi и ветвистыми мшанками *Trepotomida*, двустворками *Nuculana kasanensis* (Vern.), *Pseudobakewellia ceratophagaeformis* Noin., *Schizodus rossicus* Vern. и остатками брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина 2,2 м.

Слой 6–8: Известняк серый пелитоморфный, участками конкреционный, с остатками брахиопод *Lingula orientalis* Gol. *Licharewia rugulata* (Kutorga). Толщина – 0,06 м.

Слой 6–9: Глина серая, алевролитовая, известковая с остатками брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина 0,94 м.

Слой 6–10: Мергель светло-серый алевролитовый слоистый. Толщина – 0,3 м.

Слой 6–11: Глина светло-серая известково-алевритовая с остатками двустворок *Nuculana kasanensis* (Vern.), *Pseudobakewellia ceratophagaeformis* Noin. и брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина 0,2 м.

Слой 6–12: Глина серо-зеленая с остатками сетчатых и ветвистых мшанок *Trepotomida*, двустворок *Pseudobakewellia ceratophagaeformis* Noin. и брахиоподами *Licharewia rugulata* (Kutorga). Общая толщина – 0,3 м.

Слой 6–13: Мергель светло-серый плотный глинисто-алевритовый. Толщина – 0,2 м.

Слой 6–14: Известняк серый пелитоморфный, участками конкреционный. Толщина – 0,05 м.

Слой 6–15: Глина светло-серая известково-алевритовая с остатками морских остракод *Healdia postcornuta* Schn., *Bairdia sobolevensis* Khivintseva, *B. ex gr. Porrecta Gusseva*, *B. kandyzensis* Khivintseva, *B. cf. cultrataeformis* Gusseva, *Lobobairdia rostriformis* Chen, *Healdianella vulgata* Kotschetkova, *Healdia subtriangula* Kotschetkova, *Acratia semilunulata* (Netschaev), *Cavellina unica* Kotschetkova и брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина – 0,95 м.

Слой 6–16: Известняк серый пелитоморфный, участками конкреционный. Толщина – 0,05 м.

Слой 6–17: Глина светло-серая известково-алевритовая с остатками двустворок *Pseudobakewellia ceratophagaeformis* Noin, остракод *Healdia postcornuta* Schn. *Bairdia sobolevensis* Khivintseva, *Healdia subtriangula* Kotschetkova и брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина – 0,95 м.

Слой 6–18: Известняк светло-серый пелитоморфный, участками конкреционный. Толщина – 0,05 м.

Слой 6–19: Мергель светло-серый алевритовый с остатками двустворок *Pseudobakewellia ceratophagaeformis* Noin., *отпечаток Healdia postcornuta* Schn. Толщина – 0,66 м.

Слой 6–20: Глина светло-серая, зеленоватая, известково-алевритовая, с остатками двустворок *Nuculana kasanensis* (Vern.), *Pseudobakewellia ceratophagaeformis* Noin и брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина – 1,23 м.

**Цель исследования** – реконструкция строения и условий осадконакопления пачки лингуловых глин на выбранной территории на основе данных гранулометрического состава и карбонатности пород.

#### Материалы и методы исследования

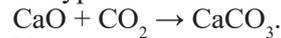
Для исследования гранулометрического состава и карбонатности было отобрано 15 образцов со средним шагом ~0,8 м с учетом литологической неоднородности разреза. Для оценки указанной неоднородности разреза использовался литомодуль. Расчет значений литомодуля производился по правилам определения средневзвешенного значения ранга с учетом ранга петротипа и толщины слоя, сложенного данным петротипом, согласно работе Ю.В. Семеновского в 1973 г. Петрографические типы ранжировались как 2 (алевролит), 3 (глина), 4 (мергель), 5 (известняк) согласно закону фаций Н.А. Головкинского [1].

Гранулометрический анализ и определение карбонатности проведены для образцов из слоев 6–1 (обр. 23, уровень отбора (у.о.) от подошвы казанского яруса – 1,45 м; обр. 24, у.о. – 1,66 м; обр. 25, у.о. – 1,96 м; обр. 26, у.о. – 2,46 м); 6–4 (обр. 29, у.о. – 3,46 м); 6–5 (обр. 30, у.о. – 4,46 м); 6–7 (обр. 33, у.о. – 6,46 м); 6–9 (обр. 35, у.о. – 7,96 м; обр. 36, у.о. – 8,46 м); 6–11 (обр. 37, у.о. – 8,96 м); 6–13 (обр. 38, у.о. – 9,46 м); 6–15 (обр. 39, у.о. – 10,46 м); 6–17 (обр. 40, у.о. – 11,46 м); 6–19 (обр. 41, у.о. – 12,17 м); 6–20 (обр. 43, у.о. – 13,4 м) со значениями литомодуля от 2 до 4.

