

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА  
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

*На правах рукописи*

**Лысенко Елена Игоревна**

**Палеогеографические условия развития дельты Волги в  
голоцене (на основе диатомового анализа)**

1.6.14. Геоморфология и палеогеография

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Научный руководитель:  
доктор географических наук,  
доцент Т.А. Янина

Москва – 2026

## Содержание

Введение .....	3
Глава 1. Природные условия региона исследований .....	13
1.1 Климатические условия и гидрологический режим в дельте Волги .....	13
1.2. Геологическое строение и геоморфология дельты Волги .....	18
1.2.1. Геологическое строение, тектоническое положение и стратиграфия четвертичных отложений .....	18
1.2.2. Геоморфологическое районирование и основные формы рельефа дельты Волги .....	31
Глава 2. Обзор исследований диатомовых водорослей Прикаспия и представлений о палеогеографии водоёмов дельты Волги в голоцене .....	37
2.1. Обзор исследований диатомовых водорослей Прикаспия .....	37
2.1.1. Диатомовые водоросли в фитопланктоне .....	37
2.1.2. Ископаемые диатомовые водоросли .....	40
2.2. История исследований и основные представления о палеогеографии дельты Волги в голоцене .....	42
Глава 3. Фактический материал и методы исследований .....	53
3.1. Фактический материал .....	53
3.2. Методы исследований .....	55
Глава 4. Палеогеографические условия развития изученных участков дельты Волги и преддельтового пространства в голоцене .....	74
4.1. Динамика морского края дельты по данным дистанционного зондирования .....	74
4.2. Видовой состав сообществ диатомовых водорослей поверхностного слоя донных отложений современных водоёмов дельты Волги .....	82
4.3. Результаты анализа смер-слайдов, диатомового и комплексного анализов отложений, представленных в естественных обнажениях и скважинах на изученных участках .....	100
4.3.1. Привершинная дельта .....	100
4.3.2. Центральная дельта .....	124
4.3.3. Нижняя дельта .....	151
4.3.4. Северо-восточный участок шельфа Северного Каспия .....	187
4.3.5. Юго-западный участок шельфа Северного Каспия .....	194
Глава 5. Палеогеографические события дельты Волги и преддельтового пространства .....	218
Заключение .....	233
Список литературы .....	236
Приложение 1 .....	261
Приложение 2 .....	262
Приложение 3 .....	264
Приложение 4 .....	266
Приложение 5 .....	267
Приложение 6 .....	268
Приложение 7 .....	297

## Введение

**Актуальность работы.** Дельта Волги – сложная природная система, классическая модель взаимодействия речного и морского бассейнов, что отражается в особенностях её геоморфологического строения и истории развития, которые связаны со множеством факторов, в первую очередь – с изменениями климата и уровня Каспийского моря. Несмотря на длительную историю изучения колебаний уровня Каспия и палеогеографии его бассейнов, комплексным палеогеографическим исследованиям голоценового периода дельтовой области в литературе уделяется не так много внимания (например, Нижняя Волга, 2002; Рычагов и др., 2010; Атлас..., 2015). Многие палеогеографические аспекты развития природной среды региона в голоцене остаются дискуссионными, что связано с разными оценками стадийности, возраста и амплитуды колебаний уровня Каспия, непосредственно влияющих на состояние природной среды дельты. Недостаточно информации об изменениях палеосреды дельтовых водоёмов в голоцене, особенно во время регрессий. Применение диатомового анализа для палеогеографических реконструкций позволяет дополнить эти сведения. Актуальность изучения условий развития дельты Волги в голоцене обусловлена сильной изменчивостью водоёмов дельты и прямым влиянием на хозяйственную деятельность в её пределах и на сопредельных территориях. Актуальность усиливается в настоящее время в связи с глобальным и региональным изменением климата и значительным снижением уровня Каспия – до -29 м.

Современные данные о голоцене дельты Волги основаны преимущественно на анализе рельефа дна магистральных рукавов дельты и прилегающей шельфовой зоны, а также на палеогеографических исследованиях юго-западного сектора дельты (Свиточ, Янина, 1994; Янина, 2008; Болиховская, 2019; Kroonenberg et al., 1997; Richards et al., 2014), в то время как центральная и привершинная часть дельты слабо охвачены публикациями. Поэтому особенно актуально площадное расширение исследований с применением сопряжённого анализа, включающего комплекс палеогеоморфологических и палеогеографических методов. Как правило, существующие исследования сосредоточены в пределах одной географической области: участка дельты или шельфа Северного Каспия. Для более корректных выводов об этапах развития дельты Волги в голоцене необходимо одновременное изучение палеогеографических событий в пределах этих областей во взаимосвязи друг с другом.

Диатомовые водоросли голоцена дельты Волги и Северного Каспия изучены слабо. Одной из причин может служить низкая концентрация створок диатомовых водорослей в осадках, что связано с высокой скоростью осадконакопления ввиду значительного объема

стока взвешенных наносов (Атлас..., 2015). Вместе с тем диатомовые водоросли являются признанными индикаторами фациально-генетических условий осадконакопления и показали свою перспективность в палеореконструкциях в динамичных переходных зонах река-море (Полякова и др., 2016), поэтому изучение голоценовых диатомовых водорослей дельты Волги и Северного Каспия является актуальной задачей.

Диатомовый анализ – один из хорошо разработанных микропалеонтологических методов для изучения условий осадконакопления в водной среде, успешно применяемый для реконструкций положения береговых линий морей и озёр (Ковалева и др., 2017). Виды диатомовых водорослей отличаются по экологическим предпочтениям, включая местообитание (водные и субаэральные), солёность и pH вод. Данные свойства диатомей позволяют детально реконструировать как фациальную изменчивость в ходе развития водных объектов, так и региональные палеогеографические события, связанные с колебаниями уровня моря. На локальном уровне смена видового состава диатомовых ассоциаций может служить в качестве экологического индикатора. В связи с этим при палеогеографических исследованиях в дельте актуально проведение методической работы, позволяющей учитывать в реконструкциях региональные особенности диатомовой флоры и влияние локальных условий формирования диатомовых ассоциаций.

**Цель работы** – реконструкция палеогеографических условий развития дельты Волги в голоцене на основе диатомового анализа.

**Основные задачи:**

- 1) Выявление систематического состава голоценовых диатомовых водорослей дельты Волги и преддельтового пространства Северного Каспия и анализ их стратиграфического и хронологического распространения на изученной территории.
- 2) Анализ современных диатомовых ассоциаций, выявление основных факторов формирования и характерных видов для современных обстановок осадконакопления в дельтовых протоках, култуке и в протоке вблизи авандельты с целью применения метода актуализма при палеогеографических реконструкциях.
- 3) Реконструкция основных трансгрессивных и регрессивных событий, закономерно отразившихся в диатомовых ассоциациях из различных обстановок дельты и прилегающего шельфа, а также локальных условий осадконакопления во взаимосвязи с современной геоморфологической позицией изучаемого материала.
- 4) Верификация результатов диатомового анализа комплексом методов, включая геоморфологический, литологический, гранулометрический, геохимический и радиоуглеродный.
- 5) Корреляция основных палеогеографических событий, выявленных в

изученных скважинах и разрезах в дельте Волги и на прилегающем шельфе на базе комплексного анализа.

**Объектом** исследования являются диатомеи из голоценовых отложений дельты Волги и Северного Каспия. **Предмет** исследования – палеогеографические реконструкции условий осадконакопления в указанных районах.

**Фактический материал, личный вклад автора.** Материалом для работы послужили образцы из кернов пяти скважин и двух естественных обнажений из разных частей дельты Волги (северная, центральная, юго-западная) и двух скважин на шельфе Северного Каспия; образцы из донных отложений современных водоёмов и водотоков дельты, отобранные автором в ходе полевых работ в июне 2017 и сентябре 2018 гг. Диссертант принял участие в комплексных полевых исследованиях в изучаемых районах дельты Волги в 2016-2025 гг. Автором выполнен отбор образцов для целей диатомового анализа и проведено полевое описание большей части материалов из дельты Волги. Знакомство с методом и освоение диатомового анализа в первые годы работы над темой происходило в НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена географического факультета МГУ под руководством в.н.с. д.г.н. Е.И. Поляковой – ведущего специалиста по диатомовому анализу. Диссертант выполнил полный цикл технической обработки образцов в НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, микроскопирование, аналитическую обработку результатов диатомового анализа и провёл работу над представлением этих результатов (составление диаграмм, списков-таблиц, фототаблиц). Автор провёл лабораторную обработку образцов для целей гранулометрического и геохимического анализов, выполнил измерения гранулометрического состава осадков и интерпретацию полученных результатов. Интерпретация результатов геохимического анализа скважинного материала из дельты Волги также выполнена лично автором диссертации. Диссертантом проведён анализ изученности диатомей Прикаспия и литературы, посвящённой палеогеографии дельты Волги в голоцене, для выявления методической базы и формирования представлений о регионе исследований в палеогеографическом и геоморфологическом контексте. В рамках этой работы автором созданы иллюстрации современной динамики морского края дельты Волги на основе данных дистанционного зондирования. Диссертантом проведён анализ фондовых материалов, содержащих подробные данные о строении голоценовых отложений дельты и динамики её морского края во взаимосвязи с колебаниями уровня Каспийского моря в недавнем прошлом. В результате работы выявлены условия развития изученных районов дельты и прилегающего шельфа, проведена корреляция голоценовых событий.

**Методология и методика.** Методологической основой диссертационного исследования является общая концепция палеогеографии плейстоцена и голоцена, заключающаяся в системе представлений об эволюции географической оболочки Земли, о многократных глобальных изменениях климата и их региональных особенностях, отраженных в метакронности, о закономерностях пространственно-временного развития природы и неразрывной связи ее временных и пространственных свойств, о постоянном развитии природных систем и их отдельных компонентов. В отношении палеогеографии Каспийского моря автор опирается на концепцию климатической обусловленности трансгрессивно-регрессивных событий Каспия в позднем плейстоцене и голоцене, о зависимости развития дельты Волги от колебаний уровня Каспия.

Данная работа основывается на методе сопряжённого палеогеографического анализа, который предполагает комплексное использование нескольких дополняющих и контролирующих друг друга методов палеогеографических реконструкций для повышения достоверности результатов и получения более полной и объективной картины палеогеографических событий. Метод актуализма лёг в основу реконструкций палеоэкологических условий осадконакопления по ископаемым диатомовым ассоциациям с привлечением данных о видовом составе диатомовых водорослей поверхностного слоя донных осадков водоёмов дельты с различными гидробиологическими, гидрохимическими и седиментационными характеристиками.

В основе диссертационной работы лежит метод диатомового анализа, применяемый в комплексе со статистическими методами, геоморфологическими и литологическими данными, позволяющими на основе современного состояния среды предположить её динамику в палеовремени.

**Научная новизна работы.** В диссертационной работе впервые уточнены строение гидросети, типы водоёмов и форм рельефа голоценовой дельты Волги на изученных участках современной дельты и придельтовой территории на юго-западе и северо-востоке Северного Каспия. Также впервые представлены результаты комплексного изучения голоценовых осадков из привершинной и центральной частей дельты. Детализирован этап дербентской регрессии Каспия для центрального участка дельты в районе с. Бараний Бугор: в комплексе с археологическими данными выявлено два кратковременных подъёма уровня моря в VI-VII вв. и во второй половине X в. Автором составлен список видов голоценовых диатомей дельты и шельфа Северного Каспия, выявлены типичные виды для обстановок в дельте – проток, покоев и ильменей, а также для обстановок распреснённых лагун на шельфе Северного Каспия. Составлен список видов диатомей поверхностного слоя донных отложений современных пресных водоёмов в юго-западном секторе дельты Волги. На

основе диатомового метода с привлечением статистических данных и детального анализа условий в точках отбора осадков выявлены основные факторы среды, влияющие на состав современных диатомовых ассоциаций. Эти исследования впервые проведены для водоёмов в юго-западном секторе дельты. На основе изучения с высокой детальностью образцов из естественных обнажений в долинах протоков в юго-западном секторе дельты Волги выявлены метакронные этапы её выдвижения в недавнем прошлом.

**Теоретическая и практическая значимость исследования.** Условия осадконакопления, реконструированные по диатомеям, могут служить реперами для региональных и локальных палеогеографических реконструкций и археологических исследований. Список видов голоценовых диатомей дельты и шельфа Северного Каспия поможет в дальнейших региональных палеогеографических исследованиях. Данные о современных диатомовых ассоциациях водоёмов дельты могут использоваться в целях экологических исследований. Фотографии наиболее значимых для палеореконструкций таксонов объединены в фототаблицы, которые могут использоваться как определитель при палеогеографических, геологических и биологических исследованиях неогена и квартера Понто-Каспийского региона. Им могут пользоваться специалисты биологического и палеонтологического направлений. На основе изучения большого массива препаратов-мазков из скважинного материала, отобранного в центральной части дельты на поверхности бэровских бугров и в межбугровых понижениях, сделан важный методический вывод: для целей изучения диатомовым методом наиболее перспективными являются отложения межбугровых понижений.

**Основные защищаемые положения:**

1) Диатомовые ассоциации голоценовых отложений дельты Волги являются основанием для реконструкции палеогеографических условий её развития, связанного с колебаниями уровня Каспия, – мангышлакской регрессией, тремя трансгрессивными и дербентской регрессивной стадиями новокаспийского бассейна, а также динамики выдвижения дельты за последние 200 лет под влиянием перераспределения стока между основными рукавами Волги.

2) В последние 4.9 тыс. лет в юго-западном секторе дельты Волги и с раннего голоцена в её привершинной части происходило формирование диатомовых ассоциаций, характерных для пресноводных условий. На развитие привершинной дельты колебания уровня Каспия воздействовали опосредованно, за счёт перестройки гидрологической сети и изменения конфигурации водоёмов дельты.

3) В голоцене дельты Волги диатомеи родов *Epithemia* и *Eunotia* приурочены к условиям замкнутых водоёмов (ильменей) и распреснённых лагун на территории

современного шельфа Северного Каспия; виды *Aulacoseira granulata*, *Aulacoseira ambigua*, *Stephanodiscus minutulus* наиболее характерны для русел дельтовых протоков; *Hantzschia amphioxys* и *Craticula cuspidata* свойственны для субэвральных условий полостей – временных водоёмов в пойме, реконструированных на поздних стадиях осадконакопления в дельте Волги.

4) В юго-западном секторе дельты Волги при формировании диатомовых ассоциаций поверхностного слоя донных отложений пресных водоёмов наиболее существенным фактором является их глубина.

**Степень достоверности.** Достоверность полученных результатов обеспечивается большим объёмом фактического материала и сходимостью с региональными палеогеографическими построениями. Инструментальные измерения проведены с использованием высокоточного оборудования, обработка результатов – в соответствии с широко применяемыми опубликованными методиками. Основные результаты опубликованы в рецензируемых изданиях, индексируемых в базе ядра Российского индекса научного цитирования «eLibrary Science Index», и прошли обсуждение в докладах на международных и российских научных конференциях.

**Апробация работы.** Результаты исследования представлены автором на российских и международных научных форумах: Всероссийская конференция Комплексные исследования мирового океана (Москва, 2017; Владивосток, 2024), Международная конференция «Диатомовые водоросли...» (п. Борок, 2017; Звенигородская биологическая станция им. С.Н. Скадовского, 2019; Минск, Беларусь, 2021; Апатиты, 2023), Всероссийская конференция с международным участием «Природные экосистемы Каспийского региона: прошлое, настоящее, будущее» (п. Дамчик, 2019), Международная конференция Annual Meeting of the Geological Society of America (Портленд, США, 2021), Всероссийская конференция «Пути эволюционной географии», посвященная 90-летию А.А.Величко (Москва, 2021), Всероссийская конференция ЭКЗОЛИТ (Москва, 2022), Всероссийская конференция с международным участием «Динамика экосистем в голоцене» (Санкт-Петербург, 2022), Международная научно-практическая конференция «Морские исследования и образование – MARESEDU» (Москва, 2024), научно-практический форум «Современные вопросы литологии и морской геологии» (Москва, 2024), Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «IX Щукинские чтения» (Москва, 2025), Всероссийская конференция с международным участием «Марковские чтения 2025 года» (Москва, 2025), а также на годичном собрании (конференции) секции палеонтологии МОИП и Московского отделения Палеонтологического общества при РАН «ПАЛЕОСТРАТ-2023» (Москва, 2023).



**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 12 научных работ. Из них 7 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ, из них 6 – в базе ядра Российского индекса научного цитирования «eLibrary Science Index» и 1 – в журнале из дополнительного списка МГУ. Значительный вклад в большей части перечисленных статей принадлежит соискателю. Также опубликованы 2 коллективные монографии, в которых суммарно три раздела подготовлены при участии диссертанта, и 2 статьи в рецензируемом научном электронном издании, в которых основополагающий вклад принадлежит соискателю. При подготовке текста диссертации использован текст публикаций, выполненных автором лично и в соавторстве (Лысенко, 2023; Лысенко и др., 2024; Матлахова и др., 2024; Лысенко, 2025а; Лысенко, 2025б; Berdnikova et al., 2023), в которых, согласно Положению о присуждении учёных степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования. В публикациях (Лысенко, 2023; Лысенко и др., 2024; Лысенко, 2025а; Лысенко, 2025б) личный вклад автора диссертации являлся определяющим. Сбор полевого материала, диатомовый анализ, обобщение результатов, подготовка текста и иллюстраций проведены автором. При подготовке статей (Матлахова и др., 2024; Макшаев и др., 2025) автор участвовал в полевых исследованиях, выполнял диатомовый анализ; при подготовке публикации (Berdnikova et al., 2023) соискатель выполнял диатомовый и гранулометрический анализы, проводил обобщение их результатов.

Статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе ядра Российского индекса научного цитирования «eLibrary Science Index»:

1) **Лысенко Е.И.** Диатомовые ассоциации в поверхностных осадках дельты Волги и их значение для палеорекоkonструкций // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2025а. Т. 80. № 3. С. 147-162. EDN: FJTDRL / 1,0 п. л. *Импакт-фактор 0,245 (SJR). Вклад соискателя 100%.*

2) **Лысенко Е.И.** Структура ассоциаций диатомовых водорослей поверхностного слоя донных отложений современных водотоков дельты Волги // Аридные экосистемы. 2025б. Т. 31. № 3. С. 172-182. EDN: ZBENGJ / 0,76 п. л. *Импакт-фактор 0,600 (JIF). Вклад соискателя 100%. [Англоязычная версия: **Lysenko E.I.** Structure of diatom assemblages in the surface layer of bottom sediments in modern water courses of the Volga Delta // Arid Ecosystems. 2025. Vol. 15. № 3. pp. 418-428. / 0,76 п. л. *Импакт-фактор 0,600 (JIF). Вклад соискателя 100%.]**

3) **Макшаев Р.Р., Матлахова Е.Ю., Ткач Н.Т., Лобачева Д.М., Лысенко Е.И., Ткач А.А.** Влияние раннехвалынской трансгрессии Каспия на строение долины Волги и ее притоков (ключевой участок Малый Караман, Саратовская область) // Геоморфология и

палеогеография. 2025. Т. 56. № 1. С. 116–129. EDN: KUJENB / 0,87 п. л. *Импакт-фактор 0,194 (SJR). Вклад соискателя 10%.*

4) *Матлахова Е.Ю., Макшаев Р.Р. Лобачева Д.М., Лысенко Е.И., Ткач А.А., Ткач Н.Т., Котеньков С.А., Соловьев Д.С.* Влияние колебаний уровня Каспия и динамики русловой сети дельты Волги на расположение и развитие хазарских поселений Семибугоринского археологического комплекса // *Limnology and Freshwater Biology*. 2024. № 4. С. 513–515. EDN: HJLIFB / 0,14 п. л. *Импакт-фактор 0,167 (SJR). Вклад соискателя 10%.* [Англоязычная версия: *Matlakhova E.Yu., Makshaev R.R., Lobacheva D.M., Lysenko E.I., Tkach A.A., Tkach N.T., Koten'kov S.A., Soloviev D.S.* The influence of the Caspian Sea level fluctuations and river channels network dynamics in the Volga River delta on the location and development of Khazar settlements of the Semibugorinsky archaeological complex // *Limnology and Freshwater Biology*. 2024. № 4. pp. 510–512. EDN: HJLIFB / 0,14 п. л. *Импакт-фактор 0,167 (SJR). Вклад соискателя 10%.*]

5) *Лысенко Е.И., Ткач А.А., Макшаев Р.Р., Янина Т.А., Зенина М.А.* Палеоэкологические условия в преддельтовом районе Северного Каспия в голоцене // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2024. Т. 79. № 1. С. 61-77. EDN: NQDKGP / 1,0 п. л. *Импакт-фактор 0,245 (SJR). Вклад соискателя 60%.*

6) *Berdnikova A., Lysenko E., Makshaev R., Zenina M., Yanina T.* Multidisciplinary Study of the Rybachya Core in the North Caspian Sea during the Holocene // *Diversity*. 2023. 15, №150. EDN: XZYIFH / 1,19 п. л. *Импакт-фактор 2,100 (JIF). Вклад соискателя 20%.*

Статьи в рецензируемых научных изданиях из дополнительного списка МГУ, рекомендованного Минобрнауки России, в котором могут быть опубликованы научные результаты диссертаций:

7) *Лысенко Е.И.* Использование диатомового анализа в палеоэкологических реконструкциях голоценовых событий в дельте Волги. // *Естественные и технические науки*. 2023. № 3. С. 168–172. EDN: DEVYFC / 0,25 п. л. *Импакт-фактор 0,066 (РИНЦ). Вклад соискателя 100%.*

Главы в монографиях:

8) *Полякова Е.И., Штыркова (Лысенко) Е.И.* Развитие альгофлоры. // *Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена. Научные достижения Школы академика К.К. Маркова.* (Под ред. Т.А. Яниной, Н.С. Болиховской, Е.И. Поляковой, Т.С. Ключиткиной, Р.Н. Курбанова). М.: Географический факультет МГУ, 2020. С. 448-476. / 1,7 п. л. *Вклад соискателя 40%.*

9) *Штыркова (Лысенко) Е.И., Янина Т.А.* Природные условия. // *Дельта Волги. Эволюция природной среды в условиях изменений климата.* (Под ред. Т.А. Яниной). М.:

Географический факультет МГУ, ООО «Красногорская типография» Москва, 2019. С. 8-16.  
/ 0,94 п. л. *Вклад соискателя 60%.*

10) *Полякова Е.И., Штыркова (Лысенко) Е.И.* Развитие альгофлоры. // Дельта Волги. Эволюция природной среды в условиях изменений климата. (Под ред. Т.А. Яниной). М.: Географический факультет МГУ, ООО «Красногорская типография» Москва, 2019. С. 39-58. / 1,25 п. л. *Вклад соискателя 40%.*

Прочие публикации:

11) *Лысенко Е.И., Макшаев Р.Р.* Диатомеи в колонках голоценовых отложений средней части дельты р. Волга (в районе с. Бараний Бугор) // Вопросы современной альгологии (Issues of modern algology) - algology.ru. 2023. Т. 2, № 32. С. 99–101. EDN: RPHSEA / 0,16 п. л. *Импакт-фактор 0,223 (РИНЦ). Вклад соискателя 70%.*

12) *Штыркова (Лысенко) Е.И., Полякова Е.И.* Диатомеи в голоценовых осадках дельты Волги (Дамчикский участок) как индикаторы палеоэкологических условий осадконакопления // Вопросы современной альгологии (Issues of modern algology) - algology.ru. 2019. № 2 (20). С. 270–273. EDN: LTXNXN / 0,15 п. л. *Импакт-фактор 0,223 (РИНЦ). Вклад соискателя 60%.*

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы. Объем работы 316 страниц, основной текст изложен на 260 страницах, в него входят 143 рисунка и 12 таблиц. В работе содержится 7 приложений. Список литературы состоит из 303 наименований, из них 82 на иностранных языках.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю д.г.н., профессору кафедры геоморфологии и палеогеографии, заведующему НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена Т.А. Яниной за предоставление фактического материала, организационную помощь и неоценимую поддержку на всех этапах подготовки диссертации. Огромную благодарность автор выражает сотрудникам НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена к.г.н. Р.Р. Макшаеву, к.г.н. А.А. Ткач, Д.М. Лобачевой и сотрудникам кафедры геоморфологии и палеогеографии к.г.н. Е.Н. Бадюковой и к.г.н. Е.Ю. Матлаховой за помощь в полевых работах, осмыслении полученных результатов и безграничный энтузиазм. Автор благодарит и. о. директора Каспийского филиала института Океанологии им. П.П. Ширшова РАН к.и.н. С.А. Котенькова, сотрудников ООО «Археоцентр», в частности – заместителя директора Д.С. Соловьёва, за организацию полевых работ в районе Семибугоринского археологического комплекса и предоставленные данные. Диссертант искренне благодарит д.г.н. Н.С. Болиховскую за ценные советы при работе над диссертацией. Освоение метода

диатомового анализа стало возможным благодаря огромному опыту и руководству д.г.н. Е.И. Поляковой, которой диссертант выражает искреннюю благодарность. Автор признательна сотруднику лаборатории геоэкологии Севера к.г.н. О.С. Шиловой и сотруднику института Океанологии им. П.П. Ширшова РАН к.г.н. Агафоновой Е.А. за помощь в освоении метода диатомового анализа и методики технической обработки образцов; к.г.н. Р.Н. Курбанову за руководство в ходе экспедиции и предоставление фотографий по её окончании. Автор выражает благодарность д.г.-м.н. Е.М. Тесаковой (геологический ф-т МГУ) за ценные рекомендации и научные дискуссии. Диссертант выражает особую благодарность к.г.-м.н. С.И. Меренковой и Д.М. Лобачевой за дружескую и информационную поддержку в подготовке работы. Диссертант благодарит коллективы кафедры геоморфологии и палеогеографии и НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена за направление, творческую атмосферу, понимание, организационную поддержку, конструктивную критику и ценные советы.

## Глава 1. Природные условия региона исследований<sup>1</sup>

### 1.1 Климатические условия и гидрологический режим в дельте Волги

Территория дельты Волги находится в области континентального засушливого климата, для которого характерны большая годовая амплитуда среднемесячных температур. Максимальная среднемесячная температура в течение года отмечается в июле ( $+25^{\circ}\text{C}$ ), минимальная – в январе ( $-6$ –  $-7^{\circ}\text{C}$ ). Абсолютные минимумы и максимумы температур отличаются значительно большей амплитудой: от  $-28^{\circ}\text{C}$  до  $+38^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовое количество осадков невелико: от 140 мм в наиболее засушливой центральной части дельты до 200 мм в районе её приморского края (Атлас..., 2015). По сравнению с окружающими зональными пустынными ландшафтами для дельты характерны более влажный воздух и меньший контраст суточных температур за счёт меньшего выхолаживания в ночное время и меньшей температурой воздуха в летние месяцы (Валов и др., 2021). Однако испаряемость летом может превышать количество осадков до десяти раз, что приводит к потере объёма речного стока до  $7,6 \text{ км}^3/\text{год}$  (Валов и др., 2021; Атлас..., 2015). Более увлажнённая территория дельты в сочетании условиями аридного климата – основная особенность природной среды, которая во многом определяет обстановки осадконакопления.

Вершиной современной дельты считается место отделения рукава Бузан от русла Волги (Атлас..., 2015; Рисунок 1). Граница надводной части дельты и авандельты, продолжающейся на шельфе, называется морским краем дельты (МКД). Расстояние от вершины дельты до МКД составляет от 105 км в восточном секторе и до 120 км – в западном (Астраханский заповедник..., 1991). Общая площадь надводной части дельты составляет 8,8 тыс. км<sup>2</sup>. Авандельта также именуется устьевым взморьем. Она располагается на абсолютных высотах от -30 до -38 м и занимает площадь около 38 тыс. км<sup>2</sup>, что в 4 раза больше площади субаэральной части дельты (Атлас..., 2015). Таким образом, сток наносов Волги заметно влияет на осадконакопление в Северном Каспии. С востока и запада дельта ограничена областями подступных ильменей, занимающих вытянутые понижения между особыми формами рельефа – бэровскими буграми, (см. п. 1.2.2). В данной работе районы подступных ильменей не рассматриваются.

---

<sup>1</sup> При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично и в соавторстве, в которых, согласно положению о присуждении учёных степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

**Штыркова (Лысенко) Е.И.,** Янина Т.А. Природные условия. // Дельта Волги. Эволюция природной среды в условиях изменений климата. (Под ред. Т.А. Яниной). М.: Географический факультет МГУ, ООО «Красногорская типография» Москва, 2019. С. 8-16.

В дельте Волги очень сложная и динамичная гидрографическая сеть. Её перестройка происходит под влиянием изменений уровня приёмного водоёма – Каспийского моря. Как правило, снижение уровня моря приводит к отмиранию мелких водотоков и концентрации стока в крупных рукавах, подъём уровня моря способствует активному разветвлению русел. Так, например, с 1930 по 1980 гг. число устьев проток у МКД сначала сократилось с 500 до 230, в связи со снижением уровня моря, а к концу периода на фоне подъёма уровня моря

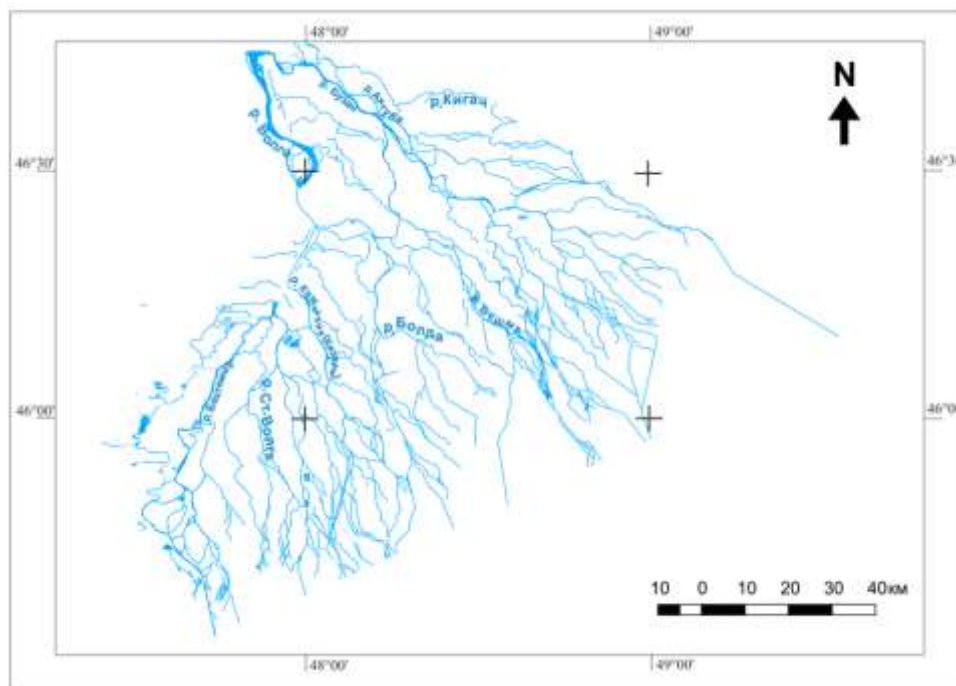


Рисунок 1. Основные рукава дельты Волги (по: Штыркова (Лысенко) Е.И., Янина Т.А, 2019; данные о гидрографической сети – по: Nextgis [сайт]. Платформа для работы с геоданными. URL: <https://nextgis.ru/>).

увеличилось до 1000. В настоящее время на МКД насчитывают более 800 устьев водотоков (Атлас..., 2015).

Гидрологическая сеть дельты Волги состоит из различных водоёмов и водотоков. Их названия являются общеупотребительными для описания физико-географических объектов, однако во избежание разночтений ниже по тексту приводится расшифровка используемых терминов. Ерик – узкая протока, соединяющая более крупные рукава или водоёмы (Самойлов, 1952; Рисунок 2). Култук – небольшой залив, образующийся вблизи МКД в устьях проток за счёт роста прирусловых валов и устьевых аккумулятивных форм. При дальнейшей аккумуляции наносов култук обособляется и превращается в кулутный ильмень, затем – в ильмень (полностью изолированный наносами озёровидный водоём, пересыхающий в межень; Астраханский заповедник..., 1991; Рисунок 3).

Среди временных водоёмов в дельте встречаются полои, образующиеся при затоплении участков дельтовой равнины во время подъёма уровня воды в половодье (Астраханский заповедник, 1991; Лактионов и др., 2020; Рисунок 4).

В дельте Волги выделяется пять основных систем рукавов: Бузана, Болды, Камызяка, Старой Волги и Бахтемира (Рисунок 1). Материал, отобранный из субаэральной части

а)



б)

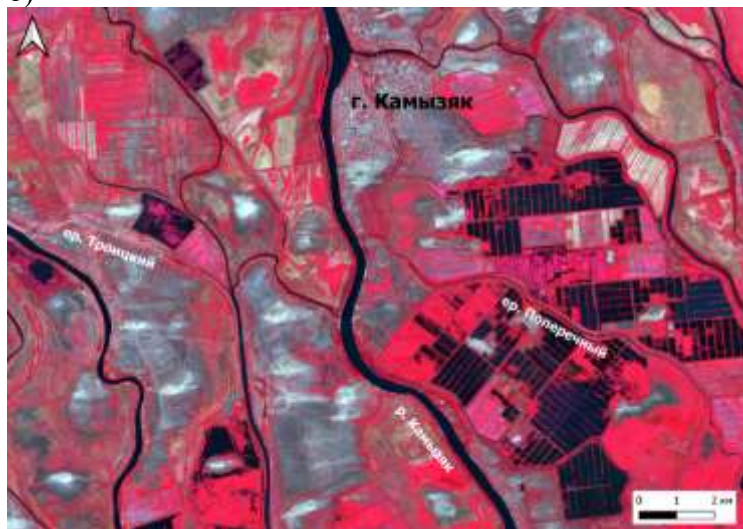


Рисунок 2. Примеры современных ериков Троицкий (отмирающий) и Поперечный (действующий) на космических снимках Sentinel-2: а) натуральная цветопередача, б) стандартные псевдоцвета (тёмно-синий, чёрный оттенки соответствуют водной поверхности; красные оттенки – растительному покрову). Здесь и далее: рисунки без указания авторства выполнены автором работы.

дельты и представленный в данной работе, получен из долин протоков Рыча, Быстрая и Полдневая, относящихся к системе Волги, а также – из долины р. Болда, являющейся главной протокой в одноимённой системе. В гидрологическом режиме водоёмов дельты чётко выражены половодье и межень. Строительство каскада водохранилищ на Волге заметно сгладило амплитуду колебаний её стока в течение года и одновременно увеличило скорость нарастания и спада уровня воды в половодье. При зарегулированном стоке Волги половодье в дельте отмечается с конца апреля до конца мая. Меженный период начинается во второй декаде июля (Астраханский заповедник..., 1991). Высота половодья составляет



от 3 м в вершине дельты до 0,1-0,2 м в районе МКД (Самойлов, 1952).