Для определения карбонатности использовались данные по содержаниям СаО в отобранных образцах, измеренным в лаборатории геохимии, изотопного и элементного анализа КФУ методом рентгено-флуоресцентного анализа (спектрометр Bruker S8 Tiger) в [7; 8]. Данный подход не учитывает содержание доломита и других карбонатов. Однако установлено, что содержание карбоната кальция значительно превалирует над содержанием доломита в исследуе-

мом разрезе (других карбонатных минералов не обнаружено) [6–8], и карбонатность, определенная по СаО<sub>карб</sub>, выступает оценочным прокси, в основном отражающим карбонатную составляющую в изучаемых образцах. Оценка содержания СаО<sub>карб</sub> проводилась по разнице между содержаниями СаО и Са\*О, где Са\* – силикатный кальций, рассчитанный согласно методике S.M. McLennan (1993 г.) [1; 5].

Для расчета содержания СаСО<sub>3</sub> применен стехиометрический подход, основанный на уравнении химической реакции



Уравнение показывает, что на 1 моль СаО приходится 1 моль СаСО<sub>3</sub>. Следовательно, для перевода массы СаО в массу СаСО<sub>3</sub> можно использовать коэффициент, рассчитанный на основе соотношения молярных масс этих веществ.

Молярная масса СаО составляет 56,08 г/моль, а молярная масса СаСО<sub>3</sub> – 100,09 г/моль. Коэффициент рассчитывается как отношение молярной массы СаСО<sub>3</sub> к молярной массе СаО и его значение составляет ≈ 1,7857. Таким образом, карбонатность (содержание СаСО<sub>3</sub>) определялась согласно выражению

$$\text{Карбонатность (\%)} = 1,7857 * \text{СаО}_{\text{карб}} (\text{мас. \%}).$$

В процессе пробоподготовки навеску образца 2 г обрабатывали 10% НСl в течение недели до полного удаления карбонатов. Осадок отмывали дистиллированной водой центрифугированием (3 раза по 3 мин при 3000 об/мин) до нейтрального рН.

Следующий этап пробоподготовки образца к гранулометрическому анализу включал удаление органической компоненты из осадка. Образец обрабатывали 30% Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub> (12 дней, смена Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub> каждые 3 дня). Остатки Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub> удаляли отмывкой дистиллированной водой центрифугированием. Разложение органических компонентов проводилось при комнатной температуре.

Далее, высушенные пробы просеивали через сито 2 мм. Фракции > 2 мм отсутствовали. Дальнейший гранулометрический анализ проводился методом лазерной гранулометрии.

Анализ гранулометрического состава производился в лаборатории геохимии, изотопного и элементного анализа КФУ с использованием анализатора размера частиц Bluewave (Microtrac, США, заводской номер BCR66-MW08012403), совмещенного с системой загрузки и циркуляции пробы с интегрированным ультразвуковым

диспергатором. Метод основан на анализе дифракции света от частиц суспензии, где интенсивность рассеяния обратно пропорциональна размеру частиц.

Результаты гранулометрического анализа представлялись в виде таблицы с содержанием гранулометрических фракций < 0,001; 0,001–0,005; 0,005–0,01; 0,01–0,05; 0,05–0,1; 0,1–0,16 мм. Составлялась также таблица с соотношением пелитовой, алевритовой и карбонатной составляющих. Для обобщения гранулометрических данных строились гистограммы (на оси абсцисс указаны конечные (максимальные) размеры зерен гранулометрических фракций, а на оси ординат – процентное содержание гранулометрических фракций) и кумулятивные кривые (на оси абсцисс указаны конечные (максимальные) размеры зерен, на оси ординат – «нарастающие проценты» содержаний фракций), определялись различные гранулометрические параметры (моды, соотношение гранулометрических фракций различных мод, медианный размер зерен, коэффициенты сортировки и асимметрии) (например, [8–10]).

Для наиболее эффективного использования гранулометрических коэффициентов в реконструктивных целях учитывались закономерности распределения размеров зерен и проводилась проверка применимости гранулометрических параметров для интерпретации гранулометрической совокупности.

По диаграмме кривых распределения фиксировались содержания размерных фракций, сортировка, асимметрия в распределении частиц. Если породы хорошо сортированы, то наблюдается одна мода – это однородная совокупность. Медианный (Md) и средний размер зерен, коэффициент сортировки ( $S_o$ ) и асимметрии ( $S_k$ ) наиболее информативны в этом случае. Для плохо отсортированных разностей корректнее опираться на собственно содержания гранулометрических фракций, число мод, соотношение их амплитуд, на основе работы С.А. Ковалю, 2001 г. [9–11].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты гранулометрического анализа и определения карбонатности представлены в табл. 1 и 2.

По результатам гранулометрического анализа (табл. 1) содержание пелитовой фракции (сумма содержаний фракций < 0,001; 0,001–0,005; 0,005–0,01 мм) изменяется от

35,28% (обр. 23) до 67,92% (обр. 38) со средним содержанием 52,7%; содержание алевритовой фракции (сумма содержаний фракций 0,01–0,05; 0,05–0,1 мм) – от 32,08% (обр. 38) до 64,72% (обр. 23) со средним содержанием 47,22%. Псаммитовая фракция (0,1–0,16 мм) отмечена лишь в трех образцах и характеризуется малыми содержаниями (обр. 25 – 0,07%, обр. 29 – 0,72%, обр. 30 – 0,36%). Вверх по разрезу выше обр. 30 наблюдается присутствие только пелитовой и алевритовой фракций (табл. 1).

Карбонатность довольно значительна, варьирует от 13 до 37% со средним значением 23% (табл. 2). Вверх по разрезу отмечается увеличение карбонатности (табл. 2).

По данным гранулометрии и определения карбонатности исследуемая выборка образцов представлена следующими петротипами согласно классификации [3, с. 45–86]: глина известково-алевритовая (5 образцов: обр. 35 слой 6–9; обр. 37 слой 6–11; обр. 39 слой 6–15; обр. 40 слой 6–17; обр. 43 слой 6–20), алевролит известково-глинистый (7 образцов обр. 23, 25 и 26 слой 6–1; обр. 29 слой 6–4; обр. 30 слой 6–5; обр. 33 слой 6–7; обр. 36 слой 6–9); мергель глинисто-алевритовый (2 образца: обр. 24 слой 6–1; обр. 38 слой 6–13); мергель алевролитовый (1 образец: обр. 41 слой 6–19) (табл. 2, рис. 3).

Таким образом, изучаемые лингуловые глины относятся к типу разрезов, распространенных в Закамье Республики Татарстан и сложены глинами известково-алевритовыми, алевролитами известково-глинистыми и мергелями алевролитовыми и глинисто-алевритовыми.

На рис. 4, А и Б, показаны гистограммы и кумулятивные кривые содержаний гранулометрических фракций. В табл. 3 представлены значения гранулометрических параметров.

Все образцы характеризуются бимодальными гистограммами (рис. 4, А), то есть авторы имеют дело с неоднородными совокупностями. Следовательно, Md,  $S_o$ ,  $S_k$  недостаточно информативны для характеристики гранулометрического состава (например, [12–14]). В этом случае целесообразнее пользоваться характеристиками мод. Например, рассмотрены моды  $M_{o1}$  и  $M_{o2}$  и соотношение их амплитуд  $I_1$  и  $I_2$  (рис. 4, А, табл. 3).

В образцах (24, 35, 38, 40, 43) с самой плохой сортировкой  $I_1 \approx I_2$ . Относительно лучше отсортированы образцы со средним значением  $I_2/I_1 = 2,06$  в интервале слоя 6–1 до слоя 6–7 преимущественно в нижней части разреза.

Таблица 1

Результаты гранулометрического анализа (содержание фракций, %)

Размеры фракций, мм	Содержание фракций, %																						
	Обр. 23			Обр. 24			Обр. 25			Обр. 26			Обр. 29			Обр. 30			Обр. 33			Обр. 35	
< 0,001	3,35	4,46		4,46	59,56	4,28	4,28	3,94		3,94	48,41	4,30	4,30	4,04		4,04	44,28	4,43	4,43	48,84	4,95	4,95	63,78
0,001–0,005	17,68	29,60	35,28	29,60	25,50	25,07	25,07	25,47	48,38	48,41	18,33	25,03	25,03	47,66	22,63	22,63	17,61	24,46	24,46	19,95	33,83	33,83	25,00
0,005–0,01	14,25	39,68	64,72	25,50	40,44	19,03	19,03	19,00	51,55	51,58	46,71	18,33	18,33	51,63	51,30	51,30	55,36	48,94	48,94	51,16	35,35	35,35	36,21
0,01–0,05	59,76	0,76		39,68	0,00	4,03	4,03	3,07	0,07	0,00	0,72	4,92	4,92	0,72	0,36	0,36	0,00	2,22	2,22	0,00	0,86	0,86	0,00
0,05–0,1	4,96	0,00		0,76	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,72	0,72	0,72	0,72	0,36	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,1–0,16	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Размеры фракций, мм	Содержание фракций, %																						
	Обр. 36			Обр. 37			Обр. 38			Обр. 39			Обр. 40			Обр. 41			Обр. 43				
< 0,001	4,19	4,29		4,29	52,85	4,90	4,90	4,79		4,79	54,58	4,89	4,89	4,63		4,63	51,87	4,97	4,97	60,38			
0,001–0,005	24,19	26,70	49,73	26,70	21,86	37,05	37,05	25,79	67,92	67,92	24,00	30,40	30,40	56,96	26,96	26,96	20,28	33,06	33,06	22,35			
0,005–0,01	21,35	45,72	50,26	21,86	47,15	25,97	25,97	24,00	32,08	32,08	44,37	21,67	21,67	43,04	46,62	46,62	48,14	38,38	38,38	39,61			
0,01–0,05	48,54	1,43		45,72	0,00	0,52	0,52	1,04	0,00	0,00	1,04	0,92	0,92	0,00	1,52	1,52	0,00	1,23	1,23	0,00			
0,05–0,1	1,72	0,00		1,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
0,1–0,16	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			