С учётом небольших перепадов высот в пределах дельты, большие площади её территории затапливаются во время половодья, особенно нижняя часть дельты и восточный район вблизи системы Бузана (Рисунок 1).

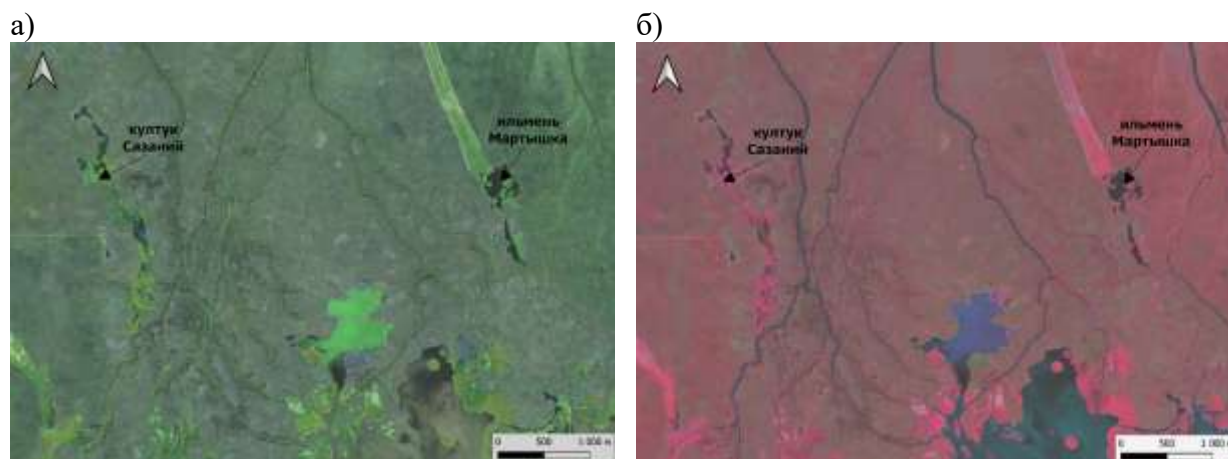


Рисунок 3. Примеры современного култука и ильменя на территории Дамчикского участка Астраханского заповедника на космическом снимке Landsat-8: а) натуральная цветопередача, б) стандартные псевдоцвета.



Рисунок 4. Полои, образовавшиеся во время половодья, на космическом снимке Sentinel-2 от 18.05.2023 г.

Прямое влияние Каспия на гидрологический режим дельты выражается в сгонно-нагонных явлениях, возникновение которых обусловлено большой площадью устьевоего взморья. Нагонные явления происходят осенью, их интенсивность зависит от направления ветра. Продвижение более холодных и обладающих большей солёностью вод Каспия вверх по рукавам дельты осуществляется по дну водотоков из-за большей плотности морских вод. Подъём уровня воды в водотоках дельты обычно достигает 0,5-1 м (Самойлов, 1952 г.). Во время сгонов наибольшее падение уровня наблюдается на краю устьевоего взморья дельты,



что приводит к более интенсивному размыву русел водотоков (бороздин). Сгонно-нагонные явления оказывают влияние и на солёность вод – важный показатель для формирования диатомовых ассоциаций. Согласно Бюллетеню о состоянии и загрязнении устьевой области р. Волги (2021, [сайт]. URL: <http://www.caspianmonitoring.ru/wp-content/uploads/2021/11/НТО-Бюллетень-УО-2020-для-сайта.pdf>), минерализация проток



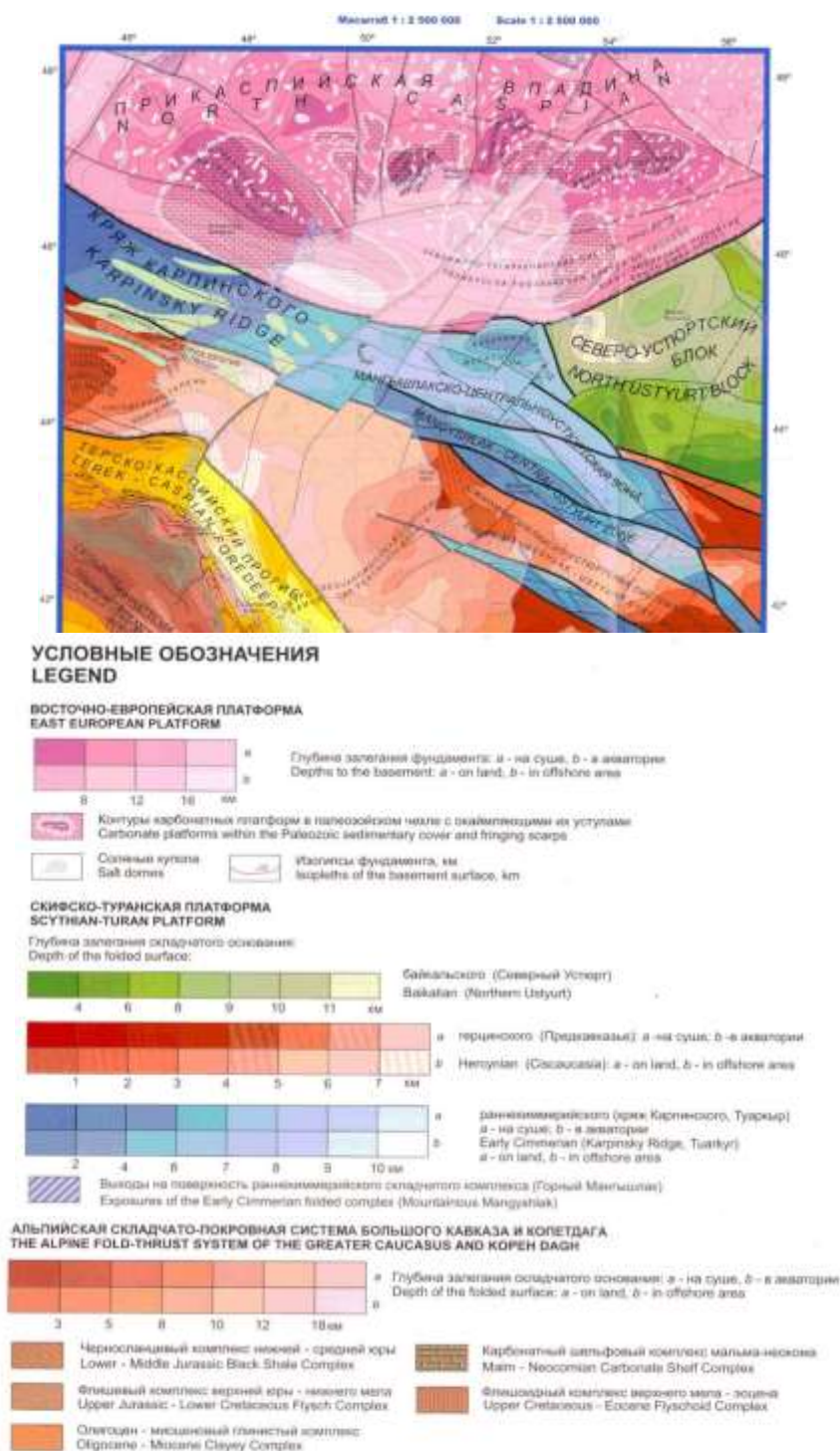
Рисунок 5. Дельта Волги во время половодья на космических снимках Sentinel-2 от 20 мая 2023 г. в натуральной цветопередаче. Затопленные территории представлены тёмно-коричневыми оттенками. (EO Browser [сайт]. Платформа для работы со спутниковыми данными Sentinel-2. URL: <https://apps.sentinel-hub.com/>).

дельты находится в пределах 330-380 мг/л, что соотносится с категорией вод средней минерализации (Алекин, 1953). Эта величина приблизительно соответствует расчётным значениям солёности в 0,33-0,38‰, полученным в результате вычитания содержания органических соединений из общей минерализации (Алекин, 1953). Максимальные значения минерализации 410 мг/л выявлены в протоке Кигач (Предварительные результаты..., 2017 [сайт]. URL: [https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Water\\_Convention/2016/Projects\\_in\\_Central\\_Asia/Transboundary\\_Rivers\\_Study\\_Kigach\\_Channel\\_Feb\\_2017.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Water_Convention/2016/Projects_in_Central_Asia/Transboundary_Rivers_Study_Kigach_Channel_Feb_2017.pdf)), расчётная солёность вод на основе предоставленных в работе гидрохимических данных составила 0,4‰. В мелководной зоне устьевого взморья р. Волги солёность вод в поверхностном слое в 2019 г. изменялась в пределах 0,3-6,3‰, в придонном – 0,3-6,5‰. В 2020 году диапазон значений солёности значительно шире: в поверхностном слое 0,2-11‰, в придонном – 0,2-11,1‰ (Бюллетень о состоянии..., 2021, [сайт]. URL: <http://www.caspianmonitoring.ru/wp-content/uploads/2021/11/НТО-Бюллетень-УО-2020-для-сайта.pdf>). Таким образом, сгонно-нагонные явления приводят к непостоянности солёностных условий на устьевом взморье и вблизи устьев дельтовых проток. Для осеннего периода характерны сезонные повышения солёности, связанные с нагонами и поступлением Каспийских вод.

## 1.2. Геологическое строение и геоморфология дельты Волги

### 1.2.1. Геологическое строение, тектоническое положение и стратиграфия четвертичных отложений

Дельта Волги располагается в пределах двух структурно-тектонических областей: Прикаспийской синеклизы (структурный элемент Русской плиты) и Скифо-Туранской плиты, граница между которыми проходит примерно по широте Астрахани (Коротаев и др., 2015, Рисунок 6).



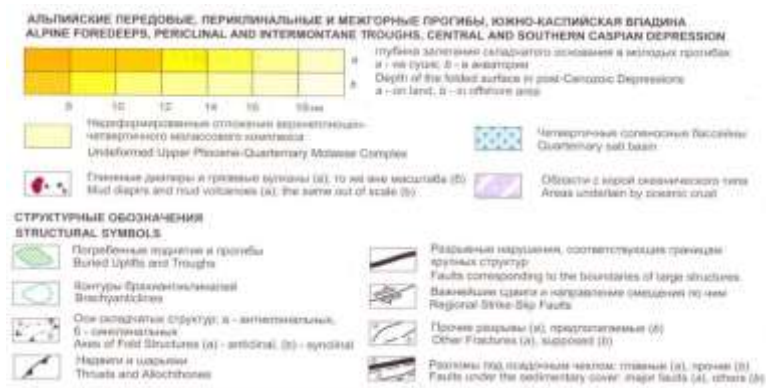


Рисунок 6. Фрагмент международной тектонической карты Каспийского моря и его обрамления и легенда к нему (По: Хаин и др., 2003).

Большая часть дельты лежит в пределах Прикаспийской синеклизы, крайняя юго-западная часть – в пределах складчатого основания Скифо-Туранской платформы раннекиммерийского возраста (кряж Карпинского). Согласно геофизическим данным, архейско-протерозойский кристаллический фундамент Прикаспийской синеклизы залегает на глубине более 15 км (Леонтьев и др. 1977; Нижняя Волга, 2002). В пределах Астраханского свода в центральной части современной дельты глубина залегания фундамента уменьшается до 8 км (Рисунок 6). Раннекиммерийский складчатый комплекс кряжа Карпинского залегает на меньшей глубине – от 4 до 6 км.

Положение большей части территории в крупном прогибе обуславливает интенсивное осадконакопление в устьевой части Волги и формирование дельтовой равнины (Рисунок 5). Данный участок не был затронут процессами горообразования в течение длительного времени. Это способствовало формированию мощной – до 24 км – толщи осадочного чехла (Астраханский..., 2008). Ввиду очень большой мощности осадочный чехол в пределах Прикаспийской синеклизы изучен в основном сейсмостратиграфическими методами. Толща осадочных пород подразделяется на три сейсмостратиграфических комплекса: подсолевой (включает образования рифея, ордовика-силура, девона, карбона и ассельского-артинского ярусов нижней перми), солевой (отложения кунгурско-казанского ярусов нижней-верхней перми) и надсолевой верхнепермско-четвертичный (Астраханский..., 2008). Большая часть современной дельты Волги расположена в пределах Астраханского свода – карбонатной платформы девонско-каменноугольного возраста. К нему приурочено формирование нефтяной залежи (Быстрова и др., 2017), а также Астраханского газоконденсатного месторождения в центральной части свода (Еламская, 2017). Продуктивными являются отложения башкирского яруса среднекаменноугольной системы, расположенные в подсолевом комплексе.

Толщи солевого и надсолевого комплексов, сформировавшиеся в период с девона по настоящее время, подвержены дислокациям. Дислоцированность отложений связана с

внедрением соляных диапиров кунгурского яруса нижней перми, которое представляет собой пластическое поднятие соляных куполов вследствие давления вышележащих толщ. Нарушение стратиграфической полноты отложений Прикаспийской синеклизы усугубляется интенсивной эрозией мигрирующими водотоками, что в особенности относится к четвертичным породам.

Мощность четвертичных отложений дельты Волги в среднем составляет несколько десятков метров, максимальная – 364 м в западной депрессионной зоне (Атлас дельты Волги..., 2015). Работы над созданием стратиграфической схемы всего Каспийского региона ведутся с конца XIX в. (Андрусов, 1888), однако некоторые вопросы о возрасте отложений плейстоценовых и голоценовых каспийских трансгрессий до сих пор остаются дискуссионными. Согласно обобщению обширных данных о стратиграфии Каспийского плейстоцена, проведённого Т.А. Яниной с коллегами (2025), в плейстоцене большинством исследователей признаётся наличие пяти крупных трансгрессивных эпох: акчагыльской, апшеронской, бакинской, хазарской и хвалынской. В голоцене выделяется новокаспийская трансгрессивная стадия (Рисунок 7). Указанные трансгрессивные эпохи разделяются регрессиями, о масштабах и временном интервале которых также зачастую существует несколько точек зрения.

Возраст начала формирования акчагыльских отложений оценивается рядом авторов в 3.6 млн лет (Молостовский, 1997; Невеская и др., 2005). Также существуют данные о более позднем возрасте – в интервале от 3.0 до 2.6 млн лет назад (Гурарий, 2015) и около 2.7 млн л.н. (Van Baak, 2015; Lazarev et al., 2019). Акчагыльский бассейн является самым крупным в плейстоценовой истории Каспия, уровень моря достигал абсолютных отметок +100 м (Свиточ, 2014). Граница с вышележащими апшеронскими отложениями российскими исследователями отнесена к 1.8 млн л.н. (Гурарий и др., 1973; Трубихин, 1977), однако рядом авторов также получены более древние датировки – 2.1 млн л.н.

Непосредственно на территории дельты Волги А.А. Свиточ и Т.А. Янина (1994) выделяют следующие отложения в стратиграфической схеме: бакинские, хазарские, ательские (регрессивная стадия), хвалынские и осадки волжской дельты, соответствующие новокаспийскому времени (Рисунок 8). Данная схема была составлена до понижения границы плейстоцена в 2009 г. (Gibbard, Head, 2009), поэтому «плейстоцен» следует читать как «неоплейстоцен». Согласно фондовым материалам, в стратиграфической схеме юго-западного сектора дельты наиболее ранними четвертичными отложениями также являются бакинские (Акуз и др., 1961; Рисунок 9).

Большинство исследователей Каспийского региона относят бакинскую трансгрессию к раннему неоплейстоцену (Янина и др., 2025). В пределах территории



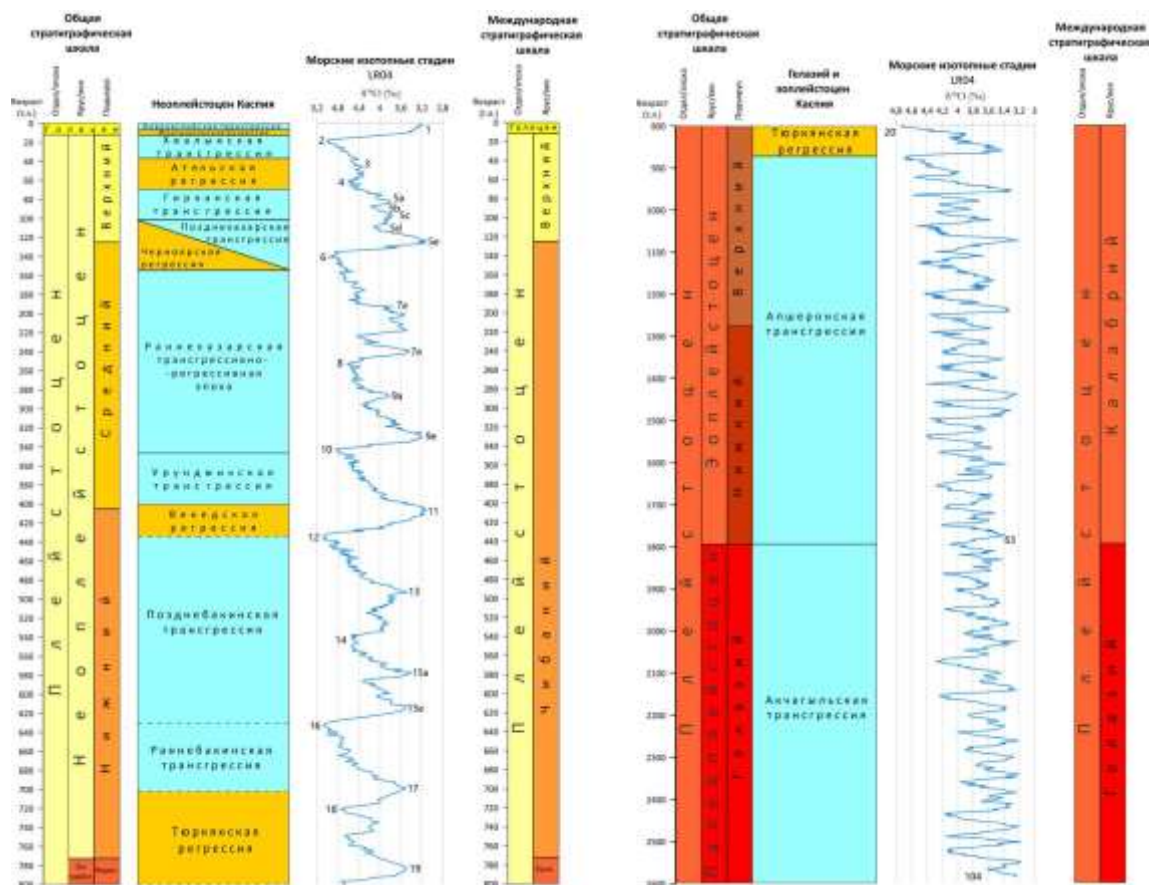


Рисунок 7. Плейстоценовые события Каспия, их положение в Общей и Международной стратиграфических шкалах и соответствие морским изотопным стадиям (По: Янина и др., 2025). (Van Baak et al., 2013; Lazarev et al., 2019). Апшеронская трансгрессия имела меньшие масштабы, до +50 м абс. (Леонтьев, 1968; Рычагов, 1997).

дельты Волги данные осадки представлены глинами пёстрыми, зелёно-серыми и мергелистыми с прослоями песка. Их мощность оценивается от 100-120 м (Акуз и др., 1961) до 300 м (Свиточ, Янина, 1994). Таким образом, согласно современной редакции общей стратиграфической шкалы, четвертичные отложения дельты Волги охватывают ярус неоплейстоцена и отдел голоцена.

В начале среднего неоплейстоцена в стратиграфической схеме Каспия выделяется урунджикская трансгрессия (Рисунок 7). По площади данный бассейн ненамного превышал современный Каспий (Невесская 1958, Федоров, 1978). Вероятно, по этой причине урунджикские отложения на территории дельты Волги не выявлены. Также следует отметить, что ряд авторов отрицает выделение урунджикского горизонта (например, Лебедева, 1978; Алескерова, 1990). В Нижнем Поволжье выделяются сингильские отложения, соответствующие по времени урунджикскому горизонту (Свиточ, Янина, 1997, 2007). Однако по результатам исследований А.С. Застрожного с коллегами (2018),



хазарского бассейна разделены регрессией. Максимальные уровни раннехазарского бассейна оцениваются от +15 м абс. (Рычагов, 1997) до +25 м (Свиточ, Янина, 2007), наиболее актуальные данные о его возрасте получены на основе метода оптико-стимулированной люминесценции (ОСЛ) – 220–200 тыс. л. н. (Kurbanov et al., 2024). В дельте Волги данные отложения представлены песчанистыми глинами и сизо-серыми песками.

Над нижнехазарским горизонтом залегают черноморские слои – аллювиальная свита, представляющая собой отложения позднехазарской Волги (Акуз и др., 1961; Янина и др., 2025). Данная свита обнаруживается в разрезах Нижней Волги, например, у сёл Чёрный Яр, Райгород и Солёное Займище, однако на территории современной дельты эти отложения не выявлены. Возраст черноморских отложений методом ОСЛ датируется в интервале 130–105 тыс. л. н. (Taratunina et al., 2024).

Верхнехазарский горизонт представляет собой отложения трансгрессии, во время которой уровень моря был значительно ниже раннехазарского этапа и составлял -10 м абс. (Рычагов, 1997; Свиточ, Янина, 1997; Свиточ, 2014). Ввиду малой площади бассейна, отложения верхнехазарского горизонта достоверно не выделяются в разрезах на территории современной дельты Волги (Акуз и др., 1961). Существуют противоречивые мнения о хронологических границах горизонта: в обобщающей работе Т.А. Яниной с соавторами (2025) он выделяется в начале позднего неоплейстоцена, Г.И. Попов (1983) относит данные отложения к среднему неоплейстоцену. Методы абсолютного датирования также не позволяют дать однозначный ответ на время формирования верхнехазарских отложений, так как они частично пересекаются с датами, полученными для черноморских слоёв: 133,5–122,5 тыс. л. н. (Wegwerth et al., 2014) и 130–127 тыс. л. н. (Butuzova et al., 2022).

Выделение вышележащего гирканского горизонта и одноимённой трансгрессии является предметом дискуссий с 50-х годов XX в. Исследования последних нескольких десятилетий позволили предоставить обширный фактический материал, обосновывающий существование гирканской трансгрессии: данные из скважин в Северном Каспии и на Маныче, а также из разрезов Нижней Волги (Янина и др., 2025). Согласно фондовым материалам и исследованиям в дельте Волги, в разрезах на её территории гирканские отложения не выявлены.

После гирканского этапа в стратиграфической схеме Каспийского региона выделяются отложения ательской регрессии, которые также отмечены А.А. Свиточем и Т.А. Яниной (1994) в дельте Волги. Положение уровня моря во время регрессии оценивается по-разному: -43 м абс. (Бадюкова, 2015), -100 м (Безродных и др., 2015) и -140

м (Лохин, Маев, 1990). Оценки возраста данных отложений также неоднозначны, ательский горизонт соотносится исследователями с разными оледенениями: поздневалдайское, осташковская (Лаврушин и др., 2014) и калининская (Yanina, 2012, 2014) стадии; от максимума калининской до максимума осташковской стадии (Свиточ, 2014). По современным данным абсолютного датирования, возраст отложений составляет от 65 до 40 тыс. л.н. или от МИС 4 до первой половины МИС 3 (Безродных и др., 2015; Taratunina et al., 2022; Kurbanov et al., 2024; Рисунок 7).

Наиболее подробно изучены отложения двух последних трансгрессивных бассейнов Каспия: хвалынского (самого обширного в неоплейстоцене) и новокаспийского. Эти отложения широко распространены на территории дельты Волги.

В более ранних работах исследователями выделяется три горизонта внутри хвалынского яруса (Акуз и др., 1961). По современным представлениям, в составе хвалынского горизонта выделяются ниже- и верхнехвалынский подгоризонты, залегающие несогласно (Шкатова, 2013). Суммарная мощность хвалынского горизонта в разрезах на территории современной дельты Волги составляет 5-25 м. На шельфе Северного Каспия, согласно данным бурения и сейсмоакустического профилирования, мощность хвалынского горизонта составляет около 10-25 м (Безродных и др., 2015; Сорокин и др., 2023; Bezrodnykh et al., 2004; Yanina et al., 2021; Bolikhovskaya et al., 2024).

В дельте Волги нижнехвалынские отложения у подошвы представлены желовато-серыми мелкозернистыми песками с обильными включениями солоноватоводных и пресноводных моллюсков. Выше по разрезу пески переходят в так называемые шоколадные глины, маркирующие максимальное стояние уровня моря во время раннехвалынской трансгрессии (+50 м – по: Янина и др., 2025; +47–48 м – по: Варущенко и др., 1987). На данный момент не существует единого мнения о возрасте отложений хвалынского горизонта. Так, начало раннехвалынской трансгрессии датируется в интервале 70–50 тыс. л. н. (Зубаков, 1974; Леонтьев и др., 1977; Рычагов, 1997; Бадюкова, 2007). В то же время обобщение радиоуглеродных датировок для раннехвалынского этапа охватывает интервал 46–12.5 тыс. кал. л. н. (Макшаев, Ткач, 2023). Также отмечается разница в датировках, полученных разными методиками радиоуглеродного анализа: по жидкостно-сцинтилляционной полученный возраст составляет от 36 до 14.5 тыс. кал. л. н.; по масс-спектрометрической – от 50 до 26 тыс. кал. л. н. (Сорокин и др., 2023), что также создаёт сложности в оценке возраста этапов хвалынской трансгрессии (Янина и др., 2025). Массовое датирование нижнехвалынских шоколадных глин из разрезов Нижнего Поволжья ОСЛ методом позволяет отнести формирование этих отложений к периоду 27–14 тыс. л. н.



(Kurbanov et al., 2021, 2022, 2024; Butuzova et al., 2022; Taratunina et al., 2022, 2024).

Несогласное залегание отложений верхне- и нижнехвалынского подгоризонтов обусловлено енотаевской регрессией (Броцкий, Карандеева, 1953). По мнению некоторых авторов (Самойлов, 1952), с этого времени начинается современная история развития дельты, местоположение которой на момент регрессии установлено по погребённым дельтовым осадкам на севере Среднекаспийской котловины, залегающим на глубине 70-80 м ниже современного уровня моря (Маев, 1994). Согласно другим исследованиям, клиновидные тела эрозионных долин, заполненные песками, залегают на шельфе Каспийского моря на глубине 25-40 м (Рычагов, Коротаев и др., 2010), С.И. Варущенко и соавторы (1987) оценивают глубину залегания в 36 м. Ввиду разночтений в оценке возраста хвалынских трансгрессивных подгоризонтов, датировки енотаевских отложений также остаются дискуссионным вопросом. Различие датировок из разрезов Нижней Волги и скважинного материала на шельфе Северного Каспия приводит к сложностям в стратиграфической интерпретации трансгрессивно-регрессивных этапов хвалынского бассейна. Согласно обобщениям по радиоуглеродным датировкам, период енотаевской регрессии относится к позднему дриасу, то есть, 12.8–11.7 тыс. л. н. (Макшаев, Ткач, 2023). По результатам ОСЛ-датирования почвенного горизонта, сформировавшегося во время енотаевской регрессии, возраст палеопочвы составил 13–12 тыс. л. (Butuzova et al., 2022).

Отложения верхнехвалынского подгоризонта отвечают трансгрессивной стадии Каспия, уровень которого достигал абсолютных отметок 0 м. Дальнейшее снижение уровня Каспия происходило постепенно с некоторыми осцилляциями: выделено четыре частные стадии на абсолютных высотах от -5-6 м до -30 м. В строении осадочных толщ это отражается в смене лагунных песчано-глинистых отложений аллювиальными осадками дельт выполнения.

Возраст верхнехвалынских отложений на основе различных методов датирования (уран-ториевый, радиоуглеродный, ОСЛ) оценивается по-разному. Датирование материала из скважин на шельфе Северного Каспия указывает на возраст верхнехвалынских отложений от 9 до 15–16 тыс. кал. л.н. (Безродных и др., 2004). Согласно более поздней работе Ю.П. Безродных с соавторами (2015), нижняя граница верхнехвалынского горизонта по результатам радиоуглеродного датирования оценивается в 19.4-19.8 тыс. кал. л. В работе В.М. Сорокина с соавторами (2023) минимальный возраст позднехвалынских отложений оценивается в 14.5-15 тыс. кал. л.н., максимальный – 18-18.5 тыс. кал. л.н.

Также проводилось датирование верхнехвалынских отложений из разрезов Северного Прикаспия. В работе Р.Р. Макшаева и Н.Т. Ткача (2023) приведены 3 даты в интервале 11,1–8,3 тыс. кал. л., что предполагает довольно непродолжительное развитие

трансгрессивного этапа вплоть до начала голоцена. В сводном разрезе четвертичных отложений дельты Волги окончание хвалынского этапа, по мнению авторов, также соответствует началу голоцена (Свиточ, Янина, 1994; Рисунок 8). Исходя из данных ОСЛ датирования почвенного горизонта времени енотаевской регрессии, возраст формирования верхнехвалынских отложений – менее 13–12 тыс. л. (Butuzova et al., 2022), что согласуется с радиоуглеродными датировками из разрезов, но не совпадает с таковыми из скважин на шельфе Северного Каспия. Таким образом, верхнехвалынские отложения на шельфе Северного Каспия датируются в самом широком диапазоне от 9 до 19.8 тыс. кал. л. н., материал из разрезов Северного Прикаспия – от 8.3 до 11.1 тыс. кал. л. н.

Следующее событие вслед за позднехвалынской трансгрессией – мангышлакская регрессия, которая традиционно относится к раннему голоцену (Рисунок 7). По оценкам разных авторов уровень моря опускался до отметок -56 м (Леонтьев и др., 1976) или -90 м (Маев, 2009; Bezrodnykh, Sorokin, 2016). В этот период в результате размыва на территории дельты частично обнажились раннехвалынские глины. Характерные формы для периода данной регрессии – удлинённые холмы (бэровские бугры), расположенные субширотно и широко развитые в современной дельте и окружающих районах. «Ядром» бугров часто являются раннехвалынские шоколадные глины, которые прослеживаются и на дне Каспийского моря. Также некоторыми исследователями формирование бэровских бугров относится к концу позднехвалынского периода или в интервале конец плейстоцена – начало голоцена (Лобачева и др., 2021).

Ввиду резкого сокращения площади моря, дельты впадающих в Каспий рек испытали сильное выдвигание. Типичные аллювиальные осадки откладывались на территории современного Северного Каспия, а примерно на широте 44° формировалась объединённая авандельта Волги, Терека и Кумы (Варущенко и др., 1987). Основной сток Волги во время мангышлакской регрессии, по мнению исследователей, осуществлялся по двум рукавам, формируя глубокие врезы вплоть до кровли морских отложений хазарской и бакинской трансгрессий (Рисунок 10).

По данным сейсмоакустического профилирования, на шельфе Северного Каспия мангышлакские отложения приурочены к погребённым палеоформам «двух генетических типов: (1) речные врезы, сформировавшиеся при снижении уровня моря, и (2) замкнутые, большей частью вытянутые в одном направлении депрессии разных размеров, представляющие собой реликтовые понижения в рельефе осушавшихся палеodelьт». (Безродных и др., 2014, с. 90). В пределах речного вреза максимальная мощность мангышлакских отложений достигает 35 м, в замкнутых палеопонижениях – 6-8 м (в наиболее крупных – 12-13 м; Безродных и др., 2014).

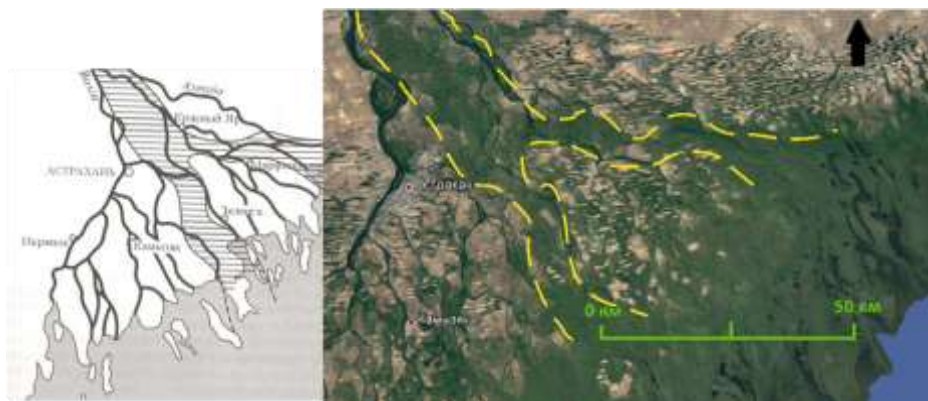


Рисунок 10. Схема основных рукавов Волги в мангышлакское время (По: Свиточ, Янина, 1994; Рычагов и др., 2010).

Согласно исследованиям скважинного материала на шельфе Северного Каспия, время заполнения мангышлакских врезов соответствует 11.4–7.3 тыс. кал. л. н. (Безродных и др., 2014; Bezrodnykh, Sorokin, 2016). Этот интервал частично перекрывается с датами позднехвалынской трансгрессии, полученными из разрезов Нижней Волги.

Подробные реконструкции развития растительности и климата Нижнего Поволжья (разрезы Солёного Займища, Волго-Ахтубинская пойма) и дельты Волги (скважины Дамчикского участка) на основе палинологического анализа выполнены Н.С. Болиховской, только для дельты Волги – Н.С. Болиховской и К. Ричардсом (Болиховская, Касимов, 2008; Болиховская, 2011; Болиховская, 2019; Bolikhovskaya, Kasimov, 2010; Richards, Bolikhovskaya, 2010; Richards et al., 2014; Richards, 2018). В мангышлакское время отмечается возросшая континентализация климата на фоне некоторого похолодания. Отложения, отнесённые ко времени мангышлакской регрессии, датируются 10250-9500 кал. л.н. (Болиховская, 2011; Болиховская, 2019). В скважинах из дельты Волги возраст этого периода составляет более 9010 кал. л. н. (Richards et al., 2014).

В данной работе положение мангышлакских отложений в начале голоцена рассматривается в соответствии со стратиграфической шкалой, обобщённой Т.А. Яниной с соавторами (2025; Рисунок 7). В более ранних работах (Свиточ, Янина, 1994) и фондовых материалах (Акуз и др., 1961) распространение собственно мангышлакских отложений в дельте Волги не отмечается, влияние регрессии рассматривается в интенсивном врезании водотоков и размывании нижележащих древних горизонтов.