Таблица 2

Соотношение глинистой, алевроитовой фракций и карбонатов

Образец	Уровень отбора, м	Слой	СаО <sub>3</sub> , мас. %	СаО <sub>карб</sub> , мас. %	Карбонатность, %	Глинистая фракция, %	Алевроитовая фракция, %	Петротип по классификации [13]
23	1,46	6-1	7,86	6,51	15	30	55	Алевролит известково-глинистый
24	1,66	6-1	7,13	5,92	32	41	28	Мергель глинисто-алевроитовый
25	1,96	6-1	7,52	6,53	15	41	44	Алевролит известково-глинистый
26	2,46	6-1	7,94	6,74	16	41	44	Алевролит известково-глинистый
29	3,46	6-4	6,68	5,42	13	41	45	Алевролит известково-глинистый
30	4,46	6-5	8,68	7,33	17	37	46	Алевролит известково-глинистый
33	6,46	6-7	10,67	9,91	23	38	40	Алевролит известково-глинистый
35	7,96	6-9	10,98	9,60	22	50	28	Глина известково-алевроитовая
36	8,46	6-9	13,47	12,54	28	36	36	Алевролит известково-глинистый
37	8,96	6-11	10,29	9,19	21	42	37	Глина известково-алевроитовая
38	9,46	6-13	16,70	15,55	33	45	21	Мергель глинисто-алевроитовый
39	10,46	6-15	11,19	10,27	28	39	33	Глина известково-алевроитовая
40	11,46	6-17	11,63	10,42	24	43	33	Глина известково-алевроитовая
41	12,17	6-19	19,04	17,88	37	33	31	Мергель алевролитовый
43	13,4	6-20	10,41	9,36	23	46	30	Глина известково-алевроитовая