Выше по разрезу залегают отложения новокаспийского горизонта, по времени соответствующие голоцену. Представления о периодизации этапов трансгрессии подробнее рассмотрены в гл. 2.2. Сложность стратиграфии голоценовых отложений дельты Волги заключается в том, что они представлены не только морскими осадками новокаспийского трансгрессивного бассейна, но и аллювиально-морскими,

аллювиальными и современными отложениями различного генезиса (собственно дельтовые, лагунные, отложения ильменей и др.), которые составляют значительную мощность. Согласно геологическим разрезам к литолого-геологической карте дельты, полученной из фондовых материалов (Акуз и др., 1961), максимальная мощность голоценовых отложений в её северной части (вблизи ответвления рукава Бузан) составляет более 25 м. Они представлены преимущественно аллювиальными песками и супесями, а также ильменными глинистыми отложениями. По данным акустического профилирования, мощность послехвалыньских отложений оценивается от 5 до 25 м, наибольшая мощность приурочена к двум мангышлакским врезам и понижению в районе русла р. Болда (Айбулатов, 2001).

В центральной части дельты наиболее распространённые значения мощности голоценовых отложений – 10–15 м. Максимальная мощность достигает 27 м, она выявлена в результате бурения скважины на левобережье протоки Волга в створе с. Никольское. Повышенная мощность голоценового аллювия приурочена к долинам крупных протоков (Волга, Бахтемир) и унаследованному понижению одной из долин (западной), по которым осуществлялся сток Волги в мангышлакское время (см. п. 2.2). Литературные данные также подтверждают приуроченность максимальной мощности голоценовых отложений в дельте к глубоким врезам древних протоков Волги в её центральной части (Нижняя Волга, 2002; Коротаев и др., 2015). Также в центральной части дельты широко распространены линзы озёрных (ильменных) отложений мощностью 7–20 м. Наибольшей мощности отложения ильменей достигают на левобережье р. Болда в р-не с. Бараний Бугор. Голоценовые отложения нередко залегают поверх нижнехвалыньских шоколадных глин, слагающих ядра бэровских бугров, которые широко распространены в центральной части дельты. Это свидетельствует о возможном размыве верхнехвалыньских отложений. Исходя из анализа фондовых материалов, подошвы бэровских бугров в центральной части дельты залегают на глубине 10–20 м от дневной поверхности, вышележащая толща представлена голоценовыми осадками.

На шельфе Северного Каспия мощность отложений новокаспийского горизонта составляет в среднем 1–3 м (Сорокин и др., 2023; Безродных и др., 2015;), однако также имеются данные о повышенной мощности отложений новокаспийского горизонта – 3,8–6,5 м – в мелководной части шельфа (Bezrodnykh et al., 2004).

В ранних работах большинство авторов выделяли три стадии новокаспийской трансгрессии (Леонтьев, Федоров, 1953; Никифоров, 1963), а согласно более поздним исследованиям было идентифицировано не менее семи фаз (Варущенко и др., 1987; Рычагов 1997). В более поздней работе Г.И. Рычагов (2019) объединил трансгрессивные фазы в

четыре стадии. На шельфе Северного Каспия в осадках голоценового возраста достоверно выделяется три трансгрессивных слоя с морской фауной и два регрессивных, представляющих собой фации заполнения речных врезов (Сорокин и др, 2023; Bezrodnykh et al., 2020). По мнению некоторых авторов (Свиточ, Янина, 1994), морские новокаспийские отложения встречаются и на современной территории дельты: осадки максимума новокаспийской трансгрессии представлены серо-жёлтыми песками; осадки, соответствующие позднеголоценовой стадии трансгрессии Каспия – песками, супесями и илистыми серо-сизыми суглинками. Высотные уровни и мощность новокаспийских отложений остаются дискуссионным вопросом. Абсолютная высота береговой линии Каспия в первую фазу трансгрессии составляла, по оценкам разных авторов, от –20 м (Варущенко и др., 1987), что предполагает затопление практически всей территории современной дельты, до –25 м (Рычагов, 2019), что лишь немного превышает нижнюю границу дельты Волги (–27 м).

Согласно исследованиям Нижней Волги коллектива авторов, во время полного затопления современной территории дельты в среднем голоцене в её привершинной части существовал небольшой залив, отличающийся более спокойными гидродинамическими условиями осадконакопления от нижней части дельты, где происходила фуркация русла, в частности – отделение рукава Бузан (Нижняя Волга, 2002; Рисунок 1). Наряду с морскими отложениями к среднему голоцену относятся пески аллювиально-морского генезиса, распространённые в межбугровых понижениях в западном секторе дельты (Свиточ, Янина, 1994; Рисунок 8), а также пески аллювиально-дельтового генезиса. Морские пески – жёлто-серые, слоистые, мелкозернистые, хорошо сортированы. Отложения устья Волги – пески глинистые, серого и жёлто-серого цвета, с растительными остатками. Морские пески и отложения устья Волги отличаются по видовому составу моллюсков, в морских преобладают солоноватоводные виды, в аллювиальных – пресноводные и солоноватоводные (Рисунок 8). Мощность среднеголоценовых отложений оценивается 10 м и более (Свиточ, Янина, 1994). Они залегают в разрезах неравномерно, что иллюстрирует пестроту палеогеографических условий осадконакопления. В центральной части дельты отложения залегают на глубине 1–7 м. В межбугровых ильменных понижениях – прямо с поверхности, отличаются более тонким составом и значительной долей органики.

Следующая фаза подъёма уровня Каспия, относящаяся к позднему голоцену, по мнению нескольких авторов, достигала максимальных высотных отметок от –19 до –24 м. По вопросу о соотношении максимальной высоты береговой линии первой и второй стадий трансгрессии существуют противоположные мнения. В целом, можно сделать вывод, что территория дельты Волги претерпела затопление, как минимум, в южной части. В южных

окраинных участках дельты данному времени соответствуют ильменные отложения, представленные серыми песками, супесями и суглинками серо-сизыми с растительными остатками (Рисунок 7). Затопление южной части дельты сопровождалось широким развитием култучно-ильменных осадков по всей территории дельты Волги, продолжением формирования дельты выполнения и началом образования дельты выдвижения (Нижняя Волга, 2002). Несмотря на различные оценки максимальных высот более поздних стадий новокаспийской трансгрессии, авторами отмечено уменьшение амплитуды изменений уровня моря и снижение максимальной высоты затопления, в том числе в области дельты Волги (Варущенко и др., 1987; Леонтьев и др., 1977; Рычагов, 1997, 2011, 2019). На последних стадиях трансгрессии, происходивших в исторический период, осадконакопление приобрело аллювиально-дельтовый характер.

Современные отложения на территории дельты Волги представляют собой сложное сочетание осадков различных фаций (Рисунок 11).

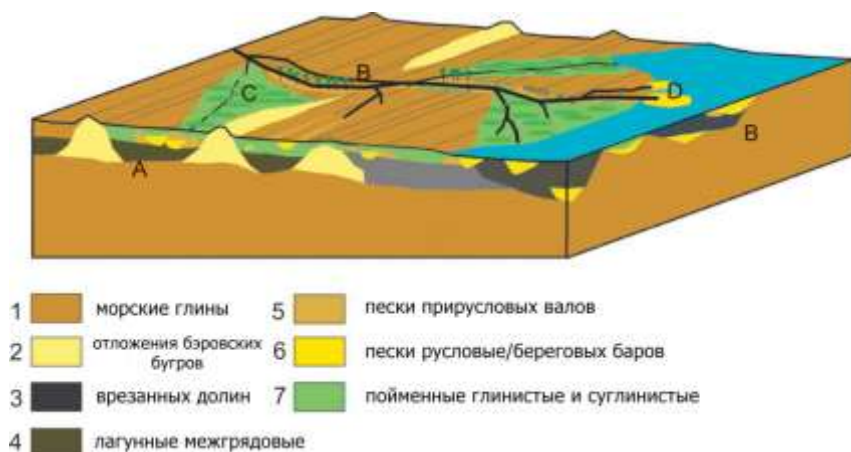


Рисунок 11. Упрощённое строение осадочного чехла голоценовых отложений дельты Волги в Дамчикском районе. А – основание из морских глин и бэзовских бугров; В – основное русло и песчаные бары, приуроченные к раннеголоценовым врезанным долинам; С – заросшие отмершие рукава; D – береговые бары – участки современного осадконакопления. (Штыркова (Лысенко) Е.И., Янина Т.А., 2019, по: Overeem et al., 2003).

Для наиболее мощных аллювиальных толщ характерна фациальная изменчивость, отражающаяся в частом переслаивании песчаных, суглинистых и глинистых отложений. Это связано с динамичностью дельтовых протоков и чуткой реакцией на климатические условия и изменения базиса эрозии Волги. Современное осадконакопление в дельте довольно интенсивное. По результатам анализа карт с ситуацией на XIX-XX в. был сделан вывод о средней скорости активного выдвижения морского края дельты 0,2 км/год (Айбулатов, 2001).

### 1.2.2. Геоморфологическое районирование и основные формы рельефа дельты Волги

Особенности тектонического строения и последующие трансгрессивно-регрессивные стадии Каспия способствовали формированию равнинного аккумулятивного рельефа дельты. Дельтовая равнина располагается на абсолютных высотах от -20 до -29 м. В течение голоценового времени происходило заполнение мангышлакских врезов, наблюдалась тенденция к выполаживанию рельефа. В то же время морфология дельты неоднородна: по особенностям унаследования и последующей трансформации доголоценового рельефа выделяют три основные части дельты.

Условная линия Астрахань – Красный Яр служит границей между северной (привершинной) и центральной частями дельты (Атлас..., 2015). Район северной части дельты представляет собой старично-проточную (по: Леонтьев и др., 1977 – пойменно-русловую) дельтовую равнину – наиболее древнюю часть дельты (Нижняя Волга, 2002; Атлас..., 2015, Рисунок 12). Данная зона является переходной между Волго-Ахтубинской поймой и собственно дельтой с высокой густотой речной сети. В привершинной части среди положительных форм широко развиты пологие гряды (останцы прирусловых валов). В руслах протоков часто встречаются осерёдки, также окружённые прирусловыми валами (Прикладная геоморфология, 1961). Высота островов в период межени не превышает 2,0 м (Русакова, Чунаева, 1963). Поверхность островов пологовогнутая, по контуру они ограничены прирусловыми валами. Нередко в понижениях на поверхности осерёдков встречаются старичные понижения и ложбины – следы прежних протоков – и округлые понижения, сформировавшиеся на месте ильменных озёр (Атлас..., 2015; Коротаев, 2011).

В пределах полого-грядистой поймы среди отрицательных форм наиболее часто встречаются старичные понижения, озёрные котловины высохших ильменей и култушные западины.

Ниже приведён геоморфологический профиль привершинной дельты (Рисунок 13). Поле высот в этом районе находится в пределах от -21 до -23 м, перепад высот между днищами старичных понижений, култужно-ильменных впадин и прилегающей поверхностью равнины не превышает 2 м. В ходе перераспределения стока между рукавами Волги происходит отмирание, прорыв некоторых протоков, что ведёт к преобразованию рельефа. Густота речной сети на 1991 год наименьшая относительно остальных частей дельты – 0,6 км/км<sup>2</sup> (Геоинформационная..., 1999).



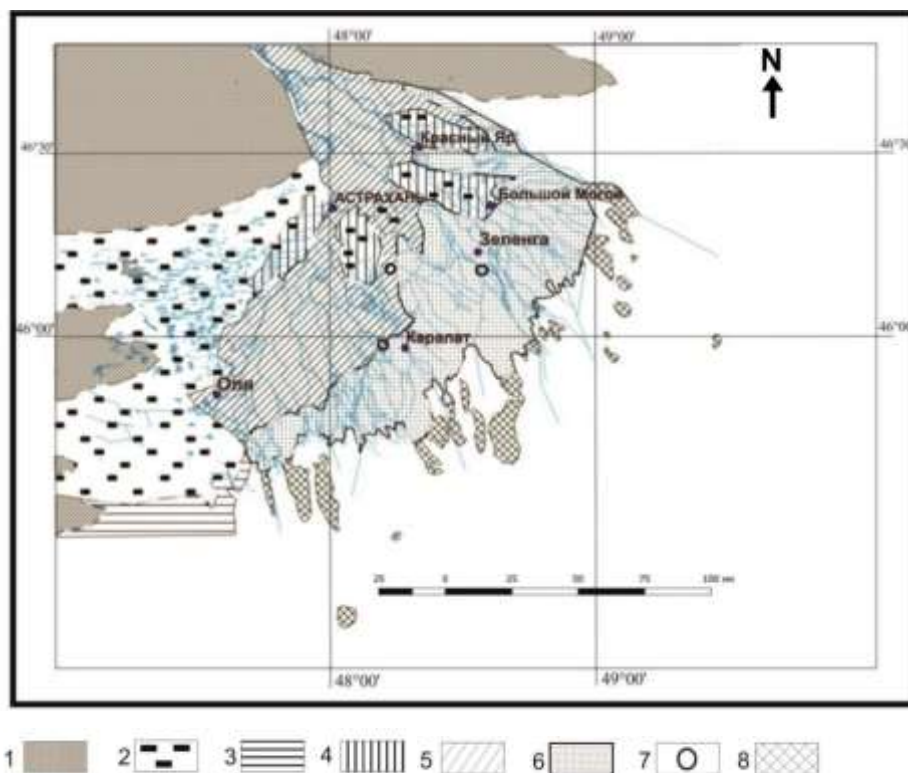
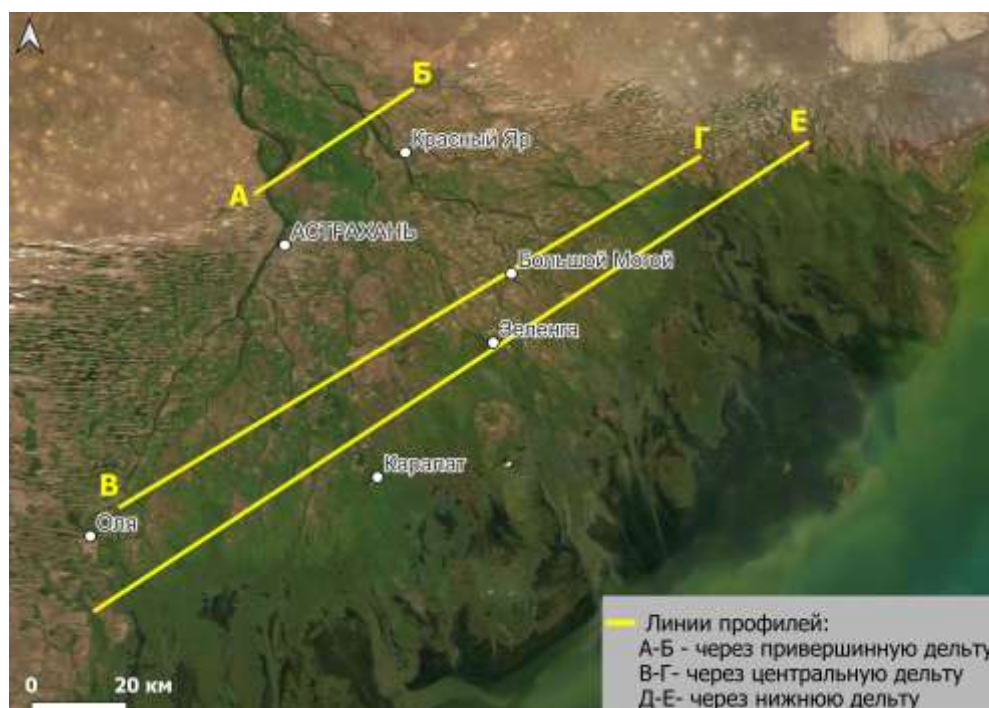


Рисунок 12. Геоморфологическая схема дельты Волги: 1 – верхнехвалынская морская равнина; 2 – бэровские бугры; 3 – новокаспийская морская равнина; 4 – дельтовая равнина, осложнённая бэровскими буграми; 5 – пойменно-русовая дельтовая равнина; 6 – култучная дельтовая равнина; 7 – останцы хвалынской морской равнины; 8 – аккумулятивные приустьевые формы (Штыркова (Лысенко) Е.И., Янина Т.А., 2019, по: Леонтьев и др., 1977).

а)





б)

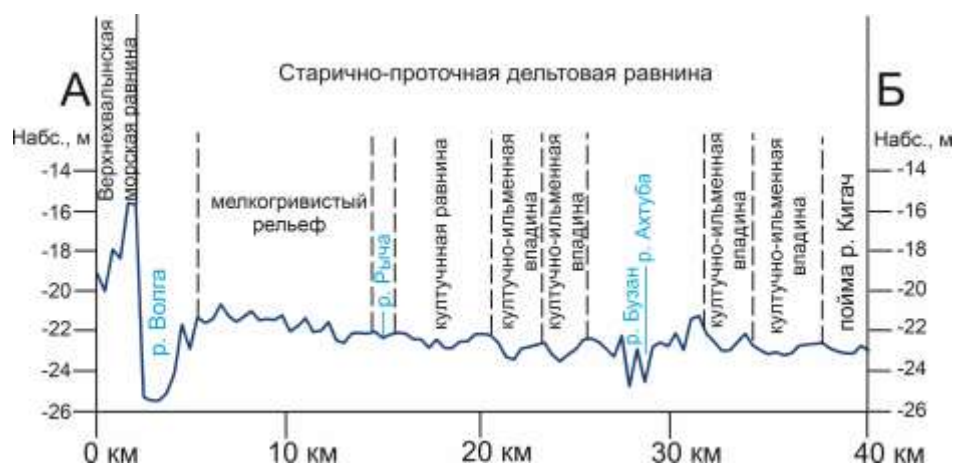


Рисунок 13. Геоморфологические профили через различные участки дельты на основе цифровой модели рельефа (SRTM): а) местоположение профилей; б) профиль по линии А–Б через привершинную дельту (SRTM [сайт]. URL: <https://dwtkns.com/srtm30m/>).

Центральная (бугровая) часть современной дельты располагается на бывшей авандельте Волги, которая предположительно существовала на начальных стадиях новокаспийской трансгрессии (Атлас..., 2015). Данный участок занимает наибольшую площадь дельты и характеризуется наиболее сложным сочетанием разновозрастных форм. В этой части современной дельты широко распространены останцы новокаспийских террас, окружённые многочисленными рукавами Волги, в пределах которых располагаются реликтовые формы рельефа хвалынского времени – бэровские бугры (Коротаев, 2011). Как было сказано ранее, это вытянутые, нередко соединяющиеся между собой положительные формы рельефа с пологими склонами, образующие системы субширотного простираения. Их длина может достигать первых километров, а высотный спектр – от нескольких метров до 10-12 м (Бадюкова, 2010; Атлас..., 2015). Бугры чаще всего сложены песками или глинистыми агрегатами песчаной размерности. В их основании нередко залегают коричневато-бурые (шоколадные) глины. Скопления бугров распределяются по территории дельты неравномерно. Наибольшая ширина скоплений бугров – 30-50 км между рукавами Бахтемир и Кривая Болда, а также между рукавами Бушма и Бузан (Нижняя Волга, 2002). Бэровские бугры вносят разнообразие в ландшафтную структуру центральной части дельты. Межбугровые понижения, как правило, заняты отмирающими пойменными протоками или изолированными зарастающими водоёмами. Бугровые зоны приводят к контрастным значениям густоты речной сети – от 0,4 км/км<sup>2</sup> в местах скопления бугров и до 1,2 км/км<sup>2</sup> на границе с нижней частью дельты (Геоинформационная..., 1999). Бэровские бугры служат причиной вынужденных меандров дельтовых протоков. В месте пересечения дельтовыми протоками бугровой зоны наблюдается наименьшая мощность современных рыхлых отложений, дно водотоков местами подстилается верхнехвалынскими глинами.

При возникающем дефиците наносов в центральной части дельты практически отсутствуют осерёдки. Обобщённое представление об облике рельефа центральной дельты можно получить из геоморфологического профиля (Рисунок 14). Центральная дельта отличается наибольшей амплитудой высот: от днищ култучно-ильменных впадин (-25 м) до вершин бэровских бугров (- 13 м). Южная граница центральной части дельты приурочена к месту резкого уменьшения поля высот. Вероятно, она маркирует наиболее вдающуюся в море границу ранее существовавшего предустьевого взморья. Эта зона проходит вдоль линии Оля – Каралат – Зеленга – Большой Могой – Котьяевка (Атлас..., 2015).

В приморском районе дельты (в нижней части дельты) основной тип рельефа – низкая (превышение 0,5-2 м над меженным уровнем водотоков) аллювиальная култучно-дельтовая равнина, возникшая из конусов выноса терригенного материала множества дельтовых протоков и за счёт лавинной седиментации (Коротаев, 2011; Атлас..., 2015). Верхняя граница зоны – свал глубин авандельты, существовавший во время новокаспийской трансгрессии. Нижняя часть дельты характеризуется наибольшей густотой речной сети – более 1,3 км/км<sup>2</sup> (Геоинформационная..., 1999).

Типичные для территории водные объекты – култучные ильмени, которые образовались из заливообразных водоёмов морского края дельты (Русакова, Чунаева, 1963) и култучно-ильменные впадины (Рисунок 15). Также встречаются останцы бэровских бугров, значительно сниженных, по сравнению с центральной дельтой, относительная высота форм составляет до 5 м. Останцы бугров сохранились в рельефе участков, расположенных вне палеодолин основных рукавов Волги в мангышлакское время (см. Рисунок 10). В половодье на данной территории возникают полои – так называемые «вторичные водоёмы поймы», временно образующиеся за счёт застаивания вод (Нижняя Волга, 2002; Акуз и др., 1961). На приморском крае дельты формируются песчаные косы, устьевые бары и осерёдки. Флювиальный рельеф нижней части дельты подвергается особо интенсивному антропогенному воздействию. Русла многих водотоков в пределах култучно-дельтовой равнины в значительной степени искусственно расширены и преобразованы в каналы, которые со временем зарастают и обособляются в виде выдвинутых банок. Пойменные поверхности многочисленных водотоков нередко изменены рисовыми чеками (системами обвалованных прямоугольных понижений).

Таким образом, в рельефе дельтовой равнины выделяется ряд основных форм более низкого порядка (Самойлов, 1952): русла рукавов, проток и ериков; прирусловые валы (высота до 2 м); русловые впадины на месте пересохших водотоков и русловые равнины, созданные в результате последующего пойменного осадконакопления (во время весеннего половодья); култучные равнины – результат заполнения/пересыхания култуков; гривы –

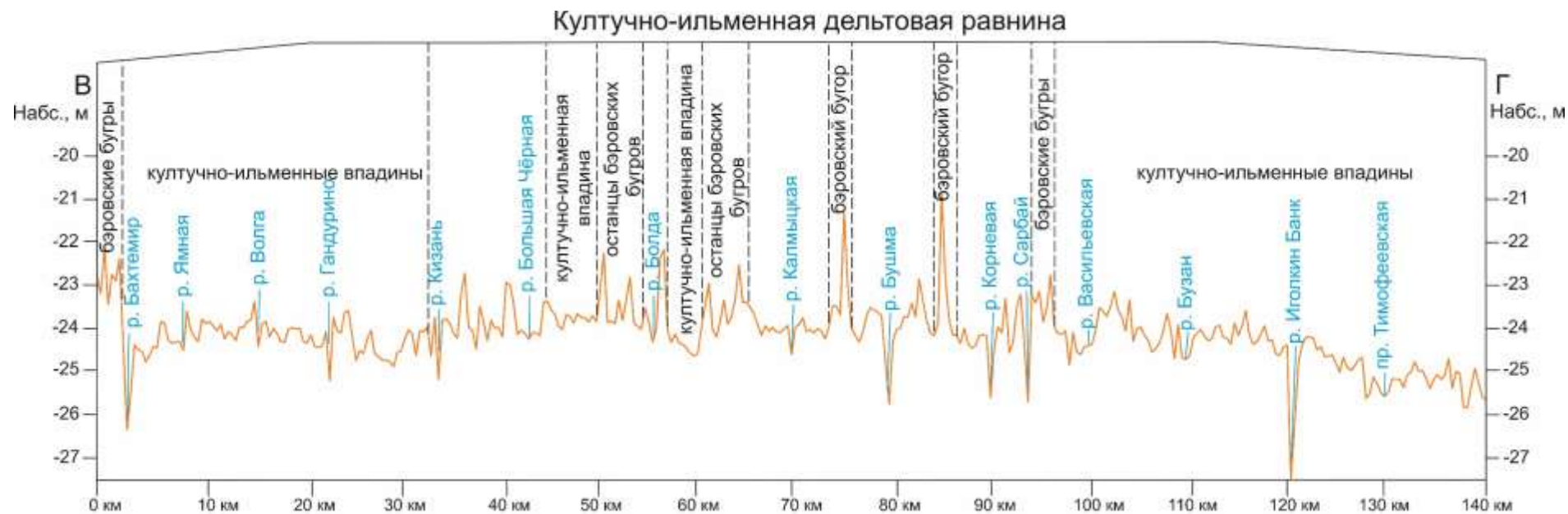


Рисунок 14. Геоморфологический профиль по линии В–Г через центральную дельту на основе цифровой модели рельефа (SRTM [сайт]. URL: <https://dwtkns.com/srtm30m/>). Местоположение профиля – см. Рисунок 13 а).

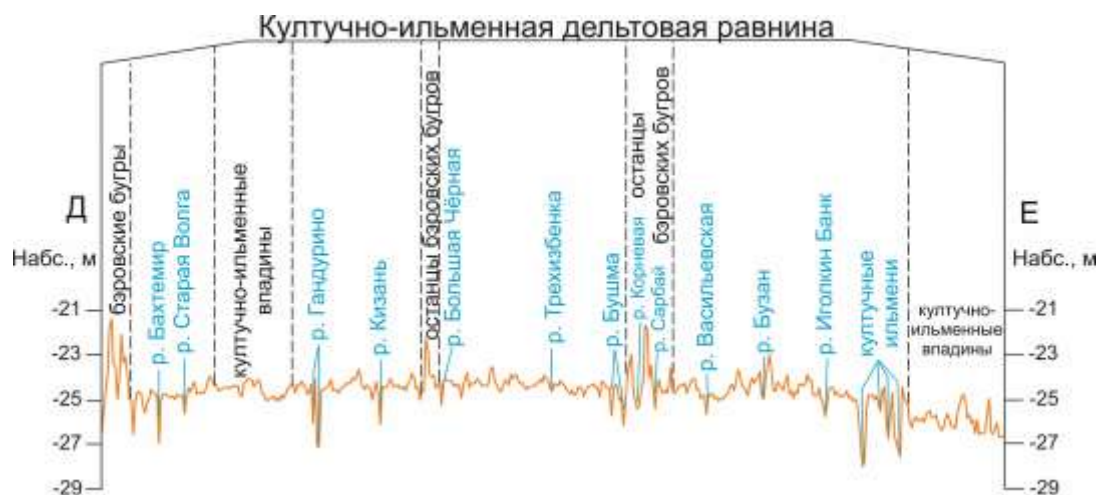


Рисунок 15. Геоморфологический профиль по линии Д–Е через нижнюю дельту на основе цифровой модели рельефа (SRTM [сайт]. URL: <https://dwtkns.com/srtm30m/>). Местоположение профиля – см. Рисунок 13 а).

фрагменты прирусловых валов пересохших рукавов или остатки древних островов; култучно-ильменные впадины – понижения, образовавшиеся на месте глубоких частей култуков или ильменей; бэровские бугры.

Эти формы, кроме более обособленных бэровских бугров, существуют во взаимосвязи и могут трансформироваться друг в друга. В работе Самойлова (1952) представлены примеры следующих генетических связей перечисленных форм: парагенетический комплекс, состоящий из русла и прирусловых валов, при пересыхании водотока превращается в русловую впадину. Далее впадина заполняется в процессе осадконакопления и переходит в русловую равнину. При пересыхании старицы образуется понижение – ильменная впадина. При пересыхании култука и заполнении его понижения осадками образуется култучная равнина. Поверхности образовавшихся равнин (русловых, култучных), а также култучно-ильменных впадин могут быть осложнены мелкогрядистым рельефом прирусловых валов более мелких ериков и протоков. Бэровские бугры, как правило, влияют на рисунок сети водотоков, так как служат препятствием для них, а понижения между бэровскими буграми, нередко заполненные водой, представляют собой ильмени.

Более подробная информация о рельефе на изученных участках дельты Волги и геоморфологические схемы представлены в главе 4 (пункты 4.3.1 – 4.3.3).

## **Глава 2. Обзор исследований диатомовых водорослей Прикаспия и представлений о палеогеографии водоёмов дельты Волги в голоцене**

### **2.1. Обзор исследований диатомовых водорослей Прикаспия<sup>2</sup>**

Для изучения диатомовым методом голоценовых отложений дельты Волги и поверхностных осадков из современных водоёмов необходимо получить представление о видовом разнообразии диатомовых водорослей в этом регионе. В четвертичном периоде не выявлено крупных эволюционных перестроек диатомей (Стрельникова, Гладенков, 2019), поэтому видовой состав современных диатомовых ассоциаций может служить основой для применения метода актуализма при палеоэкологических реконструкциях голоцена и плейстоцена дельты. Детальные реконструкции на границе река/море возможны благодаря строгой экологической приуроченности диатомовых водорослей. Вместе с тем, в мире насчитывается от 30 до 100 тыс. видов диатомей (Mann, Vanormelingen, 2013), что приводит к необходимости изучения региональной специфики современной альгофлоры. Одним из факторов, усложняющих палеореконструкции в этом регионе, является сильная опреснённость Северного Каспия, что препятствует однозначному разделению морских и пресноводных обстановок. Поэтому необходимо изучение данных как о диатомеях в современном фитопланктоне низовий Волги и Северного Каспия, так и о ископаемых диатомовых водорослях Прикаспия.

#### **2.1.1. Диатомовые водоросли в фитопланктоне**

*Река Волга.* В течение многих лет проведения научно-исследовательских работ выявлена тенденция к преобладанию диатомей в структуре фитопланктона Волги, поэтому учёные уделяют особое внимание данной группе водорослей. В целом все труды до начала XX в. были нацелены на описание систематического состава флоры р. Волги и географического распространения видов. Данные по экологии пресноводных видов диатомей, в том числе для Нижней Волги, содержатся в сборнике «Определитель пресноводных водорослей...» (1951). Согласно обобщающей сводке Г.В. Кузьмина (1974) в Волге было зарегистрировано 538 таксонов диатомей. В монографии С.И. Генкала (1992) число диатомовых водорослей видового и внутривидового ранга составляет 734. Также существует ряд работ, посвящённых фитопланктону водохранилищ бассейна р. Волги (Фитопланктон..., 2003; Корнева, 2015). Интерес к этой теме связан с трансформацией

---

<sup>2</sup> При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично и в соавторстве, в которых, согласно положению о присуждении учёных степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

**Лысенко Е.И.** Структура ассоциаций диатомовых водорослей поверхностного слоя донных отложений современных водотоков дельты Волги // Аридные экосистемы. 2025б. Т. 31. № 3. С. 172-182.

диатомовых сообществ в результате строительства Волжского каскада ГЭС (Волга и её жизнь, 1978; Волошко, 2015).

Видовой состав диатомовых водорослей непосредственно дельты Волги довольно слабо изучен. Современные работы направлены преимущественно на изучение диатомей с точки зрения маркёра экологических изменений. Так, диатомовая флора дельты Волги рассмотрена коллективом авторов в рамках оценки качества воды (Абдуллаев и др., 2004). Увеличение числа диатомей рода *Stephanodiscus* и вида *Stephanocyclus meneghinianus* по сравнению с соотношением таксонов в 1984-1988 гг. позволило сделать вывод об эвтрофикации вод дельты к началу 2000-х гг.

Фитопланктон западных подступных ильменей представлен в работе В.Ф. Бреховских с соавторами (2010) и Е.С. Кривиной (2012). В наиболее современной работе – обширной монографии П. И. Бухарицина и Е. Н. Лабунской (2023) – представлены результаты изучения фитопланктона низовий Волги в период 2008–2012 гг. Среди диатомовых водорослей наибольшего развития достигали виды *Aulacoseira granulata*, *A. granulata* var. *angustissima* и *A. islandica*. Следует отметить, что в 1980–90-е гг. преобладали иные виды: *Skeletonema subsalsum* и *Actinocyclus normanii* (Корнева, 2015), которые в более позднее время встречаются спорадически. Первоначально эти виды были зарегистрированы в Северном Каспии (Прошкина-Лавренко, Макарова, 1968; Kiss et al., 1990), из чего был сделан вывод, что они распространялись из Каспийского моря вверх по течению Волги. Среди видов, выявленных в небольшом количестве в низовьях Волги в 2008–2012 гг., авторы отмечают *Amphora ovalis*, *Cyclotella meneghiniana* (ныне – *Stephanocyclus meneghinianus*), *Fragillaria acus*, *Navicula cryptocephala*, *Nitzschia acicularis*, *N. palea* (Бухарицин, Лабунская, 2023). По результатам изучения фитопланктона в Нижней Волге и Ахтубе в 1997 г. среди преобладающих видов диатомей в разные сезоны отмечались *Stephanodiscus hantzschii*, *Skeletonema subsalsum*, *Aulacoseira granulata*, а также мелкие центрические диатомеи. В озёрах и ериках Волго-Ахтубинской поймы в мае наибольшего развития достигал *S. hantzschii*, летом – более широкое видовое разнообразие за счёт видов рода *Nitzschia* и видов-обрастателей родов *Cocconeis*, *Synedra* и др. (Фитопланктон..., 2003).

*Северный Каспий.* Фитопланктон Каспийского моря изучается с начала XX в. (Салманов, 1987). Наиболее многочисленные публикации на основе многолетнего изучения фитопланктона Северного Каспия, начиная с 1956 г., представлены В.Д. Левшаковой (1962, 1963, 1965, 1967, 1970, 1971, 1972). Диатомовая флора Каспийского моря в течение нескольких лет изучалась в том числе А.И. Прошкиной-Лавренко и И.В. Макаровой (Макарова, 1961; Макарова, Прошкина-Лавренко, 1964; Прошкина-Лавренко, 1965; Прошкина-Лавренко, Макарова, 1968). В 1964 году опубликованы результаты их

исследований – статья, посвящённая новым видам диатомовых водорослей Каспийского моря: *Podosira parvula*, *Skeletonema cylindraceum* (ныне – *Skeletonema cylindraceum*), *Cyclotella caspia*, *Stephanodiscus socialis*, *Thalassiosira hustedtii* (ныне – *Conticribra weissflogii*), *Chaetoceros minutissimus* и *Chaetoceros turbineus*.

Более поздняя работа А.Г. Ардабьевой (2000) посвящена исследованию влияния подъёма уровня Каспийского моря на фитопланктон Северного Каспия. В результате анализа большой базы данных ежегодных сборов фитопланктона в КаспНИРХе за 1974–77 и 1982–1997 гг. автор выявляет изменение состава альгофлоры (в том числе диатомовой) в связи с повышением уровня Каспия. В связи с трансгрессией отмечается уменьшение количества таксонов диатомовых водорослей с 235 до 152. Среди постоянно встречающихся доминирующих видов отмечены как морские, так и пресноводные таксоны: *Chaetoceros wighamii*, *Rhizosolenia calcar-avis* (ныне – *Pseudosolenia calcar-avis*), *Skeletonema subsalsum*, *S. costatum*, *Diatoma elongata*, *Melosira granulata* (ныне – *Aulacoseira granulata*, пресноводный), *Synedra ulna* (ныне – *Ulnaria ulna*, пресноводный), *Nitzschia acicularis*, *Cyclotella menegheniana* (ныне – *Stephanocyclus meneghinianus*, пресноводный) и *Actinocyclus ehrenbergii* (ныне – *A. octonarius*).

В монографии П. И. Бухарицина и Е. Н. Лабунской (2023) представлены данные о фитопланктоне в Северном Каспии в весенне-осеннее время за период 1984–1990 гг., обширные результаты по исследованию зимнего фитопланктона (1986–2013 гг.), а также наиболее актуальные данные о фитопланктоне северо-западной части акватории (август 2019 г.). В 2019 году авторами выявлено 42 вида диатомовых водорослей, наиболее обильными из которых были *Thalassionema nitzschioides*, *Fragilaria inflata* (ныне – *Staurosira inflata*, пресноводный), *Actinocyclus ehrenbergii* (ныне – *A. octonarius*), *Cyclotella menegheniana* (ныне – *Stephanocyclus meneghinianus*, пресноводный), *Cymatopleura solea* (ныне – *Surirella librile*, пресноводный). На Астраханском рейде (северо-западная часть акватории) авторы зафиксировали развитие пресноводных видов: *Melosira granulata* (ныне – *Aulacoseira granulata*) и *Fragilaria inflata* (ныне – *Pseudostaurosira brevistriata* var. *inflata*). Ближе к границе Среднего Каспия в массе отмечались морские виды *Rhizosolenia calcar-avis* (ныне – *Pseudosolenia calcar-avis*), *Thalassiosira nitzschioides*, *Cyclotella caspia*, *S. costatum* и *Coscinodiscus radiatus*.

В целом в фитопланктоне проток дельты Волги и западных подступных ильменей по численности преобладают планктонные виды диатомей, в озёрах и ериках Волго-Ахтубинской поймы к северу от вершины дельты в летнее время повышается доля бентосных и перифитонных таксонов. Большинство видов, выявленных в дельтовых протоках и западных подступных ильменях, относится к пресноводным. Тем не менее, в

небольшом количестве встречаются солоноватоводные и морские виды, распространение которых объясняется трансгрессиями Каспия (Корнева, 2015). Они обнаружены в западных подступных ильменах и на участках р. Ахтуба севернее вершины дельты (Бухарицин, Лабунская, 2023), что говорит о возможности нахождения данных таксонов в том числе в составе фитопланктона проток в самой дельте, ввиду более близкого местоположения относительно уровня моря. Проникновение морских и солоноватоводных таксонов вверх по рукавам дельты возможно и за счёт нагонных явлений (см. п. 1.1).

### **2.1.2. Ископаемые диатомовые водоросли**

На начальных этапах развития диатомового анализа как биостратиграфического метода создавались сборники по Поволжью с описаниями ископаемых диатомовых водорослей палеогенового и верхнемелового времени. Первые описания диатомей Поволжья можно найти в работах таких зарубежных авторов, как Эренберг, Вайссе, Ван Хёрк и Шмидт, изучивших палеогеновый интервал (Ehrenberg, 1854; Weisse, 1854; Van Neurck 1880-1885; Schmidt 1874-1885) и верхний мел (Диатомовые водоросли СССР, 1974). Дальнейшее развитие диатомовой биостратиграфии в СССР испытало наибольший расцвет в 1950-1980-е гг., в связи с активной разведкой и поиском углеводородов в Прикаспии. Большинство исследований ископаемых диатомей направлено на биостратиграфическое расчленение неоген-четвертичных отложений Понто-Каспийского региона.

Первые труды по систематике современных и неоген-четвертичных диатомей Чёрного и Азовского морей опубликованы К.С. Мережковским (Мережковский, 1902; 1902-1903). Впоследствии они были продолжены А.И. Прошкиной-Лавренко (1955, 1963, 1971), И.В. Макаровой (1965), Н.Е. Гусяковым (Гусяков и др., 1992) и Н.И. Караевой (1972). И.В. Макарова и Т.Ф. Козыренко описали и изобразили более 600 видов морских диатомей из миоцена юга европейской части СССР (Макарова, 1965; Макарова, Козыренко, 1966).

В публикациях Т.К. Жаковщиковой отражено биостратиграфическое значение неоген-четвертичных диатомей Каспийского моря (1970, 1974). Как один из ведущих альгологов, Т.К. Жаковщикова принимала участие в подготовке многотомного руководства «Диатомовые водоросли России и сопредельных стран: Ископаемые и современные» (2002).

Впоследствии систематизация и обобщение результатов исследований привели к необходимости создания крупных сборников или атласов современных и ископаемых (неогеновых) диатомовых водорослей (Жузе и др., 1949; Диатомовые водоросли СССР, 1974). В них содержится комплексная информация по экологии видов, в том числе обитающих в Нижнем Поволжье и Северном Каспии.



Среди голоценовых диатомей южных морей лучше всего изучены таковые в отложениях Чёрного и Азовского морей. Биостратиграфическим и экостратиграфическим исследованиям четвертичных (в том числе – голоценовых) осадков Чёрного моря посвящены работы А.П. Олыштынской (1996, 2014) и соавторов (Олыштынская, Тимченко, 2013; Олыштынская, Дыкань, 2018). Для голоценовых диатомей Азовского моря опубликован ряд современных исследований (Ковалева и др., 2015; Ковалева и др., 2017; Ковалева, Назаренко, 2019).

Несмотря на длительную историю изучения колебаний уровня Каспия, диатомеям дельты Волги и Северного Каспия посвящено не так много работ (Караева, 1961, 1972; Жаковщикова, 1970; Лысенко и др., 2024; Karayeva, Makarova, 1973; Berdnikova et al., 2023). Диатомеи голоцена в Дербентской котловине Каспийского моря также описаны Г.Х. Казариной (Свальнов и др., 2008). Результаты диатомового анализа поверхностных осадков дельтовых протоков, склонов бэровских бугров и пресноводных ильменей впервые представлены в работе Е.И. Поляковой, Т.С. Ключиткиной и О.С. Олюниной в разделе 2.7. монографии «Каспийское море: Экстремальные гидрологические события» (Болгов и др., 2007). В публикации отражено распределение диатомей по основным экологическим группам (пресноводные, солоноватоводные и солоноватоводно-морские) без детализации по видовому составу, также рассчитана концентрации диатомей в осадках.

Таким образом, можно сделать несколько основных выводов об особенностях голоценовой диатомовой флоры дельты Волги и Северного Каспия. Голоценовые диатомеи Северного Каспия представлены различными группами по отношению к солёности: морские, солоноватоводные и пресноводные. Типично морские таксоны отличаются скудным разнообразием из-за сильной опреснённости моря (Karayeva, Makarova, 1973). Наиболее массовые типично морские виды относятся к родам *Grammatophora*, *Coscinodiscus* и *Actinocyclus*. Согласно Н.И. Караевой и И.В. Макаровой (1973), такие виды как *Coscinodiscus perforatus*, *C. radiatus*, *Rhizosolenia calcar-avis* (ныне – *Pseudosolenia calcar-avis*), *Chaetoceros socialis*, *C. seiracanthus*, *Grammatophora oceanica* и *Licmophora gracilis*, несмотря на морское происхождение, приспособились к обитанию в распреснённых водах Северного Каспия. Появление пресноводных диатомей в голоценовых и более древних осадках Каспия объясняется выдвиганием дельты во время регрессий и этапами распреснения морских вод, господство солоноватоводных видов – постепенным переходом к морскому трансгрессивному бассейну (Свальнов и др., 2008; Лысенко и др., 2024; Berdnikova et al., 2023).

В голоценовых осадках дельты Волги преобладают пресноводные таксоны, но также встречаются солоноватоводные и солоноватоводно-морские виды, в том числе – в

привершинной дельте (Болгов и др., 2007). Их распространение связано с влиянием каспийских вод при повышении уровня моря.

## **2.2. История исследований и основные представления о палеогеографии дельты Волги в голоцене**

История изучения дельты Волги довольно длительная. Первые исследования, вызванные необходимостью строительства судоходного канала из Волги в Каспий в связи с обмелением моря, начаты ещё в конце XIX в. Результаты этих работ представлены К.А. Балинским (1914) – созданы карты, отражающие скорость перемещения береговых линий в дельте в течение ста лет (Опыт изучения..., 1955).

В начале XX в. в районе волжской дельты и Северного Каспия начались масштабные комплексные исследования: как общегеографические, так и специализированные – для оценки перспектив разработки нефтегазоносных месторождений. Отдельные аспекты геологии, геоморфологии, гидрологии и палеогеографии Северного Каспия и самой дельты отражены в работах М.В. Клёновой с соавторами (Клёнова и др., 1941, Клёнова и др., 1951), С.С. Байдина (1959, 1962; Байдин и др., 1956), В.А. Николаева (1962), О.К. Леонтьева, Н.И. Фотеевой (1965), К.В. Горбунова (1971, 1976); Г.И. Рычагова (1997, 2010), Е.Ф. Белевич (1965, 1983), Г.В. Русакова (1990) и др.

Систематические наблюдения за современным состоянием дельты Волги начались в 1934 г. Это направление усилилось с появлением регулярной аэрофотосъёмки в 1936 г. (Клёнова, 1941). Первые экспедиции по аэрофотосъёмке проходили под руководством Н.Г. Келля. В том же году создана особая геологическая партия ВНИРО по съёмке дельты под руководством М.В. Клёновой при участии М.П. Гудкова, Л.С. Берга и др (Опыт изучения..., 1955). В результате исследований выделены основные типы дельтовых островов и создана схема осадконакопления. Также в 1930-40-е гг. осуществлена общая геоморфологическая съёмка дельтового пространства и проведён ряд измерений скорости выдвижения дельты Волги.

Большое значение для изучения природной среды дельты Волги имела организация Государственного Астраханского биосферного заповедника в 1919 г., который является одним из первых заповедников на территории России. Он появился в дельте Волги благодаря содействию Н. И. Подъяпольского и В.А. Хлебникова (Доброхотов, 1940; Заповедный век..., 2019). В 1975 г. заповедник вошёл в состав водно-болотных угодий «Дельта Волги», в 1976 г. включённых в список водно-болотных угодий международного значения (Конвенция о водно-болотных угодьях, Рамсарская конвенция). В 1984 г. решением ЮНЕСКО Астраханский заповедник включён в число международных

биосферных заповедников. В задачи заповедника входит всестороннее изучение и сохранение природной среды дельты. Многие годы сотрудники заповедника проводят научные исследования в дельте Волги в области ихтиологии, гидрохимии и гидробиологии, орнитологии, ботаники, почвоведения и геологии. Часть из них выполнена в рамках соглашения о сотрудничестве со специалистами географического факультета. Результатом этих исследований явились многочисленные публикации, касающиеся разных аспектов изучения природных систем и их отдельных компонентов (Касимов и др., 1996; Лычагин, 2001; Lychagin et al., 1995; Gorbunov et al., 1997). Также в рамках международных проектов выполнено большое количество работ в том числе – по палеогеографии Дамчикского участка (Свиточ, Янина, 1994, 2007; Нижняя Волга, 2002; Янина, 2007, 2008; Болиховская, Касимов, 2008; Свиточ и др., 2009; Алексеевский, Айбулатов, 2011; Bolikhovskaya, Kasimov, 2010; Richards et al., 2014 и др.).

Таким образом, к середине XX в. имелся обширный блок информации как о геологическом строении отложений региона, так и о современной динамике дельты. Тем не менее, вплоть до настоящего времени не существует единой точки зрения о развитии дельты Волги в голоцене. Разнообразие мнений связано с разными оценками колебаний уровня Каспия в позднем плейстоцене–голоцене и датировками трансгрессивно-регрессивных событий (см. п. 1.2.1).

В результате многочисленных исследований сделано заключение, что в предголоценовое время, в течение позднехвалынского трансгрессивного этапа Каспия, основной сток Волги осуществлялся по двум ложбинам: Волго-Ахтубинской и Сарпинско-Даванской (Рисунок 16). Согласно исследованиям Д.М. Лобачевой с соавторами (2023), к концу позднехвалынского времени в нижнем течении Волги сформировалось несколько крупных рукавов, соединённых между собой сетью мелких протоков: центральный рукав – на месте современной долины Волго-Ахтубы, Сарпинский – на западе, на востоке – Эльтон-Хакский. К концу позднехвалынского времени отмечается концентрация стока в центральном рукаве и отмирание Сарпинского и Хакского.

На основе анализа распространения шоколадных глин, вскрытых многочисленными скважинами на территории дельты, было сделано предположение о впадении Волги в обширную лагуну (Бадюкова, 2010). Иными словами, устье Волги в конце плейстоцена–начале голоцена представляло собой дельту выполнения.

Ряд исследователей (Свиточ, Янина, 1994; Рычагов и др., 2010) прослеживает формирование дельты Волги в голоцене со времени глубокой мангышлакской регрессии около 9 тыс. л.н. (Рычагов, 1977).

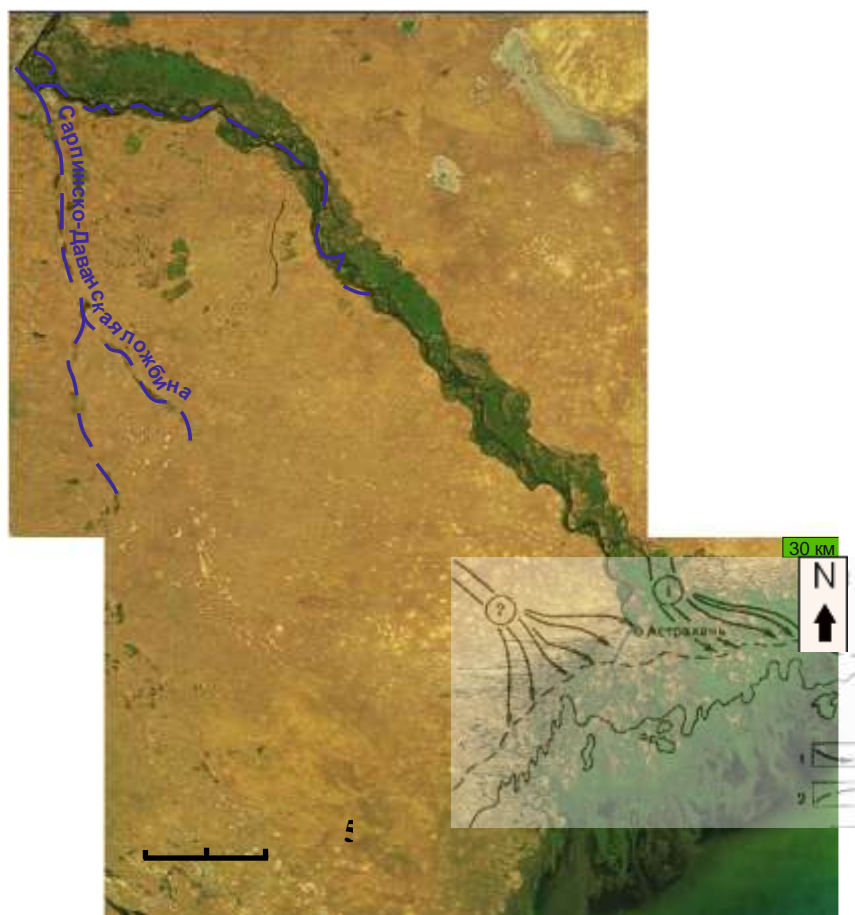
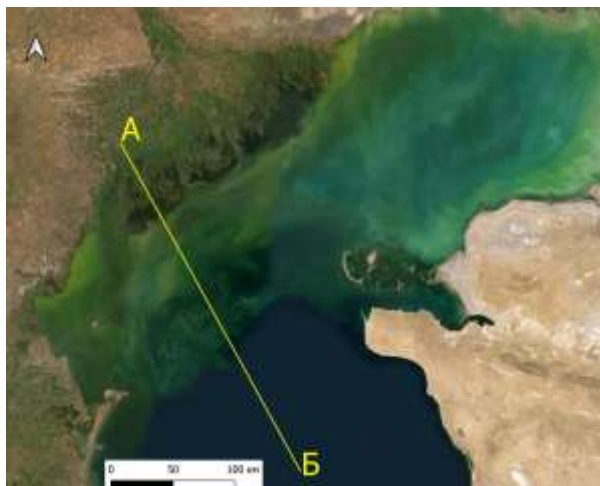


Рисунок 16. Схема стока по Волго-Ахтубинской (1) и Сарпинско-Даванской (2) ложбинам в период максимума трансгрессии (синий цвет) и в период заключительной регрессии позднехвалынского моря (врезка). (По: Свиточ, Янина, 1994).

Значительное отступление береговой линии вызвало миграцию устьевой части Волги, предположительно, к району современного Аграханского полуострова на границе Северного и Среднего Каспия. Понижение базиса эрозии сопровождалось глубоким врезом Волги, частичным размывом и выносом подстилающих хвалынских отложений. Врезание реки выражается в виде стратиграфического перерыва между отложениями хазарского, иногда – бакинского возраста и раннеголоценовыми аллювиально-дельтовыми отложениями. Уклоны субаквальной поверхности авандельты небольшие, однако врезание водотоков во время мангышлакской регрессии объясняется крайне низким положением базиса эрозии (Северного Каспия) – в районе материкового склона (Рисунок 17). Согласно исследованиям, в мангышлакское время на территории современной дельты сформировалась система из двух основных рукавов, по которым осуществлялся сток Волги. Бифуркация русла произошла намного южнее по сравнению с верхнехвалынским расположением основных рукавов, а русло сдвинулось к северо-востоку вдоль побережья (Рисунок 16). Согласно микрофлористическим и микрофаунистическим исследованиям остракод в скважинах Дамчикского участка Астраханского заповедника

а)



б)

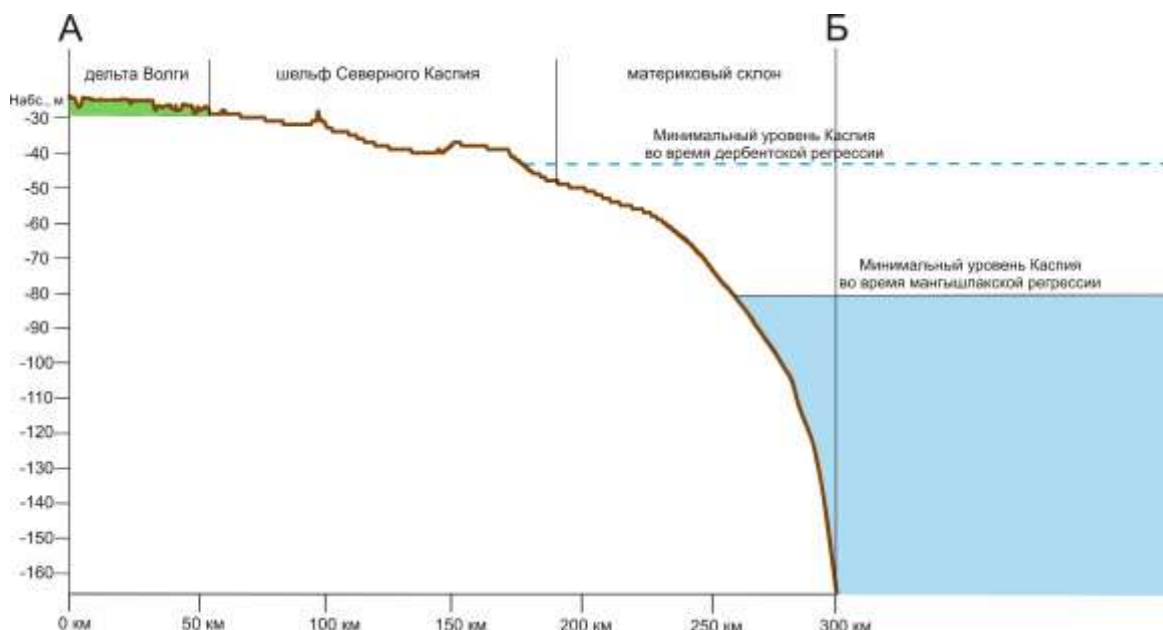


Рисунок 17. Геоморфологический профиль от низовьев современной дельты Волги до участка в Среднем Каспии по линии А-Б на основе цифровой модели рельефа (SRTM): а) местоположение профиля; б) уровни Каспия во время наиболее значительных голоценовых регрессий на геоморфологическом профиле (SRTM [сайт]. URL: <https://dwtkns.com/srtm30m/>).

(Richards et al., 2014), периоду мангышлакской регрессии на данной территории соответствуют ландшафты с преобладанием хвойно-берёзовых лесов. Вероятнее всего, идентифицированные остатки полупустынной и пустынной флоры свидетельствуют о развитии соответствующей растительности ближе к устьевой части Волги (на современной границе Северного и Среднего Каспия). По результатам исследований, осадконакопление на территории Дамчикского участка дельты Волги во время мангышлакской регрессии, возможно, происходило в субэвальных условиях под влиянием эолового переноса. Согласно авторам, большую роль играло также осадконакопление в солёных и пресных озёрах, расположенных в межбугровых понижениях. В целом, для данного периода

характерно похолодание и аридизация климата (Болиховская, Касимов, 2008; Болиховская, 2011; Richards et al., 2014).

По данным радиоуглеродного датирования мангышлакских отложений, локализованных в палеопонижениях и речных врезях на шельфе Северного Каспия, наиболее древний возраст (начало регрессии) оценивается как сцинтилляционно-жидкостным, так и методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS) от 11205–11405 до 12053–12517 кал. л.н. (Сорокин и др., 2023). Окончание заполнения мангышлакских палеоврезов оценивается по-разному:  $8300 \pm 170$  кал. л.н. (по: Сорокин и др., 2023);  $7278 \pm 106$  кал. л.н. (Безродных и др., 2014). По нашим данным, заполнение мангышлакских палеоврезов произошло в интервале от  $8070 \pm 110$  до  $7020 \pm 140$  кал. л. н. (Лысенко и др., 2024).

Дальнейшее развитие дельты определялось несколькими стадиями последующей новокаспийской трансгрессии. Исследователями выделяется от трёх (например, Никифоров, 1963; Сорокин и др., 2023; Bezrodnykh et al., 2020) до пяти (Рычагов, 1997) трансгрессивных стадий. Согласно современным представлениям, регрессивные стадии послемангышлакского времени были гораздо менее значительными, однако в ходе падения уровня моря возобновлялся сток по ранее заложенным рукавам с некоторым его перераспределением (Нижняя Волга, 2002).

На шельфе Северного Каспия по данным сейсмоакустического профилирования в рамках новокаспийского этапа выделяется три трансгрессивных слоя с морской фауной и два интервала заполнения речных врезов с пресноводной фауной, соответствующих регрессивным стадиям (Сорокин и др., 2023; Bezrodnykh et al., 2020, Рисунок 18). Возраст трансгрессивных слоёв составляет: **nk1** в интервале 8401–8624 — 5273–5546 кал. л. н.; **nk3** в интервале 3086–3296 — 2924–3136 кал. л. н.; **nk5** в интервале 1519–1719 — 0 кал. л. н. Возраст отложений, заполняющих речные врезы, составляет: **nk2** – 5061–5314 — 3156–3337 кал. л. н.; **nk4** – 2564–2757 — 1765–1963 кал. л.н.

Согласно геоморфологическим исследованиям террас малых рек, впадающих в Северный Каспий, в максимальную (туралинскую) стадию новокаспийской трансгрессии около 6 тыс. л.н. уровень моря достигал отметки –20 м (Рычагов, 2019). Современная территория волжской дельты представляла собой морской залив. Песчаные осадки восточной и западной частей залива с типично «морским» осадконакоплением отличались от осадков центральной его части, ввиду особенностей рельефа дна и стока Волги. В районе ранее выположенной центральной части залива сформировалась Волго-Ахтубинская дельта, в приморской части которой отлагался преимущественно илистый материал.

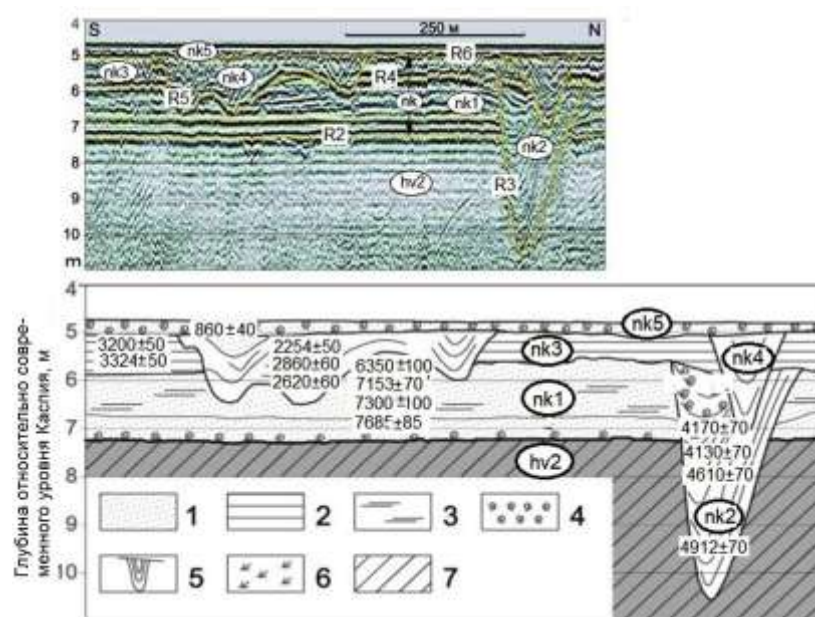


Рисунок 18. Фрагмент сейсмоакустического профиля и литологический состав отложений, отражающие строение новокаспийской осадочной толщи в западной части преддельтовой равнины. Условные обозначения сейсмостратиграфических комплексов: hv2 – верхнехвалынский; nk1, nk3, nk5 – новокаспийские трансгрессивные; nk2, nk4 – новокаспийские регрессивные; R2, R4, R6 – поверхности несогласий/размывов, R3, R5 – поверхности максимальной регрессии, сформированные врезанием долины Волги. Условные обозначения литологических особенностей пород: 1 – песок, 2 – глина, 3 – прослой глины, 4 – ракушка, 5 – глина, песок и органические отложения палеопонижений, 6 – растительные остатки, 7 – доголоценовые отложения (по: Bezrodnykh et al., 2020).

Согласно комплексным исследованиям в Дамчикском участке (западная часть залива), на данной территории выделяются фации подводных баров (Янина, 2008), господствующий климат – относительно тёплый и влажный – реконструируется исходя из преобладания палинофоссилий широколиственных пород (Болиховская, 2011). По мнению коллектива авторов (Рычагов и др., 2010), к данному периоду относится отделение рукава Бузан от основного русла Волги. Последующая регрессивная стадия, судя по характеру отложений, была неглубокой и не привела к значительному врезанию водотоков (Рычагов и др., 2010; Свиточ, Янина, 1994).

Дальнейшие значительные перестройки компонентов природной среды на территории современной дельты связаны с уллучаевской (уллучайской) стадией новокаспийской трансгрессии, возраст которой оценивается разными авторами в пределах 3086–3296 — 2924–3136 кал. л. н. (Сорокин и др, 2023; Bezrodnykh et al., 2020), 3.4–2.5 тыс. л.н. (Рычагов и др., 2010; Леонтьев и др., 1977) и 1.6–2.5 тыс. л.н. (Варущенко и др., 1980). Согласно исследователям, уровень моря в это время занимал отметки около -22 – -23 м



(-25 м – по: Свиточ, Янина, 1994). По мнению В.Н. Коротаева (2012), вершина дельты Волги во время уллучаевской трансгрессии располагалась в районе пос. Волжский на -20 м абс., что предполагает затопление всей современной дельты и участка Волго-Ахтубинской поймы (Рисунок 19; абсолютные отметки уровня взяты автором из топографических карт масштаба 1:100 000 и 1:200 000, изданных в 1991–1992 гг. (состояние местности на 1985–1988 гг.).



Рисунок 19. Местоположение пос. Волжский.

Исходя из данных малакофаунистического анализа, частично затопленная территория современной дельты представляла собой комплекс преимущественно пресноводных и слабосоленоватоводных култучно-ильменных водоёмов с низкой гидродинамикой. Это подтверждается результатами микрофаунистического анализа по материалам скважин Дамчикского участка, для которого характерно чередование этапов осадконакопления в

пресноводных ильменах с условиями седиментации солоноватоводного залива. По данным палинологического анализа, в данную эпоху господствовал относительно тёплый климат. Наряду с солончаковой и пустынно-степной растительностью, во влажные периоды расширялись участки, занимаемые древесными породами (Richards et al., 2014).

Дельта претерпела ряд морфологических изменений, в результате которых образовались основные дельтовые протоки, существующие и на данный момент: Волга, Бузан, Бушма, Кигач, Ахтуба (Рычагов и др., 2010; Свиточ, Янина, 1994).

Формирование дельты выдвижения связано с последующей дербентской регрессией, предположительно, достигавшей, по мнению разных авторов, абсолютных высот от -32 (Зубаков и др., 1974; Леонтьев и др., 1976) и -35 (Варущенко и др., 1980) до -42 м (Hoogendoorn et al., 2005, см. Рисунок 17) и продолжавшейся в интервале 1500–1000 л.н. (Рычагов, 2019; Рисунок 20).

По данным изучения скважин на шельфе Северного Каспия дербентская регрессия однозначно не выделяется авторами. Наиболее поздний регрессивный этап датируется в интервале 2564–2757 — 1765–1963 кал. л.н. (Сорокин и др, 2023; Bezrodnykh et al., 2020).

Вероятно, с этого времени начинается преобладание русловых процессов в формировании рельефа и осадков дельты. Основной сток в это время концентрировался





Рисунок 20. Кривая колебания уровня Каспийского моря за последние 10 тыс. лет. (По: Рычагов, 2019). Стадии: 1 — начальная (наиболее длительная) новокаспийской трансгрессии, 2 — туралинская (максимальная), 3 — уллучайская, 4 — современная. Буквенные обозначения: Д — дербентская регрессия.

преимущественно в восточном секторе дельты. Некоторые исследователи (Kroonenberg et al., 2008) связывают падение уровня моря с возможным уменьшением объёма стока Волги в период «средневекового климатического оптимума». Это подтверждается данными спорово-пыльцевого анализа из колонок Дамчикского участка Астраханского заповедника, на основе которого в данный период реконструировано увеличение доли пустынно-степной растительности (Richards et al., 2014).

Отдельно следует сказать об изменении морского края дельты за последние 200 лет. В целом оно происходило под влиянием постепенного отступления Каспия. По данным С.С. Байдина (1962) в начале XIX в. южная граница дельты располагалась на абсолютной высоте -25 м. Положение двух крупных заливов (Синее Морцо и Зеленгинский) наследовало понижения на месте долин, по которым осуществлялся основной сток Волги в мангышлакское время (Рычагов и др., 2010). Расположение этих заливов под несколькими иными названиями – Синее Морцо и Ильмень Кабанкуль – изображено на карте из Атласа Каспийского моря А.Е. Колодкина (1826), которая составлена по результатам съёмки 1809-1814 гг. (Акуз и др., 1961; Геопортал РГО [сайт]. URL: <https://geoportal.rgo.ru>; Рисунок 21). Сток Волги начале XIX века концентрировался к западу от заливов. Для периода 1807-1870 гг. характерны наибольшие темпы выдвижения дельты около 0,47 км/год, причём интенсивнее всего она выдвигалась в западном секторе – в устьях протоков Бахтемир, Камызяк и Ст. Волга (Геоинформационная..., 1999). Понижение уровня Каспия на 3,8 м за период 1882-1977 гг. также привело к активному нарастанию дельты и перераспределению стока в восточном направлении (Рисунок 22). Резкое увеличение площади дельты произошло за счёт превышения уклонов волжских рукавов над почти плоской (уклон 0,0002) поверхностью примыкающего устьевоегo взморья и аккумуляции наносов (Нижняя Волга, 2002).

Детальный график колебаний уровня Каспия за период 1900-2019 гг. обобщён Г.И. Рычаговым (2019; Рисунок 23).



Рисунок 21. Фрагмент карты из Атласа Каспийского моря А.Е. Колодкина, 1826 г. (по: Геопортал РГО [сайт]. URL: <https://geoportal.rgo.ru/>).

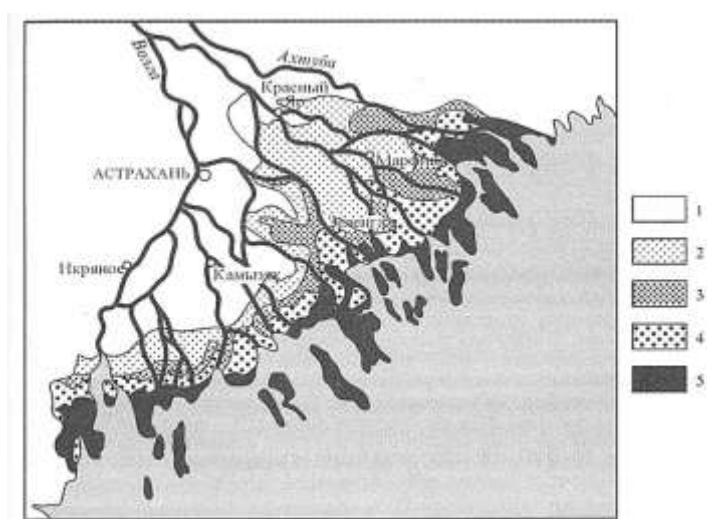


Рисунок 22. Схема нарастания дельты Волги в период 1807-1950 гг. 1 – 1809-1810 гг., 2 – 1853 г., 3 – 1873 г., 4 – 1927 г., 5 – 1950 г. (Нижняя Волга, 2002 по: В.А. Николаев, 1962).

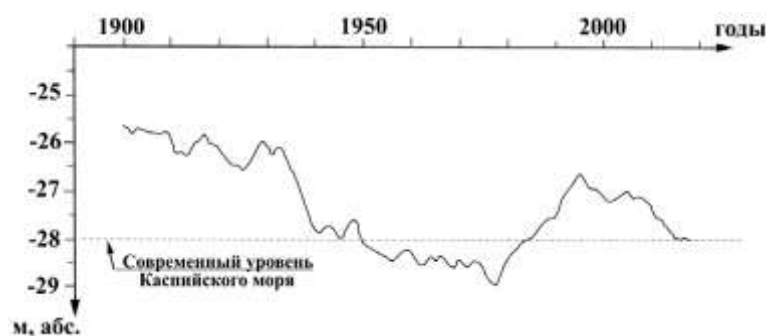


Рисунок 23. Кривая изменения уровня Каспийского моря в период 1900-2019 гг. (Рычагов, 2019).