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

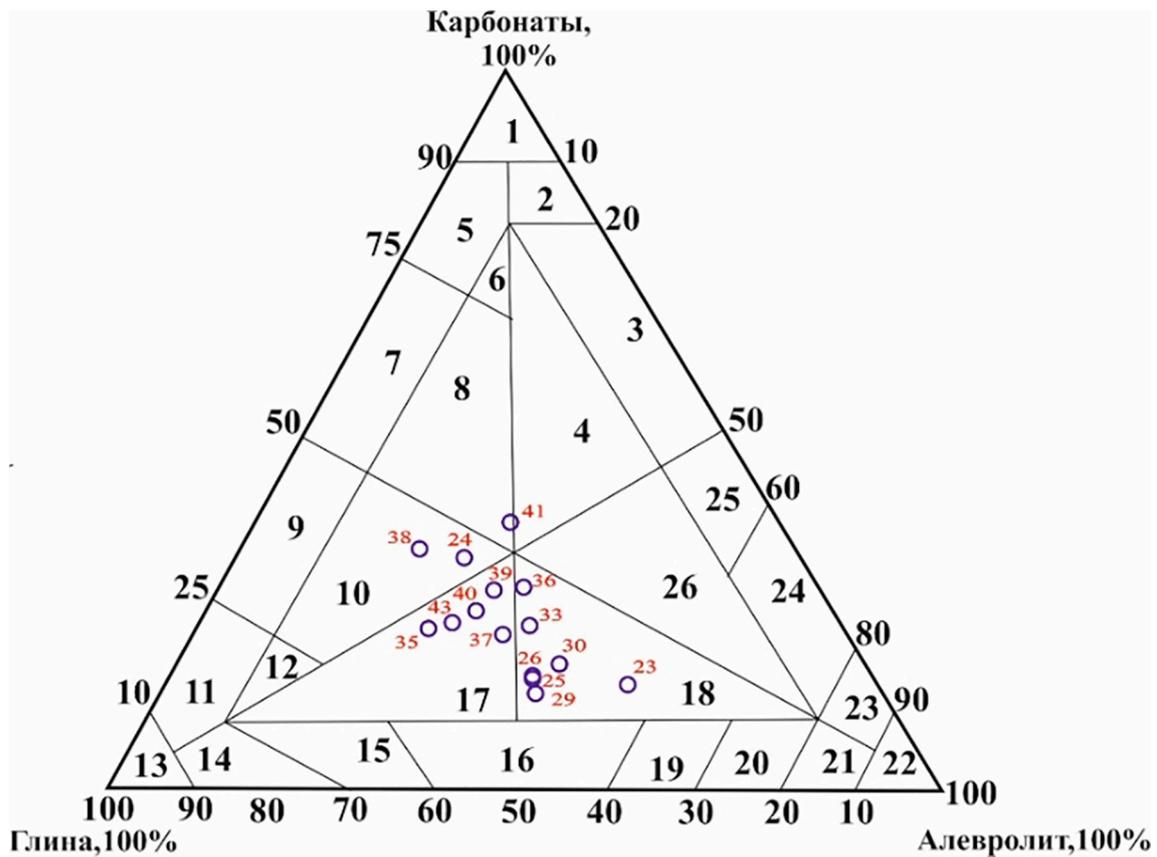


Рис. 3. Распределение петротипов толщи «лингуловых глин»: 8 – мергель алевролитовый, 10 – мергель глинисто-алевролитовый, 17 – глина известково-алевролитовая, 18 – алевролит известково-глинистый  
 Источник: составлено авторами на основе [3, с. 45–86]

Таблица 3

Гранулометрические параметры

Образцы	$S_o$	$S_k$	Md, мм	$I_2/I_1$
23	2,09	0,83	0,0151	3,33
24	2,40	0,95	0,0078	1,33
25	2,48	0,85	0,0105	1,88
26	2,63	0,72	0,0105	1,88
29	2,51	0,83	0,0107	1,84
30	2,37	0,81	0,012	2,24
33	2,40	0,83	0,0105	1,96
35	2,40	0,87	0,0069	1,04
36	2,32	0,93	0,0100	1,96
37	2,45	0,87	0,0091	1,67
38	2,34	0,83	0,0063	0,87
39	2,32	0,98	0,0087	1,67
40	2,57	0,95	0,0079	1,37
41	2,48	0,89	0,0093	1,71
43	2,54	0,93	0,0072	1,18