Соотнесение рисунков позволяет проследить, как амплитуда снижения уровня моря до -26,5 м в 1927 г. и до -28 м – в конце 1940-х годов повлияла на темпы прироста территории дельты Волги. Изменения в дельте, связанные с падением уровня Каспия за период 1930-1977 гг., подробно отражены в литературе (Чугунов, 1923; Идельсон, 1941; Пирогов, 1974). В целом, дельта значительно выдвинулась в море; площадь большинства островов увеличилась, часть из них присоединилась к материку, некоторые мелкие протоки высохли. Култуки авандельты превратились в ильмени. По мере нарастания дельты ильмени заиливались и теряли проточность, некоторые полностью высыхали в межень. При

повышении уровня Каспия начался обратный процесс. В последующие годы (1978-1996) поднятие уровня моря на 2 м до уровня  $-26,7$  м не привело к серьёзным изменениям очертаний морского края дельты и его смещению в сторону суши (Михайлов и др., 1993). После 1935 г. наблюдается относительная стабилизация положения нижней границы дельты на фоне продолжающегося прироста её территории за счёт стока наносов.

Воды Каспийского моря оказывают значительное влияние на морфологию приморского района дельты в течение года. По материалам наблюдений, в Северном Каспии примерно в 70% действуют ветровые течения, и чуть менее 20% приходится на сгонно-нагонные колебания уровня моря (Гидрометеорология и гидрохимия морей...1992). Волновая абразия, как рельефообразующие процессы, определяются активностью ветровых течений, максимальная скорость которых достигается у северного побережья Каспия, в районе морского края дельты (Лебедев и др., 2015). Эпизодическое действие сгонно-нагонных ветров выражается в возникновении песчаных отмелей, схожих с осушными зонами. Нередко встречаются останцы морской аккумулятивной террасы – береговые валы. Между рукавами дельты на устьевом взморье формируются плосковершинные острова. Их форма связана с регулярным затоплением приморского участка дельты во время половодий.

Таким образом, современная дельтовая равнина – дельта выдвигения, сформировавшаяся в несколько стадий, начиная с максимума новокаспийской трансгрессии. По мнению ряда авторов (Нижняя Волга, 2002), сначала в центральной части бывшего морского залива заполнялся врез долины Волги мангышлакского времени. На следующей стадии новокаспийской трансгрессии завершился переход от дельты выполнения к началу формирования современной дельты выдвигения, отмеченный широким развитием култучно-ильменного рельефа. Современный этап начался примерно в 1930-е годы и обусловлен падением уровня моря с  $-25$  м до современного, после чего произошло увеличение площади территории авандельты и срастание островов.

По морфологии преобладающих форм с севера на юг современная дельта подразделяется на старично-проточную, бугровую, и култучно-дельтовую. Следует отметить, что немаловажную роль в преобразовании рельефа во всех частях дельты играет биогенный фактор. Увеличение площади, занимаемой пойменной растительностью, приводит к заилению дна, уменьшению скорости течения протоков и, в конечном итоге, к их отмиранию, изменению конфигурации или трансформации в култуки или ильмени.

Ввиду возросшей значимости речных гидрологических процессов и большого количества аллювиальных аккумулятивных форм у морского края дельты, подъём уровня моря до отметки  $-27,5$  м не повлёк значительных морфологических изменений. Это также может быть связано с большим уклоном морского края дельты относительно

примыкающего шельфа и наличием буферной зоны - зоны гидравлического разрыва между морскими и речными водами. В ходе гидрологических исследований сделан вывод о том, что при уровне Каспия  $-27,5$  —  $-27,7$  м значительных изменений в морфологии нижней части дельты не происходит (Геоинформационная..., 1999).

Таким образом, на основе существующих исследований в дельте Волги можно сделать вывод, что голоценовая история её развития связана с постепенным заполнением ингрессионных заливов аллювиальными отложениями. Этот процесс осложнялся разнонаправленной динамикой уровня Каспийского моря, перераспределением стока между основными рукавами Волги и возникновением новых протоков. Более детально проследить особенности развития водоёмов позволяет метод диатомового анализа. С его помощью можно определить солёность и гидродинамику водной среды осадконакопления, а также фациальную принадлежность осадка, что и является целью и задачей настоящей работы.

### Глава 3. Фактический материал и методы исследований<sup>3</sup>

#### 3.1. Фактический материал

Материал для комплексного изучения голоценовых отложений с целью палеореконструкций из привершинной и нижней частей дельты Волги отобран в 2016–2022 гг. в ходе летних экспедиций НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена географического факультета МГУ, в которых автор принимал участие. Отбор материала в центральной части дельты проводился в ходе полевых работ летом 2021–2023 гг. в районе археологического комплекса Семибугры (район с. Бараний Бугор, Рисунок 24).



Рисунок 24. Схема расположения скважин и разрезов, материал которых использован в работе.

<sup>3</sup>При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично и в соавторстве, в которых, согласно положению о присуждении учёных степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования; а также в иных изданиях:

**Лысенко Е.И.** Диатомовые ассоциации в поверхностных осадках дельты Волги и их значение для палеореконструкций // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2025а. Т. 80. № 3. С. 147–162.

**Лысенко Е.И.** Структура ассоциаций диатомовых водорослей поверхностного слоя донных отложений современных водотоков дельты Волги // Аридные экосистемы. 2025б. Т. 31. № 3. С. 172–183.

**Лысенко Е.И.,** Ткач А.А., Макшаев Р.Р., Янина Т.А., Зенина М.А. Палеоэкологические условия в преддельтовом районе Северного Каспия в голоцене // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2024. Т. 79. № 1. Р. 61–77.

**Лысенко Е.И.** Использование диатомового анализа в палеоэкологических реконструкциях голоценовых событий в дельте Волги. // Естественные и технические науки. 2023. № 3. С. 168–172.

Полякова Е.И., **Штыркова (Лысенко) Е.И.** Развитие альгофлоры. // Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена. Научные достижения Школы академика К.К. Маркова. (Под ред. Т.А. Яниной, Н.С. Болиховской, Е.И. Поляковой, Т.С. Ключевиткиной, Р.Н. Курбанова). М.: Географический факультет МГУ, 2020. С. 448–476.

Полякова Е.И., **Штыркова (Лысенко) Е.И.** Развитие альгофлоры. // Дельта Волги. Эволюция природной среды в условиях изменений климата. (Под ред. Т.А. Яниной). М.: Географический факультет МГУ, ООО «Красногорская типография» Москва, 2019. С. 39–58.

Работы проводились сотрудниками НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена совместно с исследователями археологической экспедиции ООО «Археоцентр» и института Океанологии им. П.П. Ширшова РАН по изучению поселения эпохи Хазарского каганата. Материал из преддельтового пространства Северного Каспия предоставлен Т.А. Яниной (Рисунок 24).

Изученный материал представляет собой: 1) образцы из керна скважин в дельте Волги: Роу-2016 (пос. Пойменный); DM-1 (пос. Дамчик); комплекса скважин и шурфов (С1, ББ9 и ББ1) в р-не с. Бараний Бугор; 2) образцы из естественных обнажений в долинах дельтовых проток, а также донные отложения и поверхностные пробы Дамчикского участка (см. ниже); 3) образцы из кернов скважин на шельфе Северного Каспия: скв. Zb-1 (нефтеносная структура Жамбыл), Рыбачья (нефтеносная структура Рыбачья; Рисунок 24). Подробные описания районов отбора материала и литологических характеристик осадков, вскрытых скважинами и шурфами, представлены в главе 4.

Описания кернов скв. Роу-2016, DM-1 и Рыбачья, а также разрезов 1 и 2 выполнены автором самостоятельно. Для всех других скважин и шурфов литологические характеристики осадков любезно предоставлены Т.А. Яниной и сотрудниками НИЛ новейших отложений.

Для совершенствования методики диатомового анализа дельтовых отложений Волги и интерпретации ископаемых диатомовых ассоциаций района исследований в юго-западном секторе дельты Волги на территории Дамчикского участка Астраханского заповедника были взяты пробы из семи водных объектов с различными гидробиологическими, гидрохимическими и седиментационными характеристиками (Рисунок 25): р. Быстрая, ерики Дубной и Лотосный, култук Сазаний, протоки Грязнуха, Мартышка и безымянная (в устьевой части р. Быстрой). Более подробные характеристики водных объектов и отобранных осадков представлены в главе 4.

Пробы отбирались в июне 2017 и сентябре 2018 годов, даты отбора приближены к периодам пикового развития биомассы фитопланктона в протоках дельты Волги – во время весенне-летнего половодья (май-июнь) и летне-осенней межени (июль-август; Горбунова, 2009; Бухарицин, Лабунская, 2023). Средняя температура воды в реке Волге в конце июня составляет 21,7°C, pH 7,0-8,5. В целом водотоки (протоки, ерики) и водоёмы дельты (култуки, ильмени) эвтрофные, характеризуются высоким содержанием азота и фосфора – необходимых элементов для питания диатомей (Астраханский заповедник, 1991). Водоёмы отличаются большой изменчивостью площади водного зеркала в течение года, ввиду сезонных колебаний уровня воды в основных протоках.



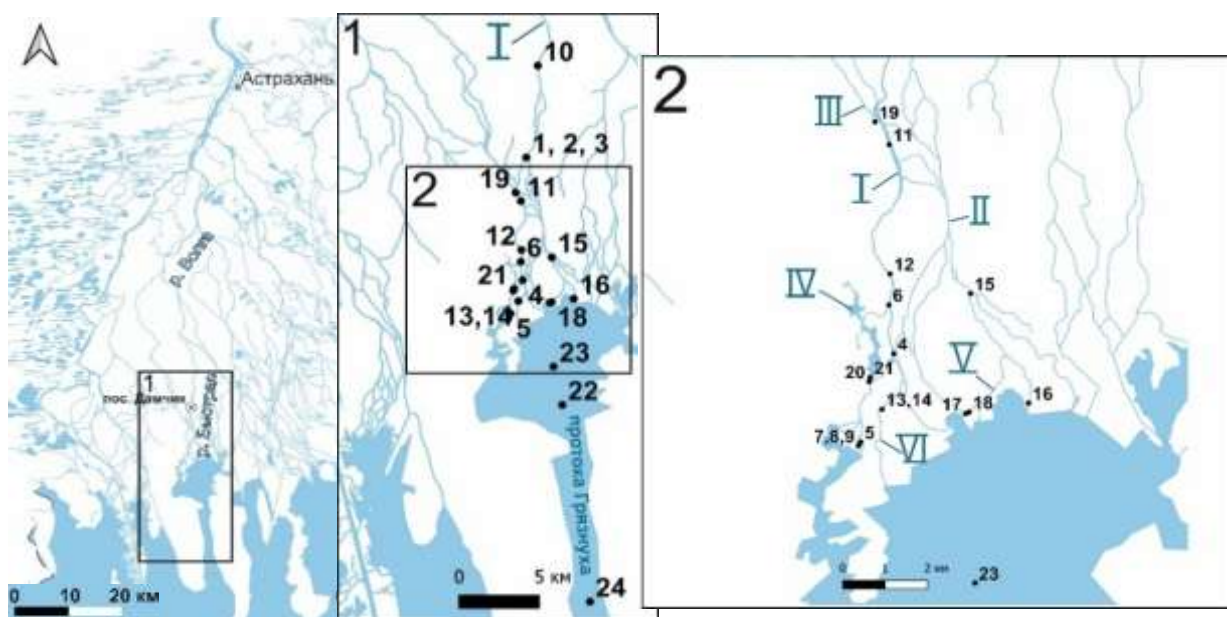


Рисунок 25. Местоположение точек отбора и номера проб. На врезках 1 и 2 римскими цифрами обозначены следующие водные объекты в районе Дамчикского участка Астраханского заповедника в юго-западном секторе дельты: I – р. Быстрая, II – ер. Дубной, III – ер. Лотосный, IV – култук Сазаний, V – протока Мартышка, VI – безымянная протока (рукав р. Быстрой; по: Лысенко, 2025б).

### 3.2. Методы исследований

*Отбор материала из скважин в дельте Волги.* Бурение скважины Роу-2016 (пос. Пойменный) производилось механизированным канатно-ударным способом. В ходе бурения отобраны образцы керна для целей комплексного анализа: они зачищались от материала, попавшего из верхних слоёв при изъятии керна, после чего следовала упаковка и этикетирование образцов с указанием номера и глубины (Рисунок 26). Ввиду значительной водонасыщенности пород из интервала 7,50-4,65 м не удалось отобрать материал (см. п. 4.3.1.).

Голоценовые отложения из комплекса скважин и шурфов из центральной части дельты (с. Бараний Бугор) отобраны на правом и левом берегах р. Болда методом шурфования и ручного бурения. Из скважин производился отбор образцов через 10 см, из шурфа С1 образцы отобраны из каждого литологического слоя с интервалами в пределах 10-30 см. Материал для изучения ископаемых диатомей из керна скважины ДМ-1 (пос. Дамчик) отобран методом ручного бурения (Рисунок 27). В ходе бурения скважины проведён детальный отбор образцов для диатомового анализа: через 20-30 см – из песчаных отложений, через 10 см – из глин (Полякова, 2025).

а)



б)



а)



б)

Рисунок 26. Бурение скважины Роу-2016 (пос. Пойменный). а), б) фрагменты полученного керна; в) буровая установка, г) процесс бурения. (Фото Р.Н. Курбанова).



Рисунок 27. Отбор керна скважины DM-1 (Дамчикский участок Астраханского заповедника). Фото автора и Р.Р. Макшаева.



Также производился отбор образцов для целей геохимического анализа – через 10 см, для радиоуглеродного анализа методом с применением ускорительной масс-спектрометрии (AMS) – 2 образца из наиболее богатых органикой глин.

*Отбор материала из скважин на шельфе Северного Каспия.* Керны скважин Zb-1 и Рыбачья, расположенных в пределах нефтеносных структур Жамбыл и Рыбачья соответственно, получены методом вибрационного бурения в ходе инженерно-геотехнических исследований в Северном Каспии (Рисунок 24). Они хранятся в НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена с целью комплексного изучения. Выделение образцов из кернов производилось в камеральных условиях из каждого выявленного литологического слоя.

Для отбора *материала из естественных обнажений* в долинах дельтовых проток и шурфа С1 производилась тщательная зачистка вертикальной стенки разрезов от современных осадков. С целью повышения детальности исследования, образцы из разрезов 1 и 2 отбирались через 5 см, из однородных толщ – через 10 см.

*Радиоуглеродное датирование* выполнено для образцов из трёх скважин: С1, DM-1 и Рыбачья. Анализ образцов из скважины DM-1 осуществлялся методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS) в лаборатории радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии Института географии РАН. Перед выделением и определением содержания изотопа  $^{14}\text{C}$  углеродсодержащие образцы с глубин 2,4 м и 4,9 м подверглись первичной обработке – графитизации в лабораторных условиях. Метод AMS позволяет осуществлять работу с малыми массами образца (от нескольких миллиграммов; Институт географии РАН. Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии [сайт]. URL: <http://igras.ru/854>), что делает возможным определение возраста при небольшом объёме материала, отобранном в ходе ручного бурения.

В скв. Рыбачья радиоуглеродное датирование выполнено по двум образцам (интервалы 1,73–1,96 м и 2,07–2,11 м). В качестве материала для датирования использованы раковины моллюсков *Monodacna caspia* и *Dreissena polymorpha*. В скв. С1 датирование также выполнено по двум образцам (0,8 м и 1,7 м, материал – палеопочвы). Датирование проводилось сцинтилляционным методом в лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана СПбГУ (лабораторный индекс ЛУ; Berdnikova et al., 2023). Для калибровки радиоуглеродных дат в календарный возраст ( $\pm 2\sigma$ ) использовались программа OxCal 4.4.4 и шкала IntCal20.

*Гранулометрический анализ* выполнен для следующих объектов: скв. Роу-2016 (46 образцов), скв. + шурф С1 (14 образцов), скв. ББ9 (45 образцов), разрез 1 (16 образцов), разрез 2 (10 образцов), скв. Рыбачья (9 образцов). Предварительная пробоподготовка

проводилась в НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена. Все образцы (массой по 10-15 г каждый) были высушены в сушильном шкафу при температуре 50°C в течение 3 часов и затем последовательно обработаны 10%-ными растворами соляной кислоты (HCl) и перекиси водорода (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) для удаления карбонатов и органических веществ. Для материала из скважин и шурфа С1 гранулометрический анализ проведён с помощью лазерного измерителя частиц FritschAnalysette 22 в Лаборатории почвенно-геохимических исследований кафедры геохимии ландшафтов и географии почв МГУ. Измерения проведены в интервале размерности от 0,8 мкм до 2000 мкм. Гранулометрическая классификация приведена на основе работы Н.А. Качинского (1965) со следующими размерностями: <1 мкм (глины); 1–5 мкм (мелкие алевриты); 5–10 мкм (средние алевриты); 10–50 мкм (крупные алевриты); 50–250 мкм (мелкозернистые пески) и 250–1000 мкм (средние и крупнозернистые пески). Более крупные фракции в изученных образцах не обнаружены. Для образца из интервала 2,99–3,54 м представлены результаты гранулометрического анализа фракции, оставшейся после растворения карбонатного матрикса (Лысенко и др., 2024).

Гранулометрический анализ для образцов из разрезов 1 и 2 проведён с помощью лазерного дифракционного анализатора размера частиц «Ласка-Т(Д)» в НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена. Измерения проведены в интервале размерности от 0,1 до 1000 мкм. Первичные результаты анализа представлены в виде таблиц с квантилями распределения, которым соответствуют измеренные значения диаметра частиц в мкм (Таблица 1).

Таблица 1. Пример представления результатов измерений дифракционного анализатора «Ласка-Т(Д)»

D10=	3,477
D25=	6,954
D50=	13,04
D75=	23,47
D90=	33,03
D99=	40,85

Квантиль описывает, какой процент частиц имеет диаметр не больше измеренного. Например, в таблице ... запись «D10 = 3,477%» означает, что не более 10% частиц имеют средний диаметр 3,477 мкм.

Для единообразия представления результатов гранулометрического анализа эти данные приведены автором к гранулометрической классификации Н.А. Качинского (1965).

Среднее значение диаметра частиц отнесено к соответствующему классу размерности по Н.А. Качинскому, квантиль принят за % содержания частиц этой размерности в образце.

По сходному соотношению частиц образцы объединялись в группы, которые соответствуют определённым характеристикам среды осадконакопления. Дополнительно для каждой группы образцов были построены графики распределения частиц. В качестве обобщающих данных для образцов внутри каждой группы приняты медианные значения долей частиц каждой размерности.

*Геохимическим методом* охарактеризованы следующие объекты: скв. Роу-2016 (46 образцов), шурф + скважина С1 (14 образцов), скв. Рыбачья (9 образцов), скв. ДМ-1 (24 образца). Предварительная пробоподготовка проводилась в НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена. Все образцы были высушены в сушильном шкафу при температуре 50 °С в течение шести часов и после измельчены с помощью фарфоровой ступки. Для образцов из скважины ДМ-1 геохимический анализ произведён в ФБГУ «ВИМС» (Всероссийский НИИ минерального сырья им. Н.М. Федоровского) методами атомно-эмиссионным (АЭ) и масс-спектральным (МС) с индуктивно-связанной плазмой (ФГБУ «ВИМС» [сайт]. URL: <http://vims-geo.ru>). Результаты оформлены в виде таблиц, в которых указано содержание основных оксидов, С, % масс. и 53-х химических элементов, С, мкг/г (см. Приложения 2 и 3). Для образцов из скважин Рыбачья, С1 и Роу-2016 измерения выполнены с.н.с. НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена к.г.н. Р.Р. Макшаевым с использованием энерго-дисперсионного анализатора Olympus Delta Professional (EDXRF) в режиме программы «геохимия» (Лысенко и др., 2024). Таблицы с измеренным содержанием проанализированных в работе элементов (в %) представлены в Приложениях 4-6.

*Малакофаунистический и микрофаунистический (остракоды) анализы* выполнены в рамках комплексного исследования керна скв. Рыбачья Т.А. Яниной (малакофауна), А.А. Ткач (Бердниковой) и М.А. Зениной (анализ остракод).

Малакофаунистический анализ выполнен по 14 образцам, содержащим 960 раковин (и их обломков) моллюсков. Анализ включал таксономическую идентификацию и исследование сохранности раковин. Ископаемые раковины были исследованы на наличие признаков растворения, истирания, изменения окраски и фрагментации. Находки раковин в двух створках указывали на их нахождение *in situ*. Для реконструкции голоценовых условий среды в Северном Каспии использованы данные об экологии таксонов (Лысенко и др., 2024).

Для целей микрофаунистического анализа 13 образцов были подготовлены по стандартным методикам (Ivanova et al., 2015). Образцы предварительно замачивались в

течение часа, а затем промывались через сито с размером ячейки 63 мкм. Оставшаяся фракция высушивалась на воздухе, после чего материал из фракций размерностью 0,1–2 и 0,063–0,1 мм исследовался с помощью бинокулярного микроскопа. Створки остракод по возможности идентифицированы до вида.

*Отбор проб поверхностного слоя донных осадков для диатомового анализа* производился с борта лодки с помощью малого дночерпателя системы Ван Вина площадью захвата 200 см<sup>2</sup>, что соответствует стандартной методике (Диатомовые водоросли СССР, 1974). Образцы помещались в герметичные пластиковые пакеты и фиксировались раствором формалина до появления слабого запаха. Предполагалось, что ввиду малого размера створок диатомовых водорослей и особенностей выпадения осадка из взвеси, в область захвата дночерпателя могут попадать и более древние осадки, что впоследствии исказит представления о видовом разнообразии современных водотоков. Для устранения возможного искажения результатов диатомового анализа за счёт более древних осадков, нами послойно отбирались три образца из одной пробы (Рисунок 28).

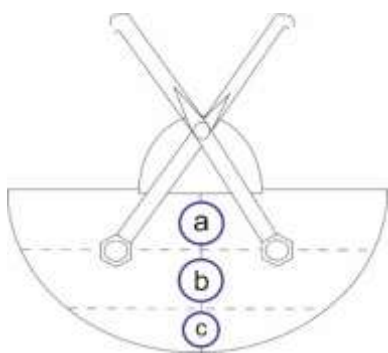


Рисунок 28. Схема отбора проб донного осадка для изучения современных диатомовых ассоциаций.

Слои осадка выделялись путём последовательного его извлечения из дночерпателя. Порядок отбора образцов из пробы: “с” – “б” – “а” (Рисунок 28), от наиболее древнего (с) к наиболее молодому (а) слою осадков. Мощность отбираемых слоёв составляла порядка 2-3 см. В случае, если осадок был представлен песком с раковинным детритом или

объём отобранного материала был очень мал, отбирался только один образец из пробы. В 2017 году пробы отобраны из 10 точек, в 2018 году – из 14 точек. При отборе

проб в 2018 г. в придонном слое с помощью кондуктометра YSI10 одновременно фиксировались: глубина отбора (м), температура (°C) и электропроводность (µS/см). Ввиду ограничений функций кондуктометра, pH воды измерялся отдельно в приповерхностном слое с помощью электронного pH-метра карандашного типа Kellymeter PH-009(I). По техническим причинам данные характеристики измерялись только при отборе проб в 2018 г. В протоках для выявления возможных различий в видовом составе диатомовых ассоциаций отбор производился по профилям: левый берег – стрежень протоки – правый берег. В узких протоках отбирались два образца по профилю: левый или правый берег – стрежень протоки. Такой способ отбора проведён в точках №№ 1-3, 7-9, 13-14, 17-18 (Рисунок 25).

Измерения глубины и ширины р. Быстрая, ер. Дубного, пр. Мартышка и пр.

Грязнуха, а также построение поперечных профилей по створам вблизи точек отбора произведено с помощью акустического доплеровского профилографа. Данные были получены и любезно предоставлены н.с. кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ к.г.н. П.Н. Терским. Характеристики остальных объектов (ширина, длина) и степень зарастания култука Сазаньего (в % от общей площади водоёма) измерены дистанционными методами с использованием онлайн-сервиса EO Browser и подложки спутниковых снимков Sentinel-2 от 2018 г., актуальной на период полевых исследований (EO Browser [сайт]. URL: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>). В данной работе представлены результаты изучения образцов только из верхнего слоя отложений (а). В общей сложности проанализировано 24 образца поверхностного слоя донных осадков. Выборка створок в образцах составляла 250-300 экземпляров, за исключением образца № 23, в нём выборка составила 150 створок, ввиду их малой концентрации.

*Подготовка и анализ смер-слайдов (препаратов-мазков).* Изучение смер-слайдов (smear-slides или препаратов-мазков) – распространённый метод экспресс-анализа донных осадков на борту судна, который довольно хорошо разработан и имеет длительную историю применения (Лисицын, Петелин, 1956). Метод заключается в изучении тонкого мазка необработанного осадка под микроскопом. Он применяется как для полуколичественной оценки минерального состава осадков, так и для выявления микро- и нанофоссилий (Дриц и др., 2020).

В данной работе использован обширный скважинный материал из центральной части дельты (см. п. 4.3.2). С целью первичной оценки наличия ископаемых диатомей в образцах скважин и выбора материала для дальнейшей обработки образцов и микроскопирования были изучены смер-слайды. Подготовка смер-слайдов производилась по упрощённой методике (Marsaglia et al., 2015): небольшое количество образца с несколькими каплями воды наносилось на предметное стекло тонким слоем с помощью зубочистки с уплощённым краем. Для каждого образца использовалась индивидуальная зубочистка. Образец исследовался с помощью светового микроскопа JENVAL (Carl Zeiss) при увеличении в 400 раз во влажном виде. Первоначально методика изучения смер-слайдов разрабатывалась для морских донных отложений, представленных тонкой фракцией. Отобранные образцы осадков из центральной части дельты в основном состоят из частиц не крупнее мелкозернистого песка. При создании смер-слайдов из дельтовых осадков необходимо избегать крупных скоплений частиц песка. Микрофоссилии, как правило, содержатся в матриксе, представляющем собой более тонкую фракцию.

Смер-слайды были подготовлены для образцов из 18 скважин из центральной части дельты: (см. Рисунок 71, Рисунок 75 в п. 4.3.2). Всего было подготовлено и проанализировано 432 смер-слайда.

Диатомовый анализ выполнен автором для всех изученных скважин, разрезов, шурфа и ряда проб современных донных отложений.

*Техническая обработка образцов для диатомового анализа* проводилась по стандартным методикам (Диатомовые водоросли СССР, 1974) в НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена. Общее количество обработанных образцов ископаемого материала составило 205, образцов поверхностного слоя донных осадков из современных водоёмов – 24. Образцы из скважины Роу-2016 в количестве 46 были предварительно высушены с помощью лиофильной сушилки ALPNA 1-4 LDplus в Институте Океанологии имени П.П. Ширшова РАН, остальные образцы предварительно просушены в сушильном шкафу в течение 5-6 ч при температуре 50°C в НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена. Последовательность действий при технической обработке была следующей:

- 1) из каждого образца взята навеска около 5 г (для глин и суглинков) или 20 г (для песков), масса которой определена на электронных весах (ACOM JW-1);
- 2) пробы залиты 200 мл 10% раствора перекиси водорода и оставлены на 12 часов под вытяжкой;
- 3) через 12 часов в тщательно размешанные образцы доливалось до 400 мл разведённой до 10% перекиси водорода;
- 4) образцы в термостойких стаканах поставлены на плиту под вытяжку, где кипятились 1,5 часа;
- 5) после термической обработки пробы были залиты дистиллированной водой до 900 мл и оставлены под вытяжкой на 48 часов;
- 6) через двое суток начался процесс отмучивания: из термически обработанных образцов выливалось максимально возможное количество жидкости, без взмучивания осадка, после чего образец доливался дистиллированной водой до 900 мл. До полного отмучивания каждые 3 часа вода с неосаждёнными частицами сливалась, образцы разбавлялись дистиллятом.
- 7) после отмучивания для приготовления временного препарата с помощью пипетки по 0,7 мл взвеси каждого образца помещалось на обезжиренное покровное стекло. С целью равномерного распределения створок диатомей в образце предметное стекло, на котором располагаются покровные стёкла, было помещено на горизонтальную поверхность;
- 8) подготовленные пробы отстаивались в течение нескольких часов до полного испарения жидкости;

9) для изготовления постоянных препаратов: на покровное стекло нанесена 1 капля смолы NAPHRAX с показателем преломления 1,68, сверху помещено покровное стекло с образцом, после чего препарат нагревался на плите под вытяжкой для удаления пузырьков воздуха под покровным стеклом.

*Таксономическое определение диатомей* на основе изучения структуры их створок в постоянных препаратах произведено с помощью светового микроскопа JENAVAL (Carl Zeiss) при увеличении в 1000 раз в НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена. Определение контролировалось при помощи сканирующих электронных микроскопов (СЭМ) Cambridge CamScan-4 и TESCAN VEGA-II XMU в Палеонтологическом институте РАН, а также при помощи СЭМ Jeol JSM-6480LV в центре коллективного пользования на базе Лаборатории локальных методов исследования вещества кафедры петрологии МГУ. В работе использовался ряд определителей и статей, содержащих информацию о диатомовой флоре региона (Жаковщикова, 1970; Караева, 1972; Жаковщикова, 1974; Генкал, 1992; Чудаев, Гололобова, 2016; Куликовский и др., 2016; Karayeva, Makarova, 1973; Pankow, 1990; Hartley et al., 1996). Актуальность названий таксонов контролировалась с помощью электронной базы данных Algaebase (Guiry M.D., Guiry G.M, 2025). Микрофотографии изученных диатомовых водорослей оформлены в фототаблицы (Рисунок 29-31).

Для препаратов, содержащих диатомей, рассчитана концентрация створок диатомовых водорослей на один грамм сухого вещества по формуле (1), (Battarbee, 1973):

$$(1) \quad \frac{S_{\text{стекла}} * \text{разведение} * N_{\text{створок}}}{m_{\text{навески}} * S_{\text{просмотра}} * V_{\text{капли}}},$$

где площадь предметного стекла равна 100 мм<sup>2</sup>, разведение – объём воды, содержащийся в стакане при взятии образца,  $N_{\text{створок}}$  – количество створок диатомей в одном ряду, площадь просмотра – количество просмотренных рядов умножить на длину ряда,  $V_{\text{капли}}$  – объём капли воды в препарате.

*Применение диатомового анализа для реконструкций палеогеографических условий водоёмов.* Метод основан на комплексном анализе экологических предпочтений сообществ диатомовых водорослей в осадках. Благодаря кремнистому панцирю диатомовые водоросли хорошо сохраняются в отложениях. Особенности строения панциря, которые положены в основу современной классификации диатомей, позволяют определять принадлежность створок до вида и внутривидовых таксонов (Полякова, 2025). Строгая приуроченность диатомей к экологическим параметрам среды позволяет довольно точно реконструировать условия осадконакопления в водных объектах.

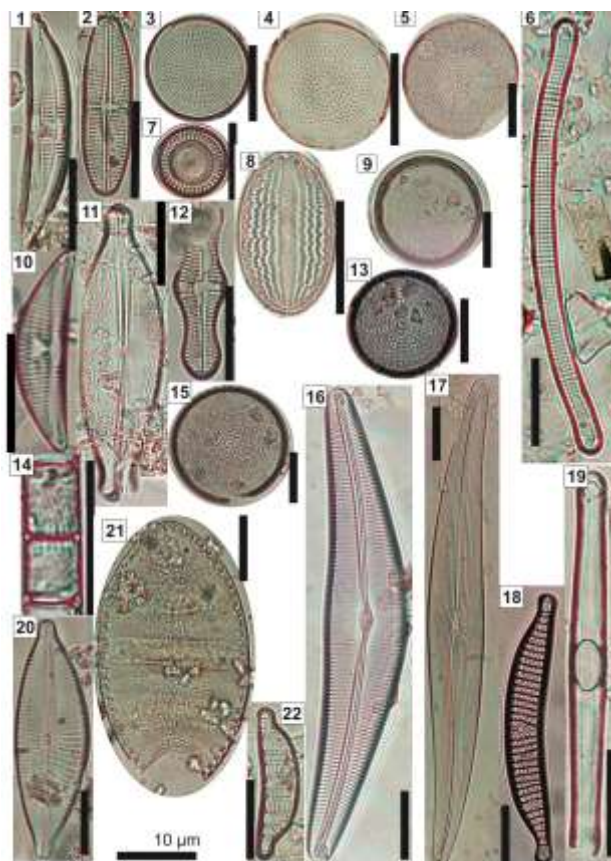


Рисунок 29. Фототаблицы изученных диатомовых водорослей из голоценовых осадков дельты Волги и шельфа Северного Каспия. Микрофотографии, сделанные с помощью светового микроскопа. 1, 10 – *Amphora copulata* (Kützing) Schoeman & R.E.M.Archibald; 2 – *Achnanthes brevipes* var. *intermedia* (Kütz.) Cleve; 3,4 – *Actinocyclus octonarius* var. *tenellus* (Brébisson) Hendey; 5 – *Actinocyclus curvatus* Janisch; 6 – *Eunotia exigua* (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst; 7 – *Stephanocyclus meneghinianus* (Kützing) Kulikovskiy, Genkal & Kociolek; 8 – *Cocconeis lineata* Ehr.; 9 – *Actinocyclus octonarius* Ehr.; 11 – *Anomoeoneis sphaerophora* Pfitzer; 12 – *Caloneis ventricosa* F.Meister; 13 – *Coscinodiscus stellaris* Roper; 14 – *Aulacoseira granulata* (Ehr.); 15 – *Coscinodiscus perforatus* Ehr.; 16 – *Cymbella lanceolata* var. *cornuta* (Ehr.) Grunow; 17 – *Gyrosigma attenuatum* (Ehr.; W.Smith) H.Peragallo; 18 – *Epithemia turgida* (Ehr.) Kütz.; 19 – *Grammatophora macilenta* W.Smith.; 20 – *Cymboplectura inaequalis* (Ehr.) Krammer; 21 – *Cymatopleura elliptica* (Bréb.) W.Smith; 22 – *Epithemia adnata* (Ehr.) Kütz.

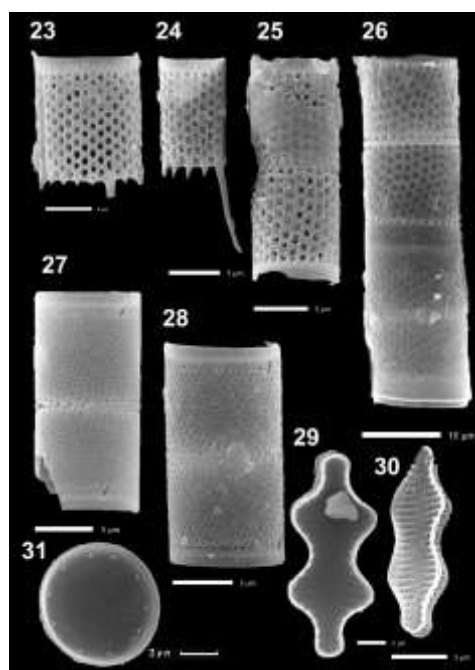


Рисунок 30. Фототаблицы изученных диатомовых водорослей из голоценовых осадков дельты Волги и шельфа Северного Каспия. Микрофотографии, сделанные с помощью сканирующего электронного микроскопа. 23-26 – *Aulacoseira granulata* (Ehr.); 27,28 – *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen; 29-30 – *Pseudostaurosira robusta* (Fusey) D.M.Williams & Round; 31 – *Stephanodiscus minutulus* (Kütz.) Cleve & Möller.