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

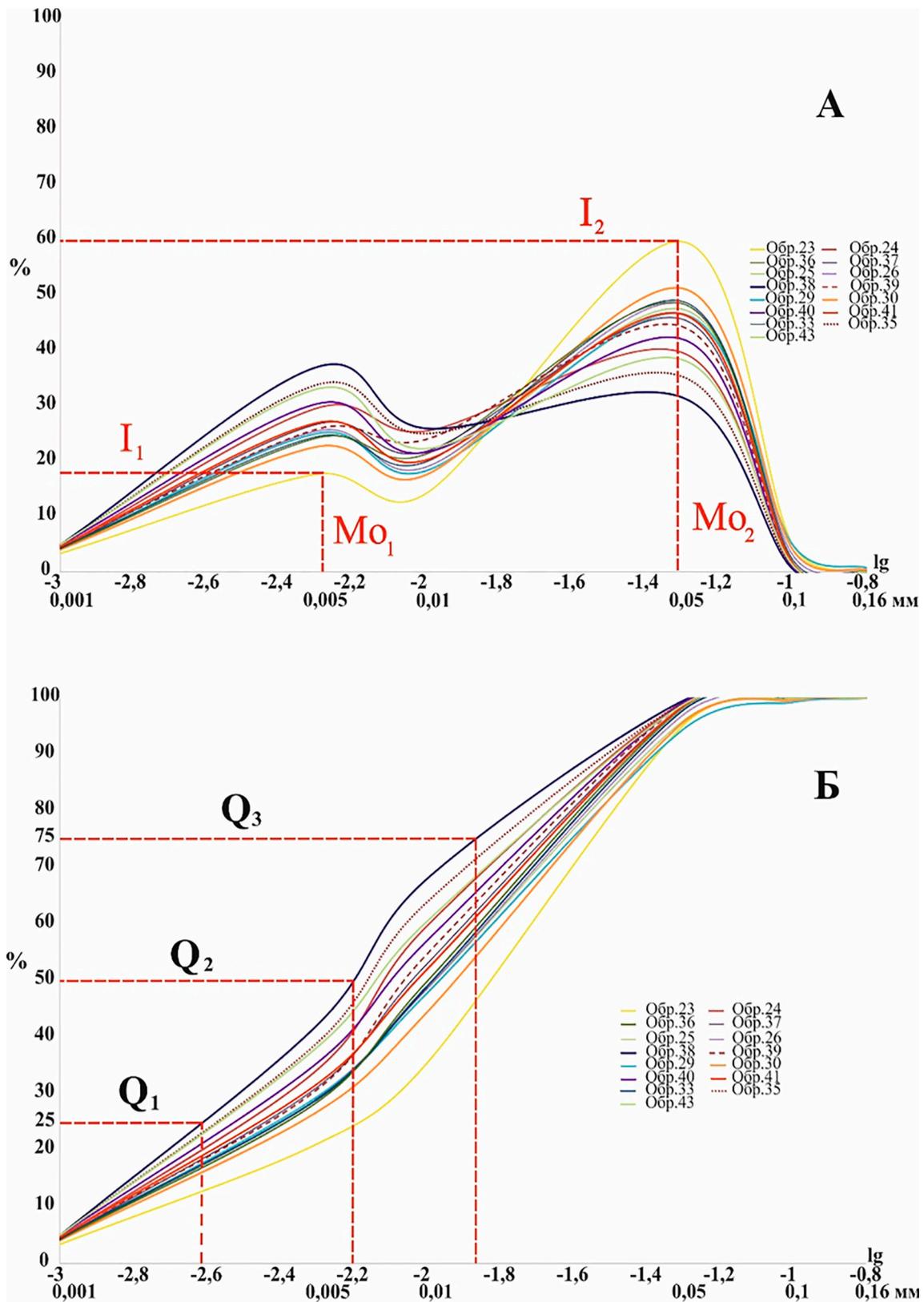


Рис. 4. А – гистограммы гранулометрических фракций.  $I_1$ ,  $I_2$  – примеры амплитуд двух мод и значения мод ( $Mo_1$  и  $Mo_2$ ) по образцу 23 (слой 6–1); Б – кумулятивные кривые гранулометрических фракций. В качестве примера красными пунктирными линиями обозначены квантили (для гранулометрических коэффициентов) для образца 38 (слой 6–14)  
 Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования