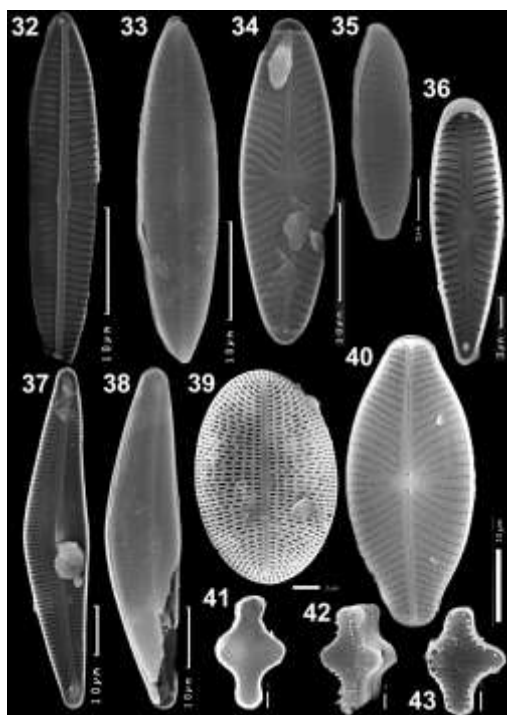


Рисунок 31. Фототаблицы изученных диатомовых водорослей из голоценовых осадков дельты Волги и шельфа Северного Каспия. 32, 33 – *Navicula tripunctata* (O.F.Müller) Bory; 34 – *Navicula reinhardtii* (Grun.) Grun.; 35 – *Fragilaria vaucheriae* (Kütz.) J.B.Petersen; 36 – *Gomphonella olivacea* (Hornemann) Rabenhorst; 37, 38 – *Cymbella cistula* Ehr.; 39 – *Cocconeis lineata* Ehr.; 40 – *Placoneis gastrum* (Ehr.) Mereschowsky; 41-43 – *Staurosira leptostauron* (Ehr.) Kulikovskiy & Genkal.

Наиболее важными анализируемыми параметрами диатомовых ассоциаций для реконструкций условий осадконакопления в изучаемом регионе – в зоне смешения речных и морских вод – являются: приуроченность видов к солёности вод и pH водной среды, соотношение планктонных и бентосных/перифитонных видов, концентрация створок диатомей. С целью уточнения палеореконструкций, помимо изучения диатомей из голоценовых осадков, автором предлагается использовать данные о современных диатомовых ассоциациях с привлечением статистических методов (см. ниже, п. 4.2), которые применяются для целей палеореконструкций с 1980-х годов (Полякова, 2025). Основываясь на методе актуализма, можно выявить в том числе влияние локальных условий осадконакопления в ископаемых диатомовых ассоциациях. В палеореконструкциях используются различные классификационные системы для диатомей (Диатомовые водоросли СССР, 1974; Полякова, 2025). Наиболее употребляемой классификацией диатомовых водорослей по отношению к солёности вод является система галобности Кольбе в модификации Симонсена и Панкова (Kolbe, 1932; Simonsen, 1962; Pankow 1990; Полякова, 2025). Также обобщающая работа по проблемам соленосливости диатомовых водорослей, уточняющая классификацию Кольбе, опубликована А.И. Прошкиной-Лавренко (1953). По отношению к солёности выделяют четыре основные группы диатомей: полигалобы, обитающие в водной среде с солёностью выше 40‰, эвгалобы (солёность 30-40‰), мезогалобы (солонатоводные виды, часто встречаются в дельтах и эстуариях рек, распреснённых участках морей с солёностью вод 0,5-20‰) и олигогалобы (пресноводные виды, диапазон солёности вод 0,01-5‰; Прошкина-Лавренко, 1953). Группа олигогалобов

(пресноводных видов) подразделяется на три подгруппы: галофобы, живущие при солёности вод до 0,02‰; индифференты, максимальная численность которых достигается при солёности 0,2-0,3‰ и галофилы, способные выдерживать повышение солёности до 0,4-0,5‰ (Прошкина-Лавренко, 1953). Индифференты являются наиболее многочисленной группой – к ним относится большинство видов диатомей. Галофобные диатомеи погибают при малейшем увеличении солёности вод из-за повышения осмотического давления. Солёность в протоках современной дельты Волги достигает 0,4‰ (см. п. 1.1), что исключает возможность обитания галофобных диатомей. С точки зрения палеореконструкций условий осадконакопления повышение доли галофильных видов в образцах может свидетельствовать о поступлении солоноватых вод. Применительно к аридному климату в районе дельты Волги повышенная доля галофилов может свидетельствовать о повышении солёности в водоёмах вследствие интенсивного испарения, что было отмечено в западных подстепных ильменах (Бреховских и др, 2010). С речными водами пресноводные диатомеи поступают в прибрежную зону морей, но их вегетация скоро прекращается. В ряде работ распределение пресноводных диатомей в шельфовых осадках морей используется для изучения ареала влияния речного стока на осадконакопление, что является надёжным индикатором изменений объёма речного стока во времени и основой для количественных оценок палеосолёности вод (Polyakova, 2003; Полякова и др., 2016; Полякова, 2025). Ввиду неоднократных изменений уровня Каспия, ареал воздействия волжских вод в преддельтовом пространстве также менялся, что должно выражаться в накоплении пресноводных диатомей в осадках.

Согласно А.П. Лисицыну (1994), дельта Волги относится к так называемым областям «маргинального фильтра», в которых происходит осаждение взвешенных и растворённых веществ с крайне высокой скоростью. Обобщение данных по маргинальному фильтру в преддельтовом пространстве Волги, полученных в ходе 9 рейсов, представлены в работе В.Н. Лукашина с соавторами (2019). Выявлены солёностные границы трёх этапов фильтра: гравитационного, коагуляционно-сорбционного и биологического. На первом этапе в диапазоне солёности до 2 ‰ (или 2‰) происходит интенсивное осаждение литогенного материала за счёт уменьшения скорости потока. Далее в диапазоне солёности 2-7‰ происходит коагуляция и массовое осаждение тонкой части взвеси (коллоидов), что в первую очередь связано со смешением вод разной солёности (Лисицын, 1994). Происходит обогащение вод органическим веществом, которое необходимо для роста и развития фитопланктона, в том числе – диатомей. Третий, биологический, этап фильтра выявлен в диапазоне от 7 до 11‰ – изохалины внешней границы маргинального фильтра Волги (Лукашин и др., 2019). В этой области создаются наиболее благоприятные условия для

расцвета фито- и зоопланктона: вода прозрачная, сохраняется активное поступление органического вещества. За пределами маргинального фильтра количество растворённой органики существенно уменьшается (Лукашин и др., 2019), что приводит к снижению продуктивности фитопланктона (в том числе – диатомей). Приведённые закономерности также могут быть использованы в палеореконструкциях условий осадконакопления в дельте Волги и преддельтовом пространстве.

По отношению к активной реакции водной среды, согласно системе Хустедта (Hustedt, 1939), среди диатомей выделяют виды: ацидобионтные – обитатели кислых вод ( $\text{pH} = 5,5$  и менее); ацидофильные, живущие в слабокислых водах ( $\text{pH} = 5,5-7$ ); индифферентные и/или нейтрофильные, встречающиеся в водах с нейтральной средой ( $\text{pH}$  около 7); алкалофильные, оптимально развивающиеся в слабощелочных водах ( $\text{pH} > 7$ ); алкалобионтные, живущие в щелочных водах ( $\text{pH} > 8,5$ ; Полякова, 2025). Для количественных реконструкций  $\text{pH}$  применяется ряд статистических методов. С помощью данных о диатомеях в осадках озёр Швеции разработана методика на основе уравнения линейной регрессии (Renberg, Hellberg, 1982), также существуют методы, основанные на передаточных функциях или «transfer functions» (Birks et al., 1990). Для палеореконструкций на изучаемой территории повышение доли алкалофильных и алкалобионтных видов в осадках дельты Волги может означать влияние слабощелочных морских вод.

По местообитанию виды диатомей разделяются на планктонные, бентосные и перифитонные. Последние обрастают подводные части растений и твёрдого субстрата. Некоторые виды (меропланктонные) обитают как в составе перифитона, так и фитопланктона. Среди перифитона выделяется немногочисленная группа реофильных видов, предпочитающих проточные хорошо аэрированные воды. Планктонные диатомеи морей и океанов подразделяются на собственно океанические, неритические, обитающие в пределах в пределах шельфовой зоны, и панталассные виды, встречающиеся как в открытых океанах, так и в пределах шельфов. На основе анализа количественного соотношения данных групп морских диатомовых водорослей в поверхностном слое донных осадков, планктоне и водной взвеси А.П. Жузе (1962, 1969) разработана методика для реконструкций трансгрессивно-регрессивных циклов морских бассейнов в северо-западной части Тихого океана. Данная методика была адаптирована Р.Н. Джиноридзе (1971) для реконструкции этапов голоценовой трансгрессии Белого моря. Ещё один метод, основанный на анализе местообитания видов, – соотношение численности планктонных диатомовых водорослей к сумме планктонных и бентосных диатомей или Р/В индекс. Он используется для реконструкции палеоглубин в озёрах и морях (Wang et al, 2013). На основе

данного соотношения Е.И. Поляковой и Е.А. Агафоновой проведены реконструкции палеоглубин в Белом море (Polyakova et al., 2023; Agafonova et al., 2020). Повышение значений индекса (увеличение численности планктонных видов) соответствует увеличению глубины моря.

Лимитирующим фактором развития диатомей в водоёмах, ввиду необходимости фотосинтеза, является освещённость. Как правило, глубина обитания диатомей в континентальных водоёмах оценивается от 1,5 м (при высокой мутности) до 30 м, в морях и океанах – от нескольких десятков до 162 м в субантарктических областях (Жузе, 1949; Полякова, 2025). При реконструкциях глубин континентальных палеоводоёмов также определяются количественные соотношения планктонных диатомей, развивающихся в верхнем фотическом слое вод, и бентосных/перифитонных видов (Hartung et al., 2025). Однако применительно к осадкам пресноводных озёр, по мнению Дж. Волин и Дж. Стоуна, данное соотношение менее чётко отражает колебания глубины по сравнению с другими палеоархивами (например, солёными озёрами), что ограничивает возможность количественных реконструкций глубин (Wolin, Stone 2010). А. Хоффман с соавторами (Hofmann et al., 2020) путём сравнительного анализа планктонных и бентосных сообществ диатомей из близкорасположенных пресноводных озёр (глубоководного и мелководного) пришли к выводу, что в мелководных озёрах соотношение численности планктонных и бентосных видов является менее однозначным индикатором изменения глубины, по сравнению с глубоководными. Авторы рекомендуют обращать внимание на видовое разнообразие бентоса и перифитона: при обмелении озера оно будет повышаться, так как субстрат станет более разнообразным, например, за счёт появления высших водных растений (Hofmann et al., 2020). В осадках водохранилищ изменение Р/В индекса также используется для реконструкции поступления питательных веществ, увеличение значений индекса (повышение доли планктонных видов) свидетельствует об эвтрофикации (Lei et al., 2021). Таким образом, при палеореконструкциях осадконакопления в континентальных пресноводных водоёмах на основе соотношения планктонных и бентосных диатомей следует учитывать дополнительные параметры: освещённость, мутность вод, поступление питательных веществ, морфологию озёрной котловины и другие (Wolin, Stone 2010). Повышение доли планктонных диатомей может свидетельствовать об увеличении глубины, проточности или повышении трофического индекса водоёма. Преобладание бентосных форм характеризует мелководные условия водоёмов с низкой гидродинамикой. В дельтовой области соотношение диатомей с разными местообитаниями позволяет выявить фациальные обстановки осадконакопления, однако это требует привлечения

литологических, седиментологических и геоморфологических данных (Hutchinson et al., 1995).

Для озёрных водоёмов разработана отдельная классификация диатомовых ассоциаций, основанная главным образом на трофическом статусе озёр (Полякова, 2025). Выделяют ассоциации олиготрофных озёр с холодной и прозрачной водой, бедной солями и органическими веществами (в первую очередь, азотом и фосфором), но насыщенной кислородом. Дистрофные озёра обогащены гуминовыми кислотами, воды имеют слабую минерализацию. Диатомовые ассоциации в них представлены почти исключительно донными формами. Эвтрофные озёра с высокой концентрацией питательных веществ отличаются широким видовым разнообразием и повышенной численностью планктонных и бентосных диатомей. Озёра в дельте Волги – ильмени – эвтрофные, поэтому для них следует ожидать богатое видовое разнообразие как планктонных, так и бентосных видов.

Концентрация створок диатомей – один из вспомогательных показателей, используемых в палеореконструкциях (см. формула 1). В дельтовых областях этот показатель может иллюстрировать различные этапы маргинального фильтра (см. выше). В работе Е.И. Поляковой с соавторами (2016) проанализирована связь концентрации створок диатомей и водных палиноморф в поверхностных осадках приустьевых участков рек Северная Двина, Онега и Кемь в Белом море. Максимальная концентрация створок диатомей приурочена к первому, гравитационному этапу фильтра, на втором этапе отмечается снижение показателя, которое авторы связывают с высокой мутностью вод и интенсивными приливно-отличными течениями. На третьем этапе концентрация створок диатомей вновь повышается, так как устанавливаются благоприятные условия для вегетации диатомовых водорослей. В целом по отношению к гранулометрическому составу осадка диатомей тяготеют к алеврито-пелитовой фракции, так как размерность створок доминирующих видов диатомей соответствует крупному алевриту (Полякова и др., 2016). Концентрация створок диатомей может отражать продуктивность диатомовых водорослей, которая связана в первую очередь с поступлением биогенных элементов и освещённостью. Так как дельта Волги характеризуется высокой скоростью седиментации и большими объёмами твёрдого стока (до зарегулирования реки – 12,9 млн т/год, по: Атлас... 2015), показатель концентрации створок может быть снижен, за счёт «разбавления» кремнистых панцирей терригенным материалом.

В данной работе в голоценовых осадках по диатомеям идентифицированы экостратиграфические зоны (экозоны): интервалы с определённым видовым составом, соотношением экологических групп диатомей и концентрацией створок в осадках, выделяемые в конкретных скважинах, соответствующие определённым условиям

осадконакопления. Для краткости они называются диатомовыми зонами (ДЗ). В работе нумерация зон дана в порядке осадконакопления – снизу вверх по разрезам. Реконструкции по результатам малакофаунистического анализа и анализа остракод, привлечённые при изучении скв. Рыбачье, также основываются на выделении экзон. Экологические характеристики диатомей приводятся в работе на основе определителей и книги «Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды» (Баринова и др., 2006).

Для целей палеогеографических реконструкций результаты анализа ископаемых диатомей оформлены в виде диаграмм распределения наиболее обильных таксонов по разрезам, результаты анализа поверхностного слоя донных осадков – в виде пузырьковой диаграммы с таксонами, доля которых в образце составляла от 3% (см. п. 4.2). Диаграммы распределения построены с использованием программы Strater 4, пузырьковая диаграмма – при помощи вычислительной среды R. Для написания программного кода использовались данные Дж. Зорз, специалиста в области экологии микроорганизмов, размещённые в открытом доступе (GitHub [сайт]. URL: <https://jkzorz.github.io/>). Для всех изученных объектов результаты диатомового анализа также приведены в виде списков-таблиц (прил. 6,7).

*Статистические методы в диатомовом анализе.* Методы главных компонент (PCA) и неметрического многомерного шкалирования (NMDS) предназначены для проецирования многомерных данных на плоскости с целью снижения размерности – выделения основных факторов, которые объясняют изменчивость признаков. Таксономический состав диатомей в каждом изученном образце является примером многомерных данных. При графическом отображении поля точек в двухмерном пространстве PCA нацелен на наименьшее искажение корреляций между переменными (образцами), NMDS – на наименьшее искажение расстояний между ними (Сушко, 2020). Оба метода широко применяются в контексте палеоэкологических реконструкций (Палагушкина и др., 2014; Pike et al., 2008; Espinosa et al., 2022). В данной работе они применены к результатам диатомового анализа с целью выявления характерных видов для современных местообитаний и уточнения палеекострукций условий осадконакопления на основе метода актуализма.

Выборки, полученные по результатам диатомового анализа различных объектов, были подвергнуты статистической обработке с помощью методов главных компонент и неметрического многомерного шкалирования в вычислительной среде R (Егорова, Тимовкин, 2018). Для написания программного кода использовались обучающие инструкции, находящиеся в открытом доступе (RPubs [сайт]. URL: <https://rpubs.com/KarolinaSzczena/862710>). Подготовка данных включала в себя

формирование матрицы в формате .csv с указанием точек отбора образцов, долей видов диатомей в образцах (%), местообитания (для диатомей из современных водоёмов) или названия скважины (для ископаемых диатомей). В первую очередь статистической обработке подверглась выборка диатомей из поверхностного слоя донных отложений современных водоёмов. Это было необходимо для выделения наиболее характерных видов диатомей для современных местообитаний с целью дальнейшего применения метода актуализма. Для статистической обработки были выбраны виды, доля которых в образце составляла от 3%. Доля учитывалась без учёта частоты встречаемости вида в образцах. То есть, если вид обнаружен только в одном образце, но его доля составила 3%, то он учитывался в анализе. По результатам PCA и NMDS построены графики факторных нагрузок с ординацией исследованных образцов в осях значимых главных компонент (см. гл. 4). Далее с помощью данных методов была также изучена совокупная выборка, включающая современные и ископаемые диатомовые ассоциации, построены идентичные графики ординации образцов для выявления схожести таксономического состава ассоциаций и уточнения палеореконструкций. Для упрощения визуализации на графиках факторных нагрузок по результатам PCA и NMDS при совместном анализе современных и ископаемых диатомей выбраны те виды, доля которых в образце составляла от 5%.

*Статистические методы в геохимическом анализе.* Интенсивности элементов, полученные с помощью XRF, не всегда напрямую отражают соотношения этих элементов в образце. Для минимизации искажений соотношения элементов за счёт влияния физических свойств осадка, экстремальных значений и матричного эффекта к результатам измерений применено логарифмическое нормирование (Bertrand et al., 2024). Для этого использован .xls файл из Приложения А веб-версии статьи (ScienceDirect [сайт]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825223003288>). В данном файле содержатся примеры «сырых» данных измерений, формулы для пересчёта и результаты логарифмического нормирования. При отборе данных для проведения логарифмического нормирования авторы рекомендуют исключать нулевые значения измерений или указывать вместо них половину предела обнаружения прибора. Таким образом, к результатам измерений образцов из скважин скв. Рыбачья, С1 и Роу-2016, полученных с использованием энерго-дисперсионного анализатора Olympus Delta Professional (EDXRF), применено логарифмическое нормирование. Оно проводилось для наиболее представительных элементов, содержание которых выше предела обнаружения прибора по всему разрезу. При относительно небольшом количестве нулевых значений элемента по разрезу нули заменялись на число, равное половине предела обнаружения, указанному в технической

документации для анода Ag (Промышленное оборудование и приборы для разрушающего и неразрушающего контроля в России и странах СНГ [сайт]. URL:

[https://pvp-snk.ru/brosh/products/professional/DELTA\\_Professional\\_Geohim.pdf](https://pvp-snk.ru/brosh/products/professional/DELTA_Professional_Geohim.pdf)). В случае, если предел обнаружения элемента представлен в виде численного интервала, в качестве предела обнаружения принималось среднее значение границ интервала.

Для анализа и визуализации статистических данных по геохимии построены матрица корреляции (коэффициенты корреляции Пирсона) и «тепловая карта» с кластеризацией методом полной связи (complete-linkage clustering). Корреляционные диаграммы построены для наиболее значимых элементов в программной среде R, инструкция с программным кодом находится в открытом доступе (CRAN [сайт] <https://cran.r-project.org/>). «Тепловая карта» построена с помощью онлайн-сервиса SRplot (SRplot [сайт]. URL: <http://113.44.3.163/srplot>). В её основе – метод обнаружения выбросов (ODT), (Misra et al., 2020). Цветом показана величина Z-оценки для каждого образца по тому или иному элементу (см. гл. 4). Z-оценка (z-score, также называемая стандартной оценкой) дает представление о том, насколько далеко от среднего значения величина в точке массива данных. Для расчета z-оценки, помимо непосредственно значения для каждого отдельного образца, используется среднее значение совокупности и стандартное отклонение совокупности. Знак z-оценки показывает, в какую половину распределения попадает показатель: положительный знак (или отсутствие знака) указывает, что показатель выше среднего и находится в правой части распределения, отрицательный знак означает, что оценка ниже среднего значения и находится в левой части распределения. Величина числа в единицах стандартных отклонений показывает, насколько далеко оценка находится от центра или среднего значения. Чем менее насыщенный оттенок по шкале и ближе к нулю значение z-оценки, тем ближе значение к среднему по выборке.

*Для иллюстрации изменений уровня Каспия вблизи дельты Волги за последние десятилетия в главе 2 использованы данные дистанционного зондирования. По ним можно проследить изменения уровня моря вдоль южной границы дельты Волги, начиная с 1975 года (космические снимки Landsat-2 с разрешением 60 м/пикс, Landsat-5,8 и 9 с разрешением 30 м/пикс; Геологическая служба США [сайт]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>). Для этой цели, с опорой на литературные данные, автором выбраны снимки следующих лет: 1975 (год с минимальным стоянием уровня Каспия за временной промежуток с 1900 г. и абсолютной высотой уровня моря -29 м); 1984 (подъём уровня моря примерно до -28 м); 1995 (резкий подъём уровня Каспия до отметок -26 м и самый высокий уровень, начиная с 1930-х гг.); 2000 (резкое падение уровня моря до -28 м); 2020 и 2024 (снижение уровня приблизительно до современных значений -29 м). С целью*



разграничения влияния речных и морских вод на затопление дельты, уровень моря определялся в меженный период (июнь-август). Возможность выбора одних и тех же временных срезов разных лет ограничена датами съёмки спутников и состоянием атмосферы. Для анализа выбраны снимки без облаков. Из данных Landsat-5 и 8 синтезированы изображения с набором каналов: красный, зелёный, синий и ближний инфракрасный, из данных Landsat-2 – с набором каналов: ближний инфракрасный, красный, зелёный. Водная поверхность выделена последовательно на каждом из снимков с помощью алгоритма классификации randomForest в вычислительной среде R, программный код которого размещён в открытом доступе (GitHub [сайт]. URL: <https://gist.github.com/franzalex/a95e227cab9b146a6092>). Для этого с были созданы векторы с набором эталонов в виде полигонов, равномерно покрывающих снимок, с двумя классами объектов: «вода» и «остальное». Классы объектов определялись с помощью визуального дешифрирования. Результатом классификации являлся растр с двумя значениями пикселей: 1 – соответствующие водной поверхности, 2 – соответствующие остальным типам земной поверхности. В программе ArcMap 10.6 проведена постобработка: фильтрация растровых данных, перевод из растрового формата в векторный, удаление значений вектора, соответствующих классу «остальное», удаление мелких по площади полигонов. Итоговый результат – границы водной поверхности в пределах снимков. Контуры проток на территории дельты удалялись при визуальном дешифрировании. Таким образом, были получены векторные слои водной поверхности Северного Каспия в районе границы с дельтой Волги на каждую из указанных дат. Для простоты визуального сравнения местоположений береговой линии Каспия данные векторы водной поверхности моря были наложены на композит снимков Sentinel-2 от 30 августа 2024 г. (разрешение 10 м/пикс.; Сервис Copernicus Open Access Hub [сайт]. URL: <https://scihub.copernicus.eu/>). Также были выбраны два наиболее показательных участка дельты для детального рассмотрения изменений: 1 - западный (в створе о. Чистая Банка), 2 – восточный. На каждую дату приводятся несколько иллюстраций: мелкомасштабное для отображения всей дельты и более крупномасштабные с изображением двух указанных участков.

## Глава 4. Палеогеографические условия развития изученных участков дельты Волги и предельтового пространства в голоцене

### 4.1. Динамика морского края дельты по данным дистанционного зондирования

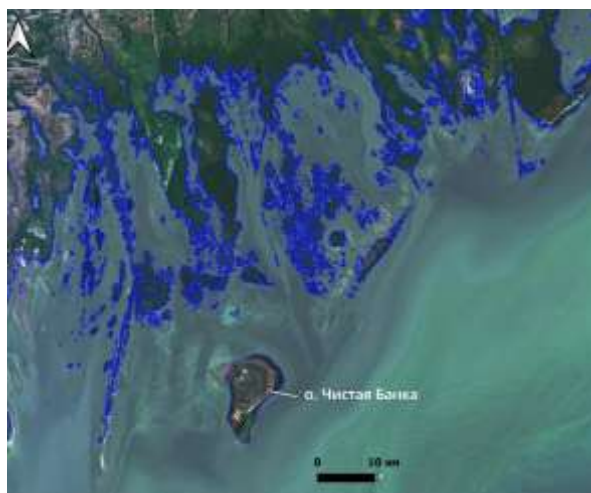
В этом разделе на основе данных дистанционного зондирования представлена динамика морского края дельты Волги в связи с изменениями уровня Каспия за следующие годы: 1975, 1984, 1995, 2000, 2024 (см. Рисунок 23 в п. 2.2).

По современному состоянию, уровень Каспийского моря составляет -29,35 м. На схеме положения морского края дельты от 06.06.1975 (за два года до минимального уровня в XX в. – -29 м) видны заметные различия в конфигурации некоторых объектов относительно современной ситуации, несмотря на сравнимое положение береговой линии Каспия (Рисунок 32).



Так, о. Чистая Банка имеет несколько иные очертания в 1975 г. и чуть меньшую площадь по сравнению с данными за 2024 г. – 90,9 км<sup>2</sup> и 102,2 км<sup>2</sup> соответственно (см. далее). Также на тот момент были затоплены некоторые острова вдоль западной границы дельты (Рисунок 33), чего не происходит в настоящее время. На восточном участке уровень затопления островов у морского края дельты также не совсем совпадает с современным (Рисунок 33). По данным Г.И. Рычагова с соавторами (2010) в период 1927-1977 г. в связи с падением уровня моря дельта претерпела ряд антропогенных изменений – были проведены дноуглубительные работы, построены рыбоходные каналы. Это вызвало перераспределение стока и отмирание мелких проток. Авторами отмечается прирост площади дельты с 5,8 до 8,4 тыс. км<sup>2</sup> (включая морские осушенные острова), согласно более

а)



Границы водной поверхности моря

б)

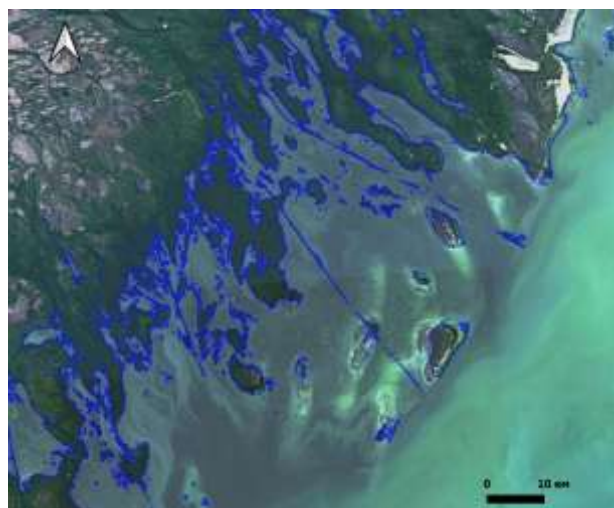


Рисунок 33. Положение морского края дельты от 06 июня 1975 г. относительно современной конфигурации на участках: а – западном, б – восточном.

поздним оценкам площадь дельты достигала 8,5 тыс. км<sup>2</sup> (Атлас..., 2015). По нашим данным удалось получить картину конфигурации морского края дельты на конец указанного периода.

Последующий подъём уровня моря примерно до -28 м в 1984 г. отразился, в первую очередь, на подтоплении осушенных территорий шельфа на границе с северо-восточным сектором дельты и некоторых аккумулятивных тел к северо-востоку от о. Чистая Банка (Рисунок 34, Рисунок 35).



Границы водной поверхности моря

Рисунок 34. Положение морского края дельты от 10 июля 1984 г. относительно современной конфигурации дельты на снимке Sentinel-2 от 30 августа 2024 г.

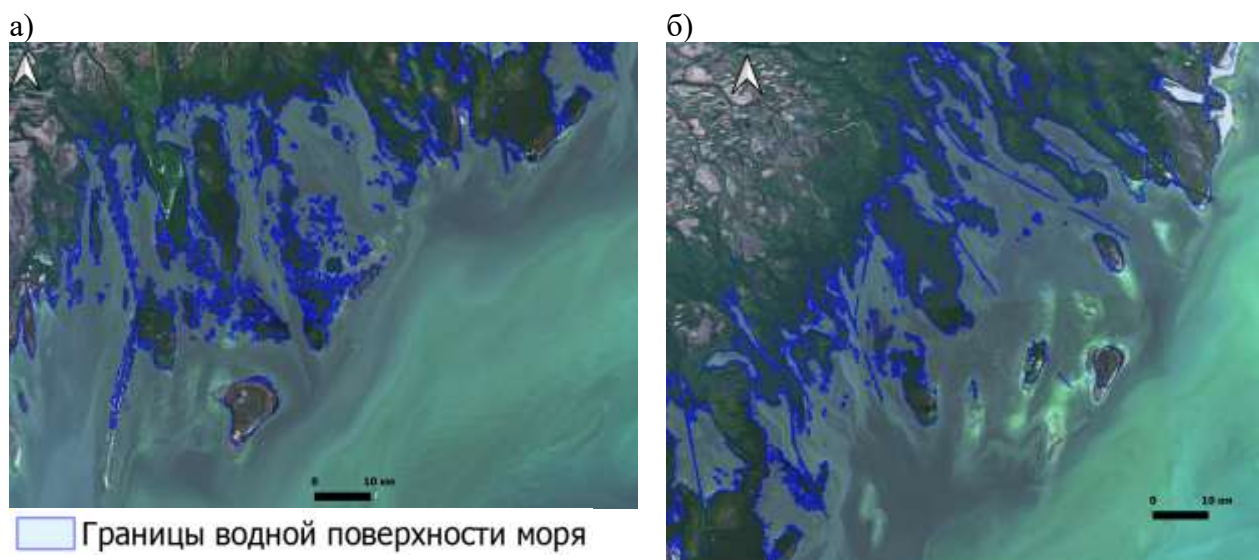


Рисунок 35. Положение морского края дельты от 10 июля 1984 г. относительно современной конфигурации на участках: а – западном, б – восточном.

Следует отметить, что во время отступления Северного Каспия на осушенных участках островов шельфа появляются заросли тростниковой растительности, которые предотвращают размыв при последующих повышении уровня моря. Примером может служить о. Чистая Банка. По сравнению с ситуацией на снимке от 6 июня 1975 г. (Рисунок 33), подтоплению подверглась только южная часть острова, не занятая зарослями по контуру. Это привело к сокращению площади острова примерно на 20 км<sup>2</sup>. Вероятно, образовавшаяся за время низкого стояния Каспия растительность препятствовала размыву и подтоплению острова в течение некоторого времени.

Последующий подъём уровня моря до отметок -26,7 м продолжался до 1996 г. Как было ранее отмечено, подъём уровня моря в пределах -27,0-27,5 м не влечёт за собой существенных морфологических изменений, ввиду образования аккумулятивных тел у края дельты и большего её уклона относительно шельфа (Михайлов, Исупова, 2014). Несмотря на то, что подъём уровня моря на 1 м превышал указанные значения, на основе комплексного анализа гидрометеорологических и картографических материалов авторами был сделан вывод, что подпор со стороны Каспия довольно слабо повлиял на изменение уровня воды в водотоках дельты и с некоторым запозданием во времени распространился на сравнительно небольшое расстояние (40-80 км от морского края дельты). На снимке от 10 августа 1995 г. на западном участке дельты действительно наблюдается подтопление аккумулятивных тел к северо-востоку от о. Чистая Банка и зарослей тростника, что существенно не изменяет конфигурацию дельты (Рисунок 36; Рисунок 37).



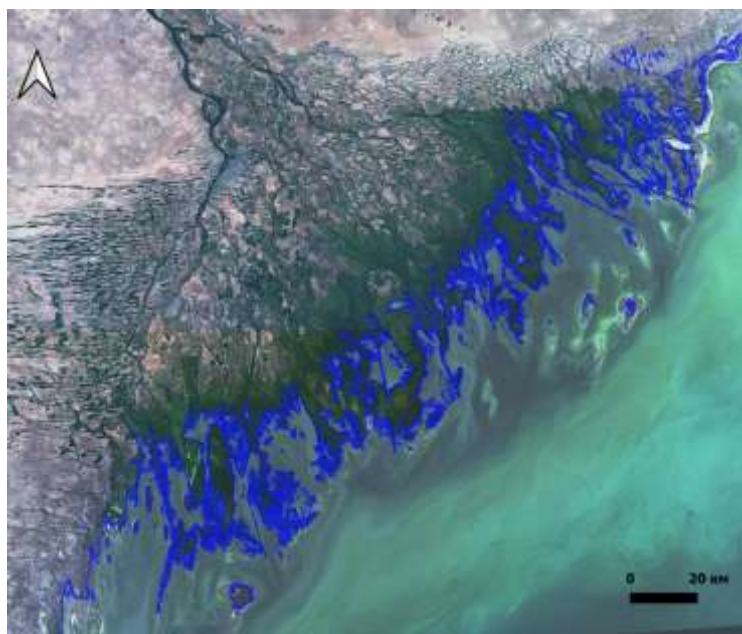
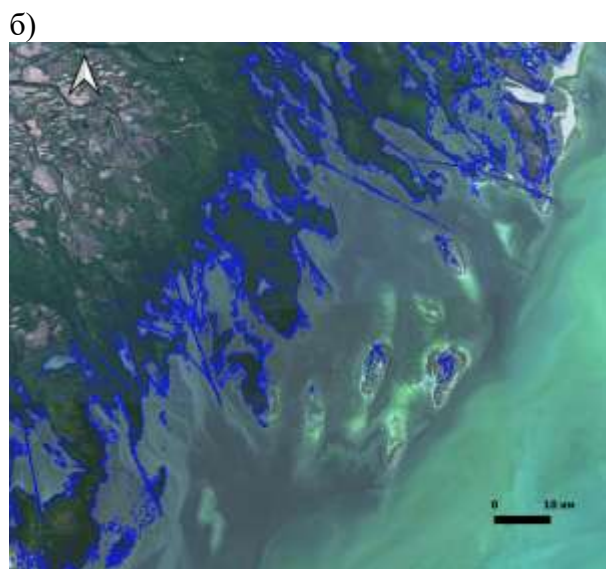
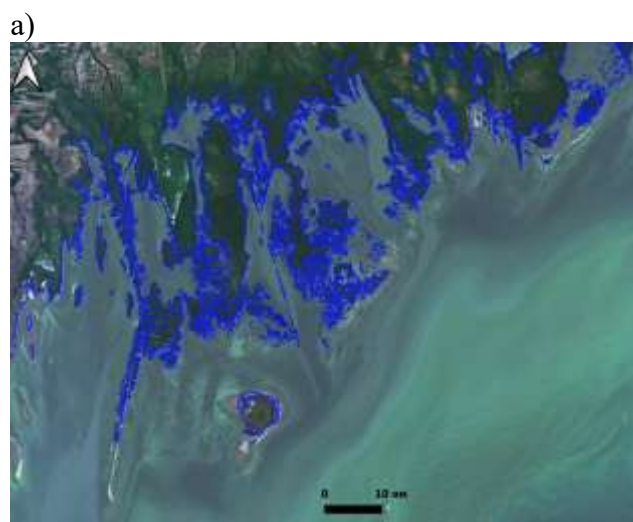


Рисунок 36. Положение морского края дельты от 10 августа 1995 г. относительно современной конфигурации дельты на снимке Sentinel-2 от 30 августа 2024 г.