Гранулометрический состав и карбонатность

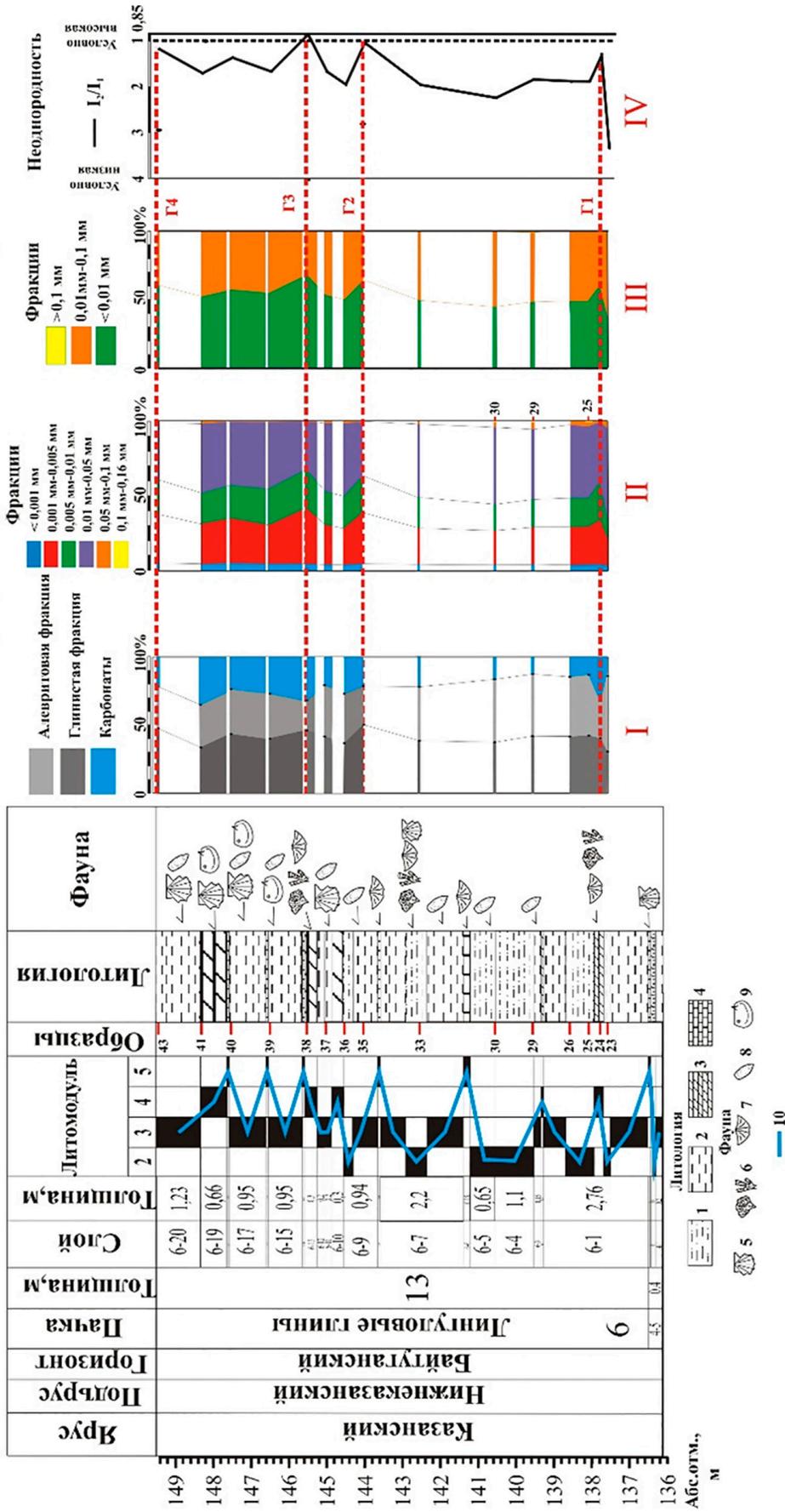


Рис. 5. Вариации параметров гранулометрического состава и карбонатности по разрезу пачки «лингуловых глин» в междуречье р. Лесная Шейма и Инэш. Условные обозначения: 1 – алевриты, 2 – глины, 3 – мергели, 4 – известняки, 5 – двустворки морские, 6 – мианки сетчатые и ветвистые, 7 – брахиоподы замковые, 8 – брахиоподы беззамковые, 9 – остракоды морские, 10 – фациальная кривая  
 Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования

На рис. 5 показаны вариации состава петротипов и основных параметров гранулометрического состава (графики I–IV).

График I демонстрирует разнообразие петротипов, представленных в табл. 2 и на рис. 3.

Графики II и III показывают изменение соотношения содержаний гранулометрических фракций (график II – все фракции; график III – группы фракций (пелитовая, алевролитовая, псаммитовая)).

График IV демонстрирует, как изменяется неоднородность гранулометрического состава (по соотношению амплитуды двух мод ( $I_2/I_1$ )).

В целом выявлены следующие особенности литологической изменчивости.

Наличие фракции (0,1–0,16 мм) отмечено в нижней части пачки (образцы 25, 29 и 30). Фракция (0,05–0,1 мм) наблюдается преимущественно в нижней части разреза, постепенно она сокращается снизу вверх по разрезу, а доля более мелких фракций < 0,001 мм и 0,001–0,005 мм увеличивается. При этом возрастает и карбонатность. Это может свидетельствовать об относительном ослаблении привноса терригенных частиц и усилении тиховодного режима среды осадконакопления, с течением времени формирования изучаемой пачки [9; 14; 15].

Можно отметить четыре выраженных уровня (Г1 – Г4) по заметному увеличению содержаний фракции (0,001–0,005 мм) в образцах 24 (29,6% – слой 6–1), 35 (35,35% – слой 6–9), 38 (37,05% – слой 6–13) и 43 (38% – слой 6–20) (график II). Данные уровни отмечаются относительно пониженными значениями  $I_2/I_1$  (обр. 24 (1,33); обр. 35 (1,04); обр. 38 (0,87); обр. 43 (1,18) (график IV)). Выявленные уровни соответствуют увеличению неоднородности гранулометрических совокупностей и, вероятно, отражают практическое отсутствие перемычки терригенного материала. Гранулометрическая неоднородность более высокая в группе слоев 6–7÷6–20 по сравнению с группой слоев 6–1÷6–6. Указанное группирование сохраняется и по вариациям карбонатности: нижняя группа слоев характеризуется пониженной карбонатностью, а верхняя группа слоев – повышенной карбонатностью.

При сопоставлении исследуемого разреза с литолого-фациальной моделью пачки лингуловых глин (рис. 1, А) можно видеть, что группа слоев 6–1÷6–6 соотносится с обстановками центральной части мелководного шельфа, а группа слоев 6–7÷6–20 – с обстановками восточной части мелководного

шельфа, находящейся под влиянием лагунной обстановки.

Согласно работе [1] при изучении многочисленных разрезов казанских отложений на территории РТ оценка длительности казанского века составила ~6 млн лет, а литоединицы толщиной 12,5–13,5 м соответствуют, вероятнее всего, прецессионным циклам (~21 тыс. лет), и тогда скорость формирования изучаемой пачки можно оценить как ~0,6 мм/год. А в классификации циклов по A.D. Miall (1997 г.) пачка «лингуловых глин» относится к категории циклов (секвенсов) D [1].

### Заключение

Проведенное исследование гранулометрического состава и карбонатности пачки лингуловых глин в междуречье р. Лесная Шешма и Инэш на юго-востоке Татарстана позволило сделать следующие выводы.

Пачка «лингуловых глин» с обилием *Lingula orientalis* Gol. соответствует типу разреза, распространенного в Закамье Республики Татарстан, и представлена глинами известково-алевритовыми, алевролитами известково-глинистыми и мергелями алевролитовыми и глинисто-алевритовыми, формировавшимися в условиях мелководного морского шельфа и лагун.

Распределение гранулометрических фракций характеризуется бимодальностью, что свидетельствует о неоднородности гранулометрических совокупностей.

Вверх по разрезу наблюдается исчезновение мелкопсаммитовой фракции и увеличение карбонатности, что свидетельствует об усилении влияния лагунного режима осадконакопления согласно литолого-фациальной модели Н.Н. Форша.

Оценка скорости формирования изучаемой пачки составляет ~0,6 мм/год, а цикл ее формирования относится к категории D по классификации осадочных циклов Миалла.