Границы водной поверхности моря

Однако на восточном участке отмечаются значительные изменения – почти полное затопление шести крупных островов у морского края дельты и прирост площади култуков приблизительно на 405,4 км<sup>2</sup> относительно предыдущей даты – 10 июля 1984 г. (Рисунок 37).



Границы водной поверхности моря

Рисунок 37. Положение морского края дельты от 10 августа 1995 г. относительно современной конфигурации на участках: а – западном, б – восточном.

В первую очередь это отражается на повышении влажности почв на территории и распространении высшей водной растительности.

К 2000 году уровень Каспия снова повысился примерно до -27 м и находился в пределах допустимых значений для относительно стабильного положения морского края дельты (Рисунок 38).

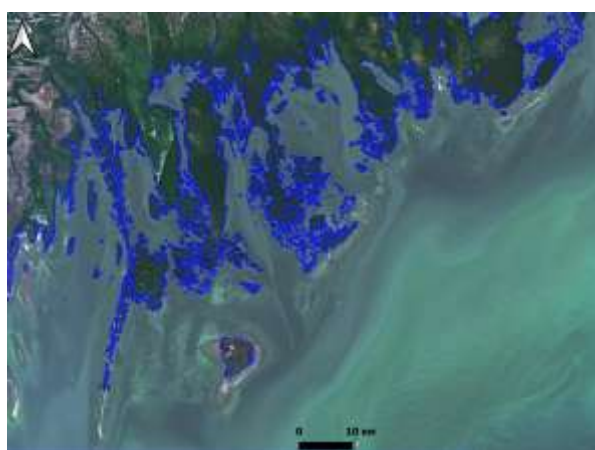


Рисунок 38. Положение морского края дельты от 7 августа 2000 г. относительно современной конфигурации дельты на снимке Sentinel-2 от 30 августа 2024 г.

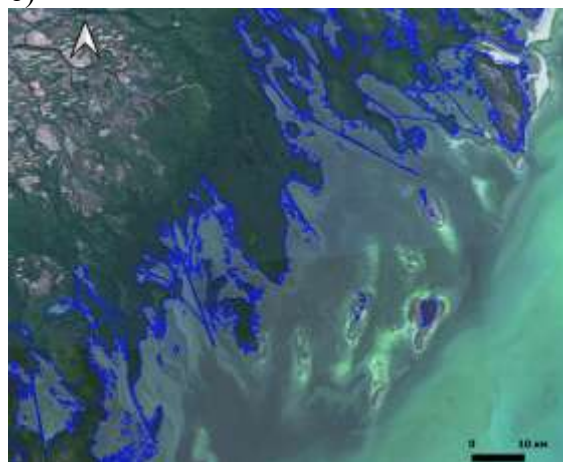
Границы водной поверхности моря

На западном участке не отмечается существенных изменений конфигурации объектов, на восточном – немного увеличивается площадь одного из шести крупных аккумулятивных тел (осушенных островов) с 2,5 до 9,5 км<sup>2</sup>, существенно сокращается площадь култуков в северо-восточной части участка – до 225,8 км<sup>2</sup> (Рисунок 39).

а)



б)



Границы водной поверхности моря

Рисунок 39. Положение морского края дельты от 7 августа 2000 г. относительно современной конфигурации на участках: а – западном, б – восточном.

К 2020 году произошло постепенное снижение уровня моря до -28,2 м (КаспМНИЦ [сайт]. URL: <http://www.caspianmonitoring.ru/>), которое однако несущественно отразилось



на изменении положения морского края дельты. Ранее затопленные участки распространения высшей водной растительности к северо-востоку от о. Чистая Банка на западном участке вновь оказались заросшими. В целом на осушенных участках наблюдаются более плотные заросли тростника, по сравнению с 2000 годом (Рисунок 40, Рисунок 41).

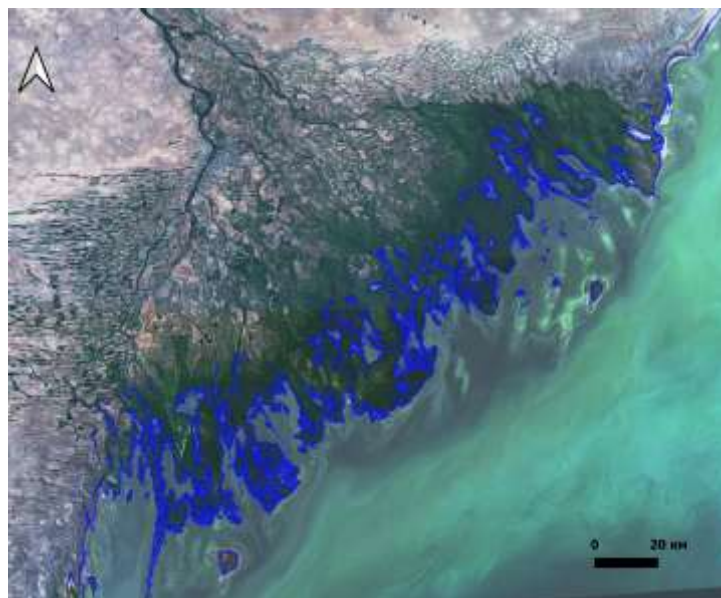


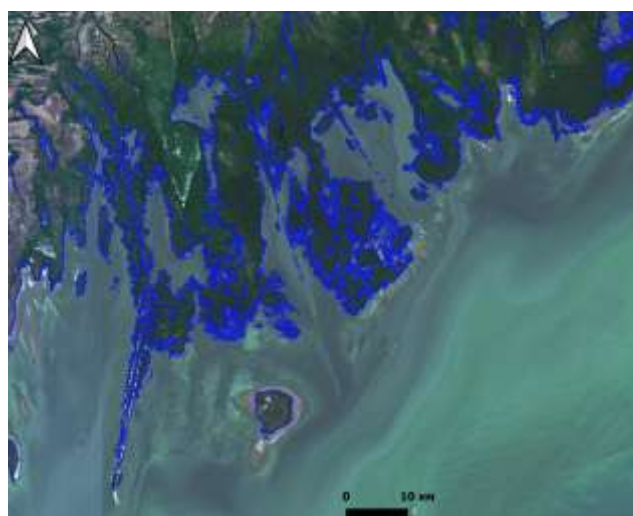
Рисунок 40. Положение морского края дельты от 31 августа 2020 г. относительно современной конфигурации дельты на снимке Sentinel-2 от 30 августа 2024 г.

Границы водной поверхности моря

Тенденция активного разрастания тростника в период 1998-2010 гг. отмечается И.А. Лабутиной (Атлас..., 2015). Автором также выявлены участки восстановления зарослей, которые были ранее разрушены во время подъёма уровня моря. По нашим данным, эта тенденция продолжается и до 2020 г. Площадь самого о. Чистая Банка существенно не

а)

б)



Границы водной поверхности моря

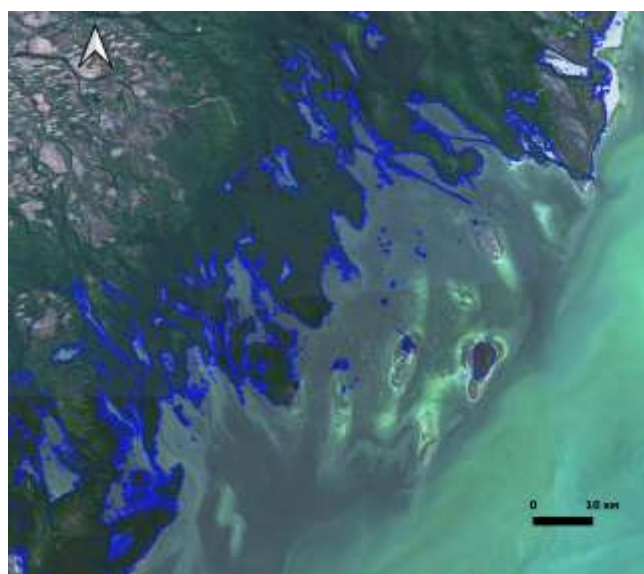


Рисунок 41. Положение морского края дельты от 31 августа 2020 г. относительно современной конфигурации на участках: а – западном, б – восточном.

изменилась по сравнению с 2000 г. и составляет 32-33 км<sup>2</sup>. На восточном участке дельты изменения касаются в основном активно пересыхающих култуков в его северо-восточном секторе, частично превратившихся в ильмени. Их площадь сократилась примерно в 5 раз (до 42,9 км<sup>2</sup>) по сравнению с 2000 г., вероятно, за счёт изоляции култуков и интенсивного испарения. При этом рост аккумулятивных тел у морского края дельты незначительный: площадь наиболее крупного острова увеличилась с 10 до 14 км<sup>2</sup>, надводная площадь более мелких форм осталась практически без изменений.

К 2025 г. на фоне продолжающегося снижения уровня Каспия абсолютная высота его береговой линии достигла отметок -29,3 м – ниже минимального уровня в XX в. По состоянию на 17 августа 2024 г. у морского края дельты выявлены существенные изменения (Рисунок 42, Рисунок 43).



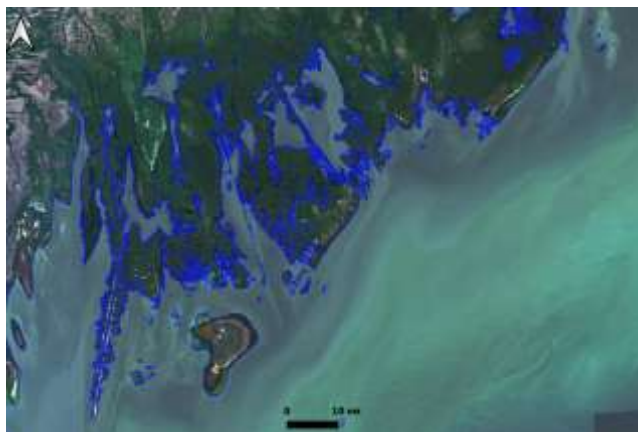
Границы водной поверхности моря

Рисунок 42. Положение морского края дельты от 17 августа 2024 г. относительно современной конфигурации дельты на снимке Sentinel-2 от 30 августа 2024 г.

На западном участке площадь о. Чистая Банка резко увеличилась в 3 раза, приблизительно до 102,2 км<sup>2</sup>. Чётко прослеживается граница между осушенной частью, свободной от растительности, и зарослями тростника в центре острова, маркирующими предыдущий длительный этап относительно стабильного положения уровня моря. Наблюдаются линейные аккумулятивные тела к северо-западу от острова, которые ранее прослеживались на снимке от 1975 г. По состоянию на 17 августа 2024 г. данные формы присоединены к тростниковым зарослям в надводной части дельты, разросшимся в период до 2020 г. Вероятнее всего, это произошло за счёт разного темпа снижения уровня моря: постепенное снижение способствовало разрастанию высшей водной растительности



а)



Границы водной поверхности моря

б)

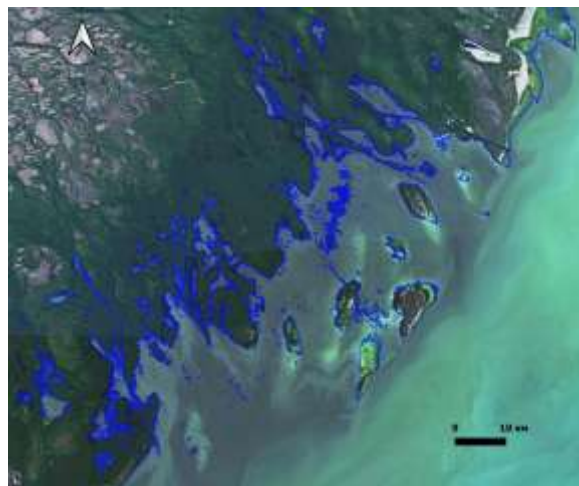


Рисунок 43. Положение морского края дельты от 17 августа 2024 г. относительно современной конфигурации на участках: а – западном, б – восточном.

на затопленных аккумулятивных телах и стабилизации их положения, быстрое снижение – к приращению осушенной части морского края дельты.

Таким образом, повторное снижение уровня моря с 1996 года до отметок, близких к значениям 1975 г. (-29,3 м) вначале привело к постепенному росту дельты за счёт тростниковых зарослей, к которым впоследствии присоединились осушенные участки аккумулятивных тел в пределах морского края дельты. В связи с этим, к 2024 г. вблизи крупного участка зарослей тростника к северо-востоку от о. Чистая Банка площадь надводной части дельты увеличилась на 66 км<sup>2</sup> по сравнению с 1975 г., несмотря на незначительную разницу в положении уровня моря в эти годы. На поверхности присоединённого аккумулятивного тела наблюдаются эрозионные формы – русла мелких протоков.

На восточном участке в северо-восточном секторе выявлено практически полное высыхание ильменя площадью 15 км<sup>2</sup>, изолировавшегося к 2020 г. На осушенной поверхности понижения наблюдаются белёсые участки поверхности, предположительно, связанные засолением почв, которое вызвано интенсивным испарением. На устьевом взморье также видны значительные изменения: появляются шесть островов, пять из которых были почти полностью затоплены в период с 1995 по 2020 г. В 1975 г. данные аккумулятивные тела только начинали формироваться, надводная часть трёх из них не была густо покрыта высшей водной растительностью. В настоящее время растительность не наблюдается только на одном острове, который расположен южнее остальных и появился в недавнее время. Таким образом, активный прирост аккумулятивных форм на восточном участке также связан с длительным развитием тростниковых зарослей на фоне

постепенного снижения уровня моря, которые способствовали закреплению аккумулятивных тел. Как правило, высота тростника составляет до нескольких метров. Поэтому при резком снижении уровня моря в дальнейшем обнажается довольно существенная площадь задернованной поверхности, помимо осушенных участков собственно аккумулятивных тел.

По результатам исследований изменений дельты за период 1869-2010 гг., выполненных И.А. Лабутиной, скорость прироста площади тростника на взморье составляет 50–100 км<sup>2</sup> в год при относительно стабильном уровне моря (Атлас..., 2015, с.116-124). Оптимальная глубина для развития тростниковых зарослей – не более 2 м. Подъём уровня моря приводит к разрушению зарослей, которые, однако, впоследствии могут восстанавливаться, ввиду закрепления приповерхностной корневой системой аккумулятивных тел затапливаемых участков. По мнению И.А. Лабутиной, резкое снижение уровня моря приводит к быстрому росту дельты, в то время как при подъёме уровня моря сокращение площади дельты происходит с некоторым запозданием, ввиду необходимости разрушения тростниковых зарослей, что может продлиться до нескольких лет. Эти выводы подтверждаются результатами анализа данных дистанционного зондирования, выполненного соискателем.

#### **4.2. Видовой состав сообществ диатомовых водорослей поверхностного слоя донных отложений современных водоёмов дельты Волги<sup>4</sup>**

На территории Дамчикского участка Астраханского заповедника проведён отбор образцов поверхностного слоя донных отложений из семи водных объектов (см. Рисунок 25). Гидрологические характеристики водных объектов, измеренные при отборе проб в 2018 г., литологический состав осадка и координаты точек отбора представлены в таблице 2. Крупномасштабные схемы местоположения точек отбора и подробное описание изученных объектов представлены ниже вместе с результатами диатомового анализа.

---

<sup>4</sup> При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично и в соавторстве, в которых, согласно положению о присуждении учёных степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

**Лысенко Е.И.** Диатомовые ассоциации в поверхностных осадках дельты Волги и их значение для палеореконструкций // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2025а. Т. 80. № 3. С. 147-162.

**Лысенко Е.И.** Структура ассоциаций диатомовых водорослей поверхностного слоя донных отложений современных водотоков дельты Волги // Аридные экосистемы. 2025б. Т. 31. № 3. С. 172-182.

Полякова Е.И., **Штыркова (Лысенко) Е.И.** Развитие альгофлоры. // Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена. Научные достижения Школы академика К.К. Маркова. (Под ред. Т.А. Яниной, Н.С. Болиховской, Е.И. Поляковой, Т.С. Кловиткиной, Р.Н. Курбанова). М.: Географический факультет МГУ, 2020. С. 448-476.

Полякова Е.И., **Штыркова (Лысенко) Е.И.** Развитие альгофлоры. // Дельта Волги. Эволюция природной среды в условиях изменений климата. (Под ред. Т.А. Яниной). М.: Географический факультет МГУ, ООО «Красногорская типография» Москва, 2019. С. 39-58.

Результаты диатомового анализа. Всего в образцах определено 155 таксонов диатомовых водорослей. На пузырьковой диаграмме представлены виды, на которые приходится от 1% численности створок в образце (Рисунок 44).

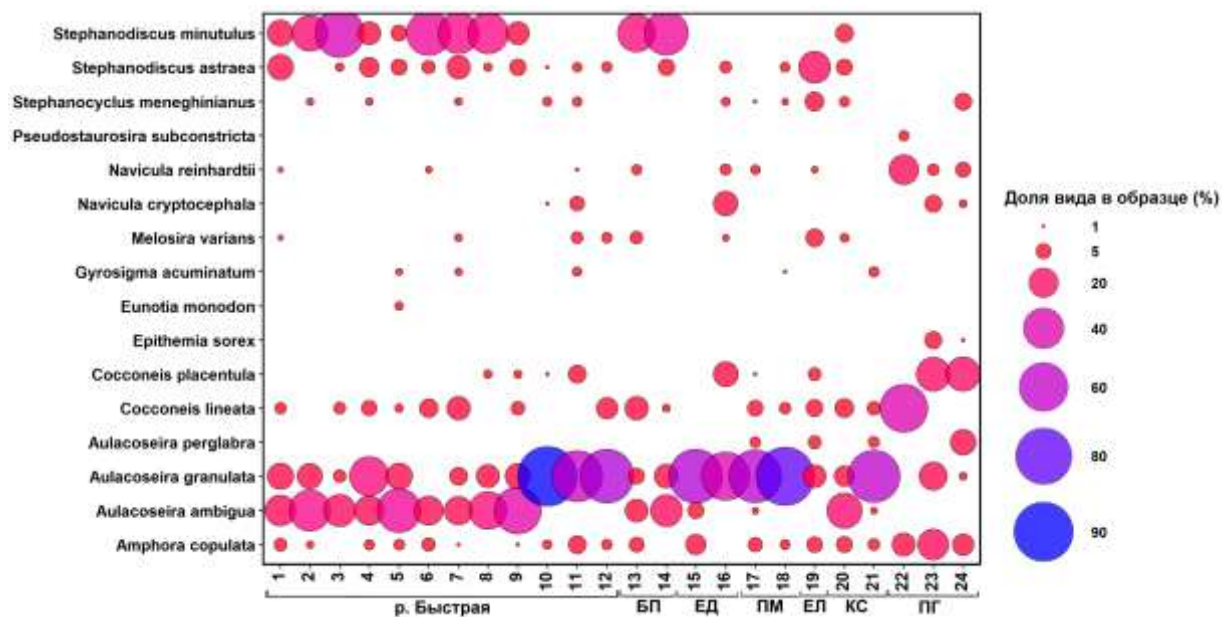


Рисунок 44. Пузырьковая диаграмма, на которой изображено распределение видов в образцах поверхностного слоя донных отложений из современных водоёмов и водотоков дельты Волги. Диаметр и цвет круга соответствуют определённому процентному содержанию вида. Буквенными индексами обозначены изученные объекты: БП – безымянная протока (рукав р. Быстрая), ЕД – ер. Дубной, ПМ – пр. Мартышка, ЕЛ – ер. Лотосный, КС – култук Сазаний, ПГ – пр. Грязнуха (Лысенко, 2025б).

В изученных водных объектах массово встречаются планктонные виды, характерные для р. Волга: *Aulacoseira granulata*, *Aulacoseira ambigua*, *Stephanodiscus minutulus*. Доля планктонных видов в среднем по всем объектам, кроме протоки Грязнуха, составляет 79%, что может объясняться массовым осаждением клеток планктонных диатомей. Протока Грязнуха отличается крайне низкой долей планктона (1-23%) и преобладанием видов-обрастателей рода *Cocconeis*: *C. placentula*, *C. pediculus*, которые также выявлены в низовьях Волги (Фитопланктон..., 2003; Бухарицин, Лабунская, 2023). Среди сопутствующих видов наиболее массовыми и часто встречающимися являются: *Stephanodiscus astraea*, *Stephanocyclus meneghinianus*, характерные для волжских вод. Рядом авторов вид *Amphora ovalis* выявлен как сопутствующий в низовьях Волги и некоторых волжских водохранилищах (Генкал, 1992; Бухарицин, Лабунская, 2023). В данной работе схожий по морфологии створок сопутствующий вид, также часто встречающийся в изученных образцах, определён как *Amphora copulata*. Он относится к бентосным видам, но также встречается в обрастаниях.

Таблица 2. Перечень изученных образцов и гидрологические характеристики, измеренные при отборе проб в 2018 г.

№ образца	Место отбора образца	Расстояние от устья, км	Глубина отбора, м	pH	Электропроводность, $\mu\text{S}/\text{cm}$	Температура воды, $^{\circ}\text{C}$	Литологический состав осадка	Координаты точек отбора
1	р. Быстрая (прав. бер.)	11,57	0,9	8,26	292,6	19,1	Мелкозернистый песок	45°47'8,740" с.ш., 47°52'59,340" в.д.
2	р. Быстрая (стрезень)		4,9	8,17	298	19,9		45°47'8,268" с.ш., 47°53'00,780" в.д.
3	р. Быстрая (лев. бер.)		1	8,22	298	19,9		45°47'7,268" с.ш., 47°53'2,230" в.д.
4	р. Быстрая (стрезень)	2,71	2,7	8,17	299	19,9	Мелкозернистый песок	45°42'50,832" с.ш., 47°52'37,200" в.д.
5	р. Быстрая (лев. бер.)	0,27	1,2	7,93	299	19,8	Алеврит с примесью мелкозернистого песка и растительными остатками	45°41'41,748" с.ш., 47°51'57,636" в.д.
6	р. Быстрая (прав. бер.)	4,1	1,3	8,14	298,4	19,8	Мелкозернистый песок с примесью алеврита	45°43'29,712" с.ш., 47°52'33,852" в.д.
7	р. Быстрая (стрезень)	0,17	2,2	7,97	306,9	19,2	Алеврит с примесью мелкозернистого песка и растительными остатками	45°41'38,868" с.ш., 47°51'55,008" в.д.
8	р. Быстрая (прав. бер.)		1	8,34	298,3	20,1		45°41'39,010" с.ш., 47°51'54,530" в.д.
9	р. Быстрая (лев. бер.)		1	8,22	301,4	20,1		45°41'38,780" с.ш., 47°51'55,360" в.д.
10	р. Быстрая (стрезень)	17,8	-	8,14	301	20,1	Алеврит с примесью мелкозернистого песка, целыми раковинами моллюсков и мелким детритом раковин	45°50'20,148" с.ш., 47°53'43,872" в.д.
11	р. Быстрая (прав. бер.)	8,24	-	8,48	304,1	20,3	Мелкозернистый песок с примесью алеврита, целыми раковинами	45°45'36,900" с.ш., 47°52'40,764" в.д.

							моллюсков и мелким детритом раковин	
12	р. Быстрая (лев. бер.)	4,66	-	8,09	301,2	20,1	Алеврит	45°43'54,336" с.ш., 47°52'36,480" в.д.
13	безымянная протока (рукав р. Быстрая; лев. бер.)	-	0,5	8,65	294,6	18,8	Алеврит с мелким раковинным детритом	45°42'7,200" с.ш., 47°52'22,260" в.д.
14	безымянная протока (стрезень)	-	2	8,00	302,5	20,1		45°42'7,280" с.ш., 47°52'21,990" в.д.
15	ер. Дубной	-	3,9	-	-	-	Мелкозернистый песок с примесью алеврита	45°43'36,516" с.ш., 47°54'3,636" в.д.
16	ер. Дубной (устьевая часть)	-	-	-	-	-	Алеврит с редким детритом раковин	45°42'7,956" с.ш., 47°55'2,388" в.д.
17	пр. Мартышка (прав. бер.)	-	-	-	-	-	Алеврит с растительными остатками	45°42'1,368" с.ш., 47°53'53,592" в.д.
18	пр. Мартышка (рукав ер. Дубного; стрезень)	-	-	-	-	-	Алеврит с растительными остатками и детритом раковин	45°42'2,592" с.ш., 47°53'57,084" в.д.
19	ерик Лотосный	-	-	-	-	-	Алеврит с примесью мелкозернистого песка	45°45'55,224" с.ш., 47°52'26,184" в.д.
20	култук Сазаний	0,04	1,6	-	-	-	Алеврит	45°42'29,448" с.ш., 47°52'9,048" в.д.
21	култук Сазаний	0,14	-	-	-	-	Алеврит	45°42'32,760" с.ш., 47°52'10,632" в.д.
22	протока Грязнуха	13,22	0,9	-	-	-	Мелкозернистый песок с мелким детритом раковин	45°38'25,872" с.ш., 47°54'17,604" в.д.
23	протока Грязнуха	13,48	-	-	-	-		45°39'46,656" с.ш., 47°53'56,580" в.д.
24	протока Грязнуха	0,42	-	-	-	-	Алеврит	45°31'30,180" с.ш., 47°55'15,816" в.д.

По сравнению с литературными данными, вид *Skeletonema subsalsum*, характерный для Северного Каспия, не был выявлен. Другой планктонный вид *Actinocyclus normanii*, также распространившийся из Каспия и ранее имевший широкое развитие в волжских водохранилищах и Нижней Волге, встречается в виде единичных створок в р. Быстрая и протоке Грязнуха. В единичных экземплярах в р. Быстрая выявлены створки морского вида *Thalassiosira eccentrica*, характерного для Каспийского моря, что свидетельствует о проникновении каспийских вод по рукавам дельты Волги.

По отношению к рН среды в изученных образцах количественно преобладают виды-индифференты, однако их видовое разнообразие невелико: из 23 таксонов с численностью от 1% только 3 относятся к индифферентам. Средняя и максимальная численность наиболее массовых видов-индифферентов в образцах: *A. granulata* – 32% и 91%, *Navicula reinhardtii* – 2% и 20%. Также в составе изученных диатомовых комплексов довольно высокая доля алкалифильных видов. Среди них наиболее массовые – *Stephanodiscus minutulus* (средняя численность 15%, максимальная – 58%) и *Aulacoseira ambigua* (15% и 54% соответственно). Менее обильные – *Cocconeis lineata* (6% и 57%) и *Amphora copulata* (4% и 22%). Алкалифилы обладают более широким видовым разнообразием (16 из 23 видов с численностью от 1%). Выявлен один алкалибионтный вид *Stephanodiscus astraea* (средняя численность 4%, максимальная – 24%). Ацидофилы *Epithemia sorex* и *Aulacoseira perglabra* выявлены точечно в протоке Грязнуха. Повышенная доля алкалифилов и алкалибионтов, развивающихся в слабощелочных и щелочных водах, соответствует значениям рН воды (см. Таблица 2).

*Река Быстрая* – один из рукавов основного русла Волги, главный водоток на территории Дамчикского участка Астраханского заповедника. Является примером крупной протоки на данной территории (Касимов и др., 2016). По литературным данным, для крупных протоков характерна наибольшая скорость течения среди водотоков дельты – 0,5-0,9 м/с в половодье и 0,03-0,5 м/с в межень (Астраханский заповедник..., 1991). Ширина р. Быстрая в пределах исследуемой территории составляет 40-180 м, около 30 м – в устьевой части, глубина 4-8 м. Воды слабощелочные – измеренные показатели рН в придонном слое находятся в пределах 7,9-8,5. Измеренная электропроводность в придонном слое изменяется от 292,6 до 306,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Таблица 2). Тип отобранного осадка – русловой аллювий. В наиболее удалённой от устья реки (на 11,6 км) точке отбора осадок представлен мелкозернистым песком, ниже по течению – алевритом с примесью мелкозернистого песка в разных соотношениях (Таблица 2).

В р. Быстрая изучено 12 образцов (№№ 1-12; Рисунок 44). В большей части из них доминируют планктонные виды *Stephanodiscus minutulus* и *Aulacoseira ambigua*, среднее



содержание каждого вида – около 30%. Исключение составляют образцы №№ 10, 11, 12, в которых значительно преобладает планктонный вид *Aulacoseira granulata* (65-90%). Сопутствующие виды в р. Быстрая: планктонные *Stephanodiscus astraea* (в среднем 5%), *Stephanocyclus meneghinianus* (1%) и *Melosira varians* (1%), а также *Amphora copulata* (2%) и *Cocconeis lineata* (4%), встречающиеся как в бентосе, так и в обрастаниях. Доля планктонных видов изменяется от 73 до 96%, бентосных (в том числе – видов-обрастателей) – от 4 до 27%. Сравнение образцов №№ 1-3 и 7-9, отобранных по профилям в районе пос. Дамчик и в приустьевой части р. Быстрая (Рисунок 45, Таблица 2), показало, что образцы внутри профилей обладают схожим видовым составом.



Рисунок 45. Местоположение точек отбора образцов поверхностного слоя донных отложений из р.

Быстрая в пределах Дамчикского участка Астраханского заповедника: а) точки №№ 1-3, отобранные по профилю, б) точки №№ 7-9, отобранные по профилю, и точка № 5 у левого берега.

Отличия заключаются в соотношении планктонных/бентосных видов. В образцах №№ 2, 3 и 7, отобранных с глубин 4,9; 1,0 и 2,2 м соответственно вдоль левого берега (№ 3) и у стрежня протоки (№№ 2 и 7, Рисунок 45), доля планктона превышает 90%. Максимальная доля планктона (96%) в поверхностных пробах из р. Быстрой отмечена в образце №10. Несмотря на отсутствие измерений глубины отбора, местоположение точки № 10 на наибольшем расстоянии от устья р. Быстрая (см. Таблица 2, Рисунок 46) позволяет предположить относительно большую глубину протоки на этом участке, что объясняет столь высокую долю планктона. Образец № 5, отобранный вблизи точек № 7-9 (Рисунок 45), обладает схожим с ними видовым составом: преобладают планктонные виды *Aulacoseira ambigua* (48%), *A. granulata* (16%), среди бентосных и перифитонных видов выявлены *Amphora copulata* (3%) *Cocconeis lineata* (2%), *Gyrosigma acuminatum* и *Eunotia*



*monodon* (по 1%). Суммарная доля планктона составляет 81,4%, глубина отбора сравнительно небольшая – 1,2 м.

Образцы № 11 и 12, отобранные ниже по течению относительно точек № 1-3 (Таблица 2), по видовому составу схожи с образцом № 10: абсолютный доминант – *Aulacoseira granulata* (65% и 75% соответственно), при этом суммарная доля планктона в данных образцах существенно ниже – 75 и 80%. Среди бентосных и перифитонных видов преобладают *Cocconeis placentula* и *Amphora copulata* (до 7%), *Navicula cryptocephala* (до 4%) и *N. reinhardtii* (1%). Вероятно, более высокая доля перифитона и бентоса в образцах № 11 и 12 объясняется положением точек отбора вблизи берегов, где развита высшая водная растительность (Рисунок 46).

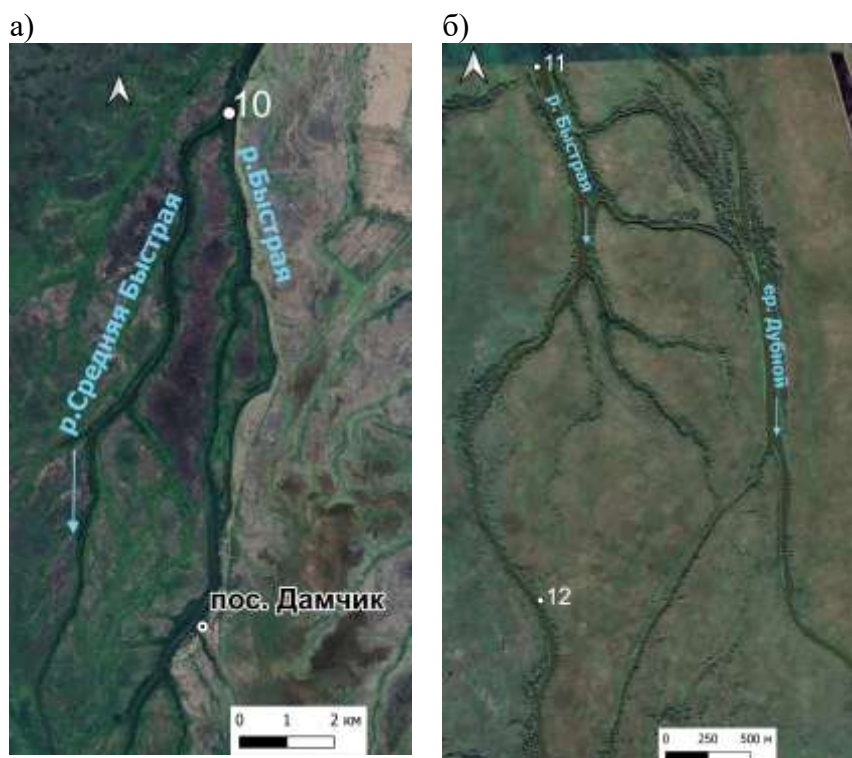


Рисунок 46.  
Местоположение точек отбора образцов поверхностного слоя донных отложений из р. Быстрая в пределах Дамчикского участка Астраханского заповедника: а) точка №10, в 17,8 км от устья р. Быстрая, б) точки №№ 11 и 12, в 8,24 и 4,66 км от устья соответственно.