### Список литературы

1. Нургалиева Н. Пермские осадочные разрезы востока Русской плиты. Цикличность и фрактальные образы. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2010. 210 с. ISBN 9783843301008.
2. Атлас литолого-палеогеографических карт СССР. Т. II. Девонский, каменноугольный и пермский периоды / Под ред. Н.В. Наливкина, В.М. Познера, Н.Н. Форша // Всесоюзный аэрогеологический трест Министерства геологии СССР. М., 1969.
3. Ильясова А.С. О литологии лингуловой толщи в Закамье: дис. ... канд. Казань, 1951. 192 с.
4. Нургалиева Н.Г., Чернова И.Ю., Нургалиев Д.К. «Лингуловые глины»: литологические особенности регио-

нального репера // Нефтегазовое дело. 2008. 23 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Nurgalieva/Nurgalieva\\_2.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Nurgalieva/Nurgalieva_2.pdf) (дата обращения: 23.04.2025).

5. Фахрутдинов Э.И., Нургалиева Н.Г. Литофации уфимско-казанских отложений востока Русской плиты. Гетерогенность в осадочных системах. Материалы 14 Уральского литологического совещания (научной конференции). Екатеринбург: ИГГ УРО РАН, 2024. С. 207–210. ISBN 978-5-9078872-2-0.

6. Фахрутдинов Э.И., Нургалиева Н.Г., Хасанова Н.М., Силантьев В.В. Литолого-фациальные особенности нижнеказанских отложений по данным ЭПР опорного разреза // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2015. № 157 (3). С. 87–101. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/litologo-fatsialnye-osobennosti-nizhnekazanskih-otlozheniy-po-dannym-epr-opornogo-razreza/viewer?ysclid=mcojhy2u25649154024> (дата обращения: 23.04.2025).

7. Nurgalieva N.G., Silantiev V.V., Fakhrutdinov E.I., Gareev B.I., Batalin G.A. The Lower Kazanian rocks as shallow marine facies (south-eastern Tatarstan) on geochemistry data – ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11, № 23. С. 13462–13471. URL: [http://www.arpnjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2016/jeas\\_1216\\_5413.pdf](http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2016/jeas_1216_5413.pdf) (дата обращения: 23.04.2025).

8. Sagirov R., Mullakaev A., Khasanov R. Reasons of the inhomogeneity of the composition and the internal structure of bitumen-saturated sands in permian deposits of Tatarstan (Russian federation) // International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2019. Vol. 19, Is. 1.1. P. 483–490.

9. Ovsyany E.I., Gurov K.I. Research of organic carbon and carbonate content in the bottom sediments of the Crimean Southern coast shelf // Physical Oceanography. 2016. № 1. P. 60–70. DOI: 10.22449/1573-160X-2016-1-60-70.

10. Кудряшова Л.К. Гранулометрический анализ как основной метод обоснования условий формирования пластов-коллекторов ЮК2-5 ЕМ – Еговской площади (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг Георесурсов. 2015. Т. 326. № 10. URL: [http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Bulletin\\_TPU/2015/v326/i10/13.pdf](http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Bulletin_TPU/2015/v326/i10/13.pdf) (дата обращения: 23.04.2025).

11. Муллакаев А.И., Сунгатуллин Р.Х., Мингазутдинов А.Н., Косарев Я.С. Литология битуминозных песчаников Ашальчинского месторождения, Южно-Татарский свод // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2025. № 2. С. 13–21. DOI: 10.17308/geology/1609-0691/2025/2/13–21.

12. Alekseeva T.N., Politova N.V., Kozina N.V. Grain Size Distribution of the Surface Layer of Bottom Sediments in the Barents Sea. Oceanology. 2020. № 60 (6). С. 803–816. DOI: 10.1134/S0001437020050021.

13. Houchun Guan, Cheng Zhu, Tongxin Zhu, Li Wu, Yunhuai Li. Grain size, magnetic susceptibility and geochemical characteristics of the loess in the Chaohu lake basin: Implications for the origin, palaeoclimatic change and provenance // Journal of Asian Earth Sciences. 2016. Vol. 117. P. 170–183. DOI: 10.1016/j.jseaes.2015.12.013.

14. Гуров К.И. Результаты мониторинга гранулометрического состава наносов береговой зоны Каламитского залива // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. № 3. С. 56–63. DOI: 10.22449/2413-5577-2018-3-56-63.

15. Арефьев С.В., Чудинова Д.Ю., Котенев Ю.А., Султанов Ш.Х., Махныткин Е.М., Дарментаева Д.А. Реконструкция условий формирования васюганской свиты на основе использования комплекса гранулометрического анализа терригенных отложений // Нефть. Газ. Новации. 2022. № 3 (256). С. 32–36. EDN: KWXXFL. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49222530&ysclid=mebcflgkrt718639657> (дата обращения: 23.04.2025).