В образцах № 4 и 6, отобранных ещё ниже по течению (Таблица 2), несмотря на разницу в глубине отбора – 2,7 и 1,3 м соответственно – различия в суммарной доле планктонных видов незначительное (81% и 76% соответственно), тем не менее более высокая доля планктона приурочена к большей глубине отбора. По видовому составу образцы схожи таковыми из точек №№ 1-3 и 7-9: преобладают *Stephanodiscus minutulus* (12-49%), *Aulacoseira ambigua* (по 20%). Планктонный вид *Aulacoseira granulata* отмечен только в образце № 4 (37%), отобранном вблизи стрежня протоки (Рисунок 47).



Рисунок 47. Местоположение точек отбора образцов поверхностного слоя донных отложений №№ 4, 6 из р. Быстрая в пределах Дамчикского участка Астраханского заповедника.

Среди бентосных и перифитонных видов доминируют *Amphora copulata* (5-8%) и *Cocconeis lineata* (2-4%). В образце №6, отобранном у берега, видовое разнообразие бентосных видов несколько выше, хотя их численность невысока. Помимо названных видов также встречаются *Navicula reinhardtii*, *Gomphonella olivacea* (по 1%), *Gomphonema truncatum* и *Cocconeis placentula* (менее 1%).

Ерик Дубной – левый рукав р. Быстрая, отделяющийся в р-не пос. Дамчик. Ширина ерика в пределах исследуемого участка меньше, чем у р. Быстрая, – 20-90 м, глубина до 3,9 м. В среднем скорости течения в ериках составляют 0,79 м/с в половодье и 0,08-0,36 м/с в межень (Касимов и др., 2016, по: Белевич, 1965). Осадок отобран из руслового аллювия, в районе точки № 15 он представлен мелкозернистым песком с примесью алеврита, в устьевой части ерика (точка № 16) – алевритом с редким детритом раковин (Таблица 2). В ер. Дубном изучено два образца (№№ 15,16, Рисунок 48), доминирует вид *Aulacoseira granulata* (в среднем 65%), сопутствующие виды: *Cocconeis placentula* (7%) и *A. ambigua* (3%), *Stephanodiscus astraea* (2%). Суммарная доля планктона – 66-80%, наибольшее содержание приурочено к более широкой части ерика (90 м) с глубиной 3,9 м. В образце № 16 из устьевой части ерика в месте его сужения до 20 м наблюдается снижение численности планктона до 66% и резкое повышение доли бентосного вида *Navicula cryptocephala* (до 13%), что, вероятно, связано с уменьшением глубины водотока и зарастанием приустьевой части высшими водными растениями.



Рисунок 48. Местоположение точек отбора образцов поверхностного слоя донных отложений №№ 15, 16 из ер. Дубной в пределах Дамчикского участка Астраханского заповедника.

*Ерик Лотосный* – правый рукав р. Быстрая, отделяющийся в 3 км южнее пос. Дамчик, ширина – 10 м, глубина до 2,5 м (Литвинова, Ключников, 2023). Тип осадка – русловой аллювий, представлен алевритом с примесью мелкозернистого песка. В ер. Лотосный изучен один образец № 19, отобранный вблизи устьевой части (Рисунок 49), характерен иной преобладающий вид по сравнению с ер. Дубным и в целом доминанты не столь выраженные: планктонные *Stephanodiscus astraea* (24%) и *A. granulata* (11%).



Рисунок 49. Местоположение точки отбора образца поверхностного слоя донных отложений № 19 из ер. Лотосный в пределах Дамчикского участка Астраханского заповедника.

Сопутствующие виды: планктонные *Stephanocyclus meneghinianus* (8%) и *Aulacoseira perglabra* (3%), а также бентосные и перифитонные виды *Cocconeis lineata* (6%), *Amphora copulata* (5%), *Gomphonema truncatum* (4%) и *C. placentula* (3%). Суммарная доля планктона составляет 61%. По соотношению планктонных и бентосных видов состав диатомовых ассоциаций ерика Лотосного приближен к образцу из устьевой части ер.



Дубного. По-видимому, это связано с широким распространением высших водных растений – субстрата для перифитонных видов – ввиду малой ширины ериков на этих участках (10 м – ширина ер. Лotosного, 20 м – ер. Дубного).

*Култук Сазаний* – обособляющийся слабопроточный водоём к западу от р. Быстрая. Длина примерно 2500 м, ширина от 80 до 300 м в наиболее широких участках, глубина култука около точки отбора № 20 составляет 1,6 м (Таблица 2). По данным Н.С. Касимова с соавторами (2016), приводятся несколько меньшие параметры – ширина култука 150-200 м, глубина – примерно 0,9 м. Площадь култука и степень зарастания макрофитами, измеренные по данным дистанционного зондирования, составляют 0,38 км<sup>2</sup> и около 53% соответственно. Согласно литературным данным, на мелководных участках и вдоль окраин култука произрастают тростник и лотос, среди погруженных водных растений встречаются сальвиния и хара. Для култуков в целом характерна низкая скорость течения (Касимов и др., 2016). Отобранный осадок представлен алевритом. В култуке Сазаньем изучено два образца №№ 20, 21 (Рисунок 50).



Рисунок 50. Местоположение точек отбора образцов поверхностного слоя донных отложений №№ 20, 21 из култука Сазаньего в пределах Дамчикского участка Астраханского заповедника.

Доминанты отличаются в зависимости от места отбора. В обр. №20 из отмелой части култука (1,6 м), наиболее близкой к р. Быстрая, преобладает *A. ambigua* (30%), сопутствующие виды идентичны таковым из р. Быстрая (*A. granulata* – 9%, *C. lineata* – 8%, *Amphora copulata* – 5%, *Stephanodiscus minutulus* и *S. astraea* – 7 и 5%, соответственно). Для образца № 21 отсутствуют измерения глубины, однако, судя по местоположению точки, он отобран в более глубокой части култука и отличается резким преобладанием *A. granulata* (68%). Сопутствующие виды: *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* – 6%, *C. lineata* – 4%, *A. copulata* – 3%. Суммарная доля планктона также выше: 79% против 61% в обр. № 20. Наиболее обильные бентосные и перифитонные виды представлены упомянутыми выше

*Amphora copulata* и *Cocconeis lineata*, меньшей численности (до 3 %) достигают *C. pediculus*, *Nitzschia heufleriana* и *Cymbella cistula*, также встречающиеся в р. Быстрой в виде единичных створок. Доля бентоса и эপিфитов, а также видовой состав доминант не обнаруживают существенных отличий от изученных проток. Ожидаемое влияние степени зарастания култука макрофитами (53%) на видовой состав диатомей, вероятно, отражается в большем количестве бентосных и перифитонных таксонов относительно изученных проток, однако для подтверждения данного вывода необходима большая выборка образцов из разных участков водного объекта.

*Протока Мартышка* – узкий рукав ер. Дубного, отделяющийся от ерика в устьевой части. Ширина протоки – 20-25 м, глубина – до 4 м. Тип отобранного осадка – русловой аллювий, представлен алевритом с растительными остатками или с детритом раковин моллюсков. В устьевой части протоки отмечаются заросли тростника.

В протоке Мартышка изучено два образца №№ 17 и 18 (Рисунок 51), в обоих доминирует *A. granulata* (в среднем 85%), сопутствующие виды: *Cocconeis lineata* – 4%, *Amphora copulata* – 3%.



Рисунок 51. Местоположение точек отбора образцов поверхностного слоя донных отложений №№ 17, 18 из пр. Мартышка в пределах Дамчикского участка Астраханского заповедника.

В образце № 18, отобранном вблизи стрежня протоки с предполагаемой большей глубиной водотока на этом участке, наибольшая доля планктона – 92%, у правого берега (обр. № 17) доля планктона составляет 78%.

*Безымянная протока* – узкий рукав р. Быстрой, отделяющийся от неё в устьевой части. Ширина протоки – 20-25 м. Тип отобранного осадка – русловой аллювий, представлен алевритом с мелким детритом раковин моллюсков. В устьевой части протоки также отмечаются заросли тростника. В безымянной протоке изучено два образца №№ 13

и 14 (Рисунок 52), преобладают *Stephanodiscus minutulus* (в среднем 41%) и *A. ambigua* (18%).



Рисунок 52. Местоположение точек отбора образцов поверхностного слоя донных отложений №№ 13, 14 из безымянной протоки вблизи устьевой части р. Быстрая в пределах Дамчикского участка Астраханского заповедника.

Состав и численность сопутствующих видов изменяются в зависимости от местоположения и глубины отбора. У левого берега (глубина 0,5 м) выявлена повышенная доля бентосных видов и обрастателей *C. lineata* (12%), *A. copulata* (5%), *Fragilaria vaucheriae* (4%), наряду с планктонным *A. granulata* (6%). Ближе к стрежню протоки (глубина 2,0 м) среди сопутствующих видов отмечены преимущественно планктонные *A. granulata* (13%) и *Stephanodiscus astraea* (6%). Суммарная доля планктона существенно выше в более глубокой части протоки (у стрежня) – 92%, по сравнению с образцом у левого берега (56%).

*Протока Грязнуха* отличается большой шириной и мелководностью. Длина – около 18 км, ширина в южной части 1-1,5 км, в северной расширенной части – до 7 км, глубина протоки около 1 м (по данным Н.С. Касимова с соавторами – 1,3-1,5 м). Воды слабощелочные в северной части (7,7-8,5), щелочные – в южной (8,8; Касимов и др., 2016). Отобранный осадок в северной расширенной части протоки представлен мелкозернистым песком с мелким детритом раковин моллюсков. Осаждение песчаных частиц приурочено к устьевым частям многочисленных протоков, впадающих в пр. Грязнуху. При продвижении на юг, по мере удаления от устьев мелких протоков, диаметр осаждающихся частиц уменьшается. Так, образец, отобранный в 13 км южнее точки № 15, представлен алевритом. Данное пространственное распределение частиц соотносится с исследованиями

гранулометрического состава осадков в этом районе дельты Волги (Касимов и др., 2016). Протоку Грязнуха окаймляют заросли тростника, которые также встречаются в виде обособленных скоплений в самой протоке. Согласно карте растительности устьевого взморья Дамчикского участка Астраханского заповедника (Лабутина и др., 1999), наибольшую площадь в протоке занимают подводные луга из рдестов, роголистника и валлиснерии. В протоке Грязнуха изучено три образца №№ 22-24 (Рисунок 53).



Рисунок 53. Местоположение точек отбора образцов поверхностного слоя донных отложений №№ 22-24 из протоки Грязнуха в пределах Дамчикского участка Астраханского заповедника.

Она отличается принципиально иными доминантами – бентосными видами рода *Cocconeis*: *C. placentula* (в обр. №№ 23 и 24; в среднем 28%), *C. lineata* (в обр. №22; 57%), которые также встречаются в обрастаниях. Суммарная доля бентосных видов наивысшая среди всех изученных объектов – в среднем 86%, максимальная (99%) отмечается в образце № 22, отобранном с глубины 0,9 м. Среди сопутствующих видов выявлены *Amphora coriulata* (в среднем 15%), *Navicula reinhardtii* (9%) и *A. granulata* (7%). Повышенная доля перифитонных видов, по-видимому, объясняется большой площадью подводных лугов, крайне низкая доля планктона – мелководными условиями.

*Результаты статистического анализа.* С целью обобщения информации о возможных факторах, влияющих на состав диатомовых ассоциаций, для изученных образцов также проведён анализ главных компонент (РСА). Матрица с процентным содержанием видов диатомей в образцах представляет собой многомерный набор данных. Образцы можно рассматривать как точки в многомерном пространстве, где каждая ось соответствует относительной численности определённого вида диатомей. Метод позволяет проецировать данные об образцах на двумерную плоскость относительно осей главных



факторов (компонент), вдоль которых наблюдается наиболее тесная группировка образцов, с целью наименьшей потери информации (Zuur et al., 2007). Анализ расположения образцов и векторов факторных нагрузок видов диатомей относительно новых осей координат позволяет выдвинуть гипотезы о ключевых факторах среды, определяющих формирование диатомовых ассоциаций (например, Элбакидзе, Романова, 2024; Wang et al., 2022). На графиках РСА рядом с осями главных компонент указывается процент объяснённой дисперсии для каждой главной компоненты – то есть, процент выборки (образцов), который статистически подчиняется данным факторам. Более высокий процент означает более тесную связь между видовым составом диатомей в образцах и выявленными закономерностями. Метод также позволяет визуализировать сходство между образцами по видовому составу диатомей и выявить наиболее типичные виды для конкретных точек отбора с определёнными условиями осадконакопления.

По результатам анализа получены две главные компоненты, оказывающие наибольшее влияние на распределение диатомей в исследованных водных объектах. Суммарная доля выборки, подчиняющаяся двум главным компонентам, составляет 37,8%. То есть, основные два фактора объясняют меньше половины общей изменчивости данных о видовом составе диатомовых ассоциаций в образцах, что позволяет выдвинуть лишь приблизительные предположения о главных факторах формирования таксономического состава диатомовых водорослей. Для упрощения визуализации результатов образцы из безымянной протоки и протоки Мартышка были включены в группы водотоков более высокого порядка (р. Быстрая и р. Дубного соответственно).

Величины факторных нагрузок, которые показывают вклад переменных (отдельных видов диатомей) в изменчивость вдоль компоненты, указаны в Таблице 3.

Таблица 3. Факторные нагрузки – вклад видов диатомей в изменчивость вдоль первых двух компонент.

Виды	PC1	PC2
Amph.cop. ( <i>Amphora copulata</i> )	-0,38199	-0,16588
Aul.amb. ( <i>Aulacoseira ambigua</i> )	<b>0,25404</b>	-0,11283
Aul.gran. ( <i>Aulacoseira granulata</i> )	0,0013	0,1213
Aul.gran.var.ang. ( <i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> )	0,00664	0,08195
Aul.pergl. ( <i>Aulacoseira perglabra</i> )	-0,21084	<b>0,30692</b>
Aula.val. ( <i>Aulacoseira valida</i> )	0,0887	-0,0748
Cocc.lin. ( <i>Cocconeis lineata</i> )	-0,04848	-0,25893
Cocc.ped. ( <i>Cocconeis pediculus</i> )	0,03004	-0,05517
Cocc.plac. ( <i>Cocconeis placentula</i> )	<b>-0,38292</b>	0,076
Epith.sor. ( <i>Epithemia sorex</i> )	<b>-0,34312</b>	-0,16602
Frag.vauch. ( <i>Fragilaria vaucheriae</i> )	0,10809	-0,15774

Geiss.sch. ( <i>Geissleria schoenfeldii</i> )	<b>-0,36797</b>	-0,15933
Gomph.oliv. ( <i>Gomphonella olivacea</i> )	0,15761	-0,20453
Gomph.trunc. ( <i>Gomphonema truncatum</i> )	-0,12994	<b>0,30587</b>
Mel.var. ( <i>Melosira varians</i> )	0,0193	0,23369
Nav.cryp. ( <i>Navicula cryptocephala</i> )	-0,20438	0,00606
Nav.reinh. ( <i>Navicula reinhardtii</i> )	-0,18664	-0,23011
Plac.elg. ( <i>Placoneis elginensis</i> )	<b>-0,27641</b>	<b>-0,27146</b>
Pseudostaur.rob. ( <i>Pseudostaurosira robusta</i> )	-0,20202	0,22756
Pseudostaur.subc. ( <i>Pseudostaurosira subconstricta</i> )	-0,07695	<b>-0,30332</b>
Steph.men. ( <i>Stephanocyclus meneghinianus</i> )	-0,15202	<b>0,41884</b>
Steph.min. ( <i>Stephanodiscus minutulus</i> )	<b>0,22766</b>	-0,09812
Stephs.astr. ( <i>Stephanodiscus astraea</i> )	0,07553	0,19829

Первая компонента объясняет 22,4% выборки и несёт наибольшую информацию об изменчивости признаков (видового состава диатомей в образцах). Положительные значения нагрузки по первой компоненте преимущественно у планктонных видов *Aulacoseira ambigua*, *A. valida*, *Stephanodiscus minutulus*, *S. astraea*, *Melosira varians*. Наибольших значений достигают *A. ambigua* и *S. minutulus* (Таблица 3, выделены жирным шрифтом), которые классифицируются как типичные обитатели эвтрофных вод (Lei et al., 2021). В группу с относительно высокими положительными нагрузками также входит *Fragilaria vaucheriae*, который встречается как в планктоне, так и в обрастаниях (Барина и др., 2006), и *Gomphonella olivacea* – бентосный вид, являющийся индикатором эвтрофирования (Krammer, Lange-Bertalot, 1999). Вместе с тем, наибольший вклад в изменчивость вносят бентосные виды, так как их значения нагрузки по модулю являются наибольшими: *Cocconeis placentula*, *Epithemia sorex*, *Geissleria schoenfeldii* и *Placoneis elginensis* (Таблица 3, выделены жирным шрифтом). Отрицательный знак факторной нагрузки говорит об обратной связи между усилением первого фактора и повышением доли вида. По-видимому, с усилением первого фактора связано увеличение доли планктонных видов и уменьшение доли бентосных таксонов. На графике ординации по результатам РСА достоверно выделяется только кластер образцов из р. Быстрая №№ 2-9 и 14 (Рисунок 54), которые расположены справа от оси первой компоненты. Река Быстрая – наиболее крупный водоток среди изученных объектов, для образцов характерна относительно большая глубина отбора – от 1 м. В этот кластер также попал образец № 20 из култука Сазаньего, отобранный с глубины 1,6 м в месте соединения култука с р. Быстрая. Этим объясняется сходство видового состава образца № 20 и образцов из р. Быстрая и их положение в одном кластере. Характерными видами для этой группы являются *Aulacoseira ambigua* и *Stephanodiscus minutulus* – типичные таксоны для фитопланктона р. Волга (Фитопланктон..., 2003; Бухарицин, Лабунская, 2023). Таким образом можно сделать предположение, что

первый и наиболее значимый фактор формирования диатомовых ассоциаций на изучаемой территории – глубина водотоков, однако следует отметить, что он описывает менее

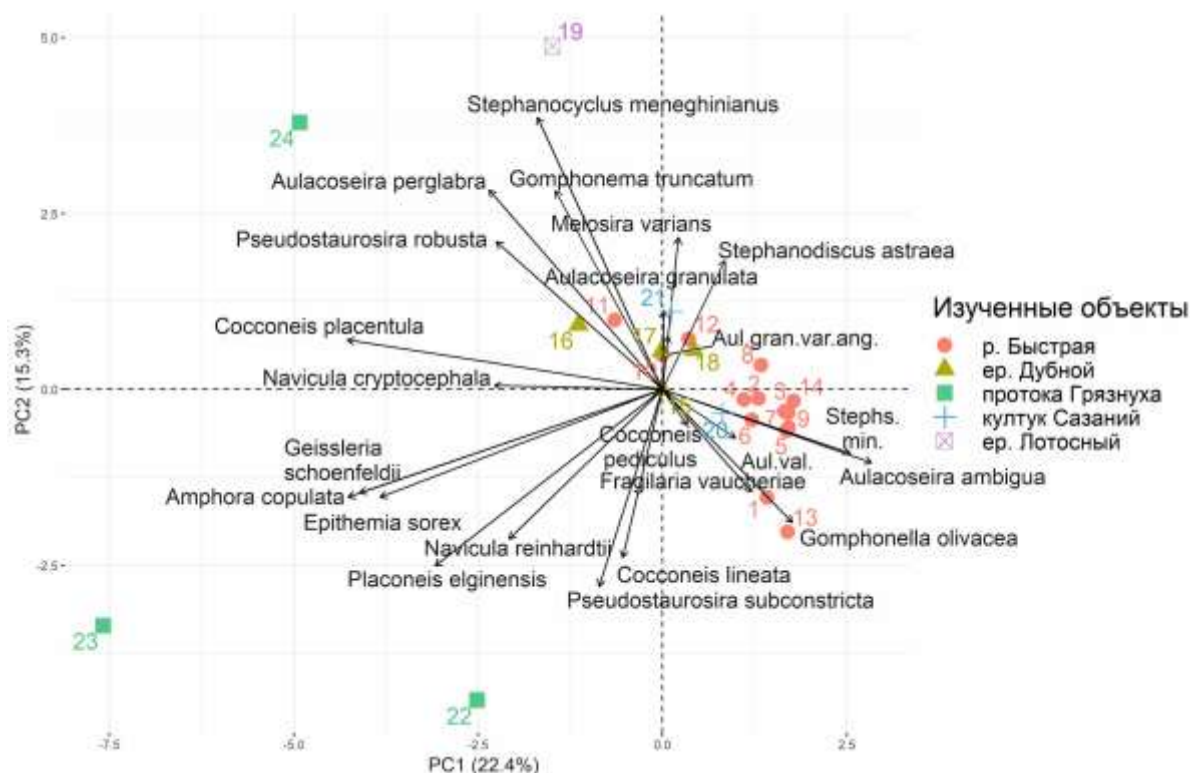


Рисунок 54. Результаты PCA. График факторных нагрузок (стрелки) и ординация исследованных образцов в осях значимых главных компонент. Расшифровка нумерации точек указана в таблице 2. Сокращены названия следующих видов: Aul.gran.var.ang – *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, Aul.val. – *Aulacoseira valida*, Stephs.min. – *Stephanodiscus minutulus* (Лысенко, 2025б).

четверти изменчивости выборки.

Распределение факторных нагрузок видов диатомей относительно второй компоненты менее однозначное для интерпретации. По второй компоненте наибольшие положительные значения характерны для следующих видов: планктонных *Stephanocyclus meneghinianus* и *Aulacoseira perglabra* и бентосного *Gomphonema truncatum* (Таблица 3, выделены жирным шрифтом). Согласно С.С. Бариновой с соавторами (2006), *S. meneghinianus* может встречаться в почвенных и наземных субстратах, а створки *G. truncatum* – в составе планктона (например, из-за разрушения местообитания в условиях турбулентных вод). В целом высокая доля бентосных таксонов в составе планктона является типичной для мелких пресных водоёмов (Jasprica, Hafner, 2005). Совместное нахождение *S. meneghinianus* и *G. truncatum* приурочено к образцам из ер. Лotosного и южной части протоки Грязнуха (Рисунок 54).

Данные объекты отличаются малой глубиной и высокой степенью зарастания высшей водной растительностью. Наибольшие отрицательные значения по второй

компоненте – у эпифитного вида *Pseudostaurosira subconstricta* и бентосного *Placoneis elginensis*, которые широко распространены в северной части протоки Грязнуха. В целом все указанные виды соотносятся с мелководными условиями водоёмов и их высокой степенью зарастания. Закономерностей между жизненными формами указанных видов диатомей и значениями по второй компоненте не выявлено. Поэтому влияние такого фактора как степень зарастания протоков, вероятнее всего, не отражается во второй компоненте. Противоположное положение образцов из протоки Грязнуха № 24 и №№ 22, 23 относительно оси второго фактора, вероятно, объясняется литологическим составом осадка. В южной части протоки (обр. № 24) осадок представлен алевритом, в северной – мелкозернистыми песками (обр. №№ 22, 23). В распределении образцов из других объектов можно выявить схожую закономерность: прямую зависимость от фактора (т.е. положение выше оси абсцисс) демонстрируют образцы с алевритистым составом осадка или представленные мелкозернистым песком с примесью алеврита, обратная зависимость от фактора наблюдается у образцов, преимущественно представленных мелкозернистым песком (Таблица 2).

В результате анализа местоположения точек отбора образцов выявлено, что прямую зависимость от фактора демонстрируют образцы из устьевых частей водотоков – ериков Лотосного (обр. № 19), Дубного (№ 16) и протоки Мартышка (№№ 17 и 18), а также из южной части протоки Грязнуха (№ 24) и из участка култука Сазаньего (№ 21), более удалённого от р. Быстрая. Кроме того, в этой группе находятся три образца из р. Быстрая: №№ 10 и 11 отобраны в местах разветвления русла, № 12 – на изгибе излучины реки. Можно предположить падение скоростей течения на данных участках, что отражается на литологическом составе осадка (преобладают алевриты). По-видимому, уменьшение скоростей течения является вторым по значимости фактором формирования диатомовых ассоциаций в отобранных образцах, однако он объясняет лишь 15,3% изменчивости выборки.

Так как результаты PCA объясняет лишь небольшую долю общей изменчивости данных и довольно сложны для однозначной интерпретации главных факторов, влияющих на формирование диатомовых ассоциаций в образцах, к данным также применён статистический метод неметрического многомерного шкалирования (NMDS). Он нацелен на визуализацию геометрической близости образцов на основе их таксономического состава. Чем ближе образцы расположены на графике ординации, тем больше сходство диатомовых ассоциаций. В отличие от PCA, метод NMDS не опирается на линейные зависимости и лучше подходит для данных с высокой долей редких видов, которые, несмотря на низкую численность, могут составлять значительную часть таксономического

разнообразия (Шитков, Мاستицкий, 2017). Также метод позволяет выявить наиболее типичные виды для близко расположенных на графике образцов. Сопоставление результатов NMDS с условиями осадконакопления в точках отбора даёт возможность определить характерные виды для конкретных седиментационных обстановок, что в дальнейшем может быть применимо в палеореконструкциях в исследуемом районе. Для изученных образцов из современных водоёмов дельты Волги построен график ординации по результатам NMDS. Для упрощения визуализации результаты образцы из безымянной протоки и протоки Мартышка были включены в группы водотоков более высокого порядка (р. Быстрая и ер. Дубного соответственно; Рисунок 55).

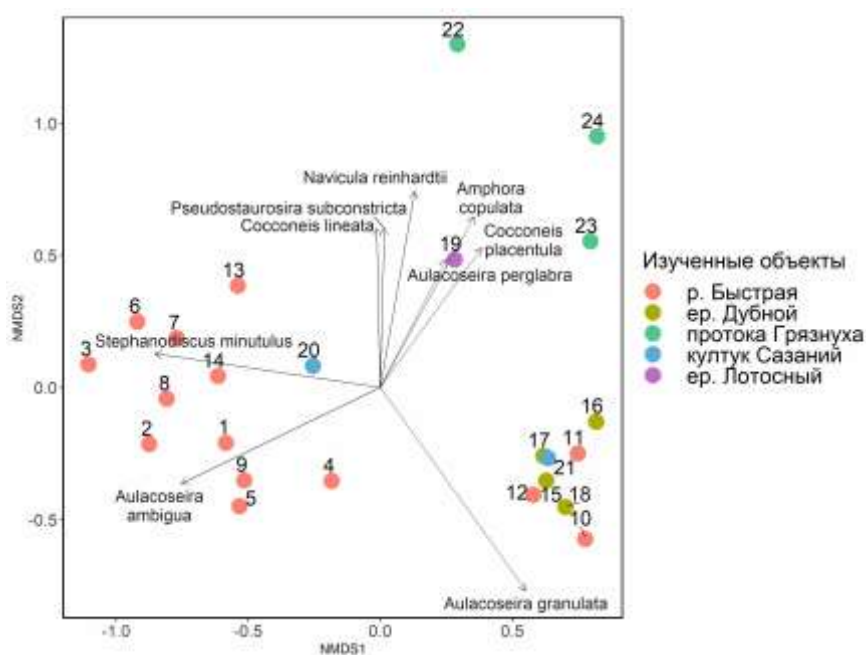


Рисунок 55. График ординации образцов из современных водоёмов дельты Волги по результатам NMDS.

График ординации на основе NMDS показывает более дробную группировку образцов по сравнению с методом главных компонент. Ассоциации р. Быстрая из образцов №№ 1-9, 13 и 14 тяготеют к кластеру *Aulacoseira ambigua* и *Stephanodiscus minutulus*, №№ 10-12 – к *Aulacoseira granulata*. Вид *A. granulata*, вероятно, можно считать индикатором условий водотоков с низкими скоростями течения для изучаемого района, так как для образцов из данного кластера в основном характерен алевритистый состав осадков. Соответственно, виды *A. ambigua* и *S. minutulus* тяготеют участкам водотоков с высокой скоростью течения.

Образец № 19 из ер. Лотосного занимает обособленное положение на графике, что говорит о формировании диатомовых ассоциаций, отличных от остальных изученных водных объектов. Несмотря на преобладание планктонных видов, также характерных для р. Быстрая, ер. Дубного и култука Сазаньего (Рисунок 44), основные отличия достигаются за счёт повышенной доли видов-обрастателей *Amphora copulata*, *Cocconeis placentula* и *C.*

*lineata*. Вероятнее всего, повышенная доля перифитона связана с широким распространением высших водных растений на узком участке ерика (10 м).

Образцы из протоки Грязнуха №№ 22-24 демонстрируют наименьшее сходство по видовому составу как с образцами из остальных водных объектов, так и между собой (Рисунок 54, Рисунок 55). Это означает, что условия формирования диатомовых ассоциаций в протоке Грязнуха значительно отличаются от обстановок култуков, ериков и рек. Основные отличия протоки (особенно в северной части) – мелководность (см. Таблица 2) и значительная ширина (от 1 до 7 км). Низкое сходство образцов из самой протоки, вероятно, объясняется удалённостью точек отбора друг от друга (2,5-12,5 км; см. Рисунок 25) и большей степенью влияния локальных факторов (например, мутность воды, зарастание разными видами водных растений, тип субстрата и др.).

В результате диатомового анализа осадков поверхностного слоя донных отложений для изученных водоёмов дельты выявлены следующие характерные виды: р. Быстрая и безымянная протока – *Aulacoseira ambigua* и *Stephanodiscus minutulus*, ер. Дубной и пр. Мартышка – *A. granulata*, протока Грязнуха – *Cocconeis placentula* и *C. lineata*, ер. Лотосный – *Stephanodiscus astraea* и *S. meneghinianus*. Исходя из комплексного анализа результатов статистических методов PCA и NMDS, условий осадконакопления в точках отбора образцов и литологического состава осадка можно предположить, что наибольший вклад в формирование диатомовых ассоциаций в данном районе вносит фактор глубины водотоков, менее значимый фактор – падение скоростей течения. Виды *A. ambigua* и *S. minutulus*, вероятно, тяготеют к участкам водотоков с повышенной скоростью течения и более грубым составом осадков (мелкозернистые пески), *A. granulata* – к участкам понижения скоростей течения и алевритистому составу осадков. Виды рода *Cocconeis* достигают наибольшего развития в условиях обширного мелководья в пр. Грязнуха с большой площадью подводных лугов.

### **4.3. Результаты анализа смер-слайдов, диатомового и комплексного анализов отложений, представленных в естественных обнажениях и скважинах на изученных участках**

#### **4.3.1. Привершинная дельта<sup>5</sup>**

---

<sup>5</sup> При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично и в соавторстве, в которых, согласно положению о присуждении учёных степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

Лысенко Е.И., Меренкова С.И., Макшаев Р.Р. Условия голоценового осадконакопления в привершинной части дельты волги (р. Рыча) по данным комплексного анализа (экостратиграфия, геохимия, литология). // Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена и голоцена: Материалы Всероссийской

## Описание района и литологические характеристики изученных осадков

Изученный участок привершинной дельты располагается на правом берегу р. Рыча в районе пос. Пойменный. Согласно терминологии гидрологической сети дельты Волги р. Рыча является ериком, так как соединяет два водотока: р. Волгу и р. Белый Ильмень (рукав р. Бузан). В этом районе дельта представляет собой старично-проточную дельтовую равнину, на поверхности которой отмечается большое количество сухих русел водотоков, обрамлённых прирусловыми валами. Современных водотоков на участке довольно мало, большинство из них представлены узкими (до 10 м) отмирающими ериками. Старичные русла слабо выражены в рельефе, прослеживаются в основном на космических снимках. Они обладают большей шириной относительно современных ериков – от 20 до 50 м, что, вероятно, свидетельствует об их формировании в периоды с бо́льшим объёмом речного стока относительно современного. Материал из привершинной части дельты отобран из разреза скважины Роу-2016, которая располагалась в пределах поймы р. Рыча в 0,5 км к северо-западу от пос. Пойменный (географические координаты 46°27'56,68" с.ш., 48°10'17,4" в.д., Рисунок 24, Рисунок 56).



Рисунок 56.

Местоположение скважины  
Роу-2016 на правом берегу р.  
Рыча в районе пос.  
Пойменный.

конференции с международным участием «Марковские чтения 2025 года». М: Географический факультет МГУ, ООО Красногорская типография, 2025. С. 112–116.

**Лысенко Е.И.** Диатомовые ассоциации в поверхностных осадках дельты Волги и их значение для палеорекоstructions // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2025а. Т. 80. № 3. С. 147-162.

**Штыркова (Лысенко) Е. И.,** Полякова Е. И. Реконструкция палеоэкологических особенностей среды осадконакопления по материалам скважины р. Рыча (дельта Волги) в голоцене на основе данных диатомового анализа // Фундаментальная и прикладная палеонтология. Материалы LXIV сессии Палеонтологического общества при РАН (2-6 апреля 2018 г., Санкт-Петербург). СПб: Картфабрика ВСЕГЕИ., 2018. С. 161–163.

**Штыркова (Лысенко) Е. И.,** Полякова Е. И. Диатомеи в осадках р. Рыча (дельта Волги), как индикаторы палеогеографических условий осадконакопления // Материалы XV международной научной конференции (XV Диатомовая школа) Диатомовые водоросли: современное состояние и перспективы исследований, пос. Борок, Россия, 24-27 августа 2017 г. 2017. С. 86-87.



Абсолютная высота заложения скважины составила -22,3 м. К западу от скважины поверхность равнины изменена рисовыми чеками (обваловками и мелиоративными каналами), ныне заросшими и не используемыми по назначению. Место бурения затопливается в половодье, однако дорожная насыпь и обваловка рисовых чеков вблизи скважины препятствуют затоплению территории южнее 25 м от скважины. Судя по современным максимальным уровням воды в половодье, территория на правом берегу р. Рыча в этом районе могла подвергаться обширному затоплению на момент до сооружения обваловки сельскохозяйственных полей и дорожной насыпи (Рисунок 57).



Рисунок 57. Максимальный уровень современного затопления территории в районе скв. Роу-2016 (пос. Пойменный) на космическом снимке Sentinel-2 от 27.05.2016.

Вблизи скважины отмечается сухое русло ерика, ранее впадавшего в р. Рыча (Рисунок 56). Ширина ерика до 8 м, устьевая часть прослеживается в виде понижения в рельефе. В 100 м к юго-западу от места заложения скважины прослеживается обширное понижение, по-видимому, представляющее собой ильменно-полойную впадину.

Перепад высот относительно поверхности дельтовой равнины небольшой – в пределах 1 м. Ниже представлена геоморфологическая схема исследуемого участка (Рисунок 58).

Глубина скв. Роу-2016 составляет 15 м. Отложения в нижней части скважины представлены песками сизовато-серыми крупно-среднезернистыми (до 12,5 м), которые подстилаются лёгким суглинком (15-14,5 м). Выше по разрезу залегают мощные толщи сизовато-серого мелкозернистого песка (12,5-2,7 м), разделённые маломощным прослоем лёгкого суглинка (10,0-9,7 м). Верхние 2,7 м разреза представлены алевроитами серыми.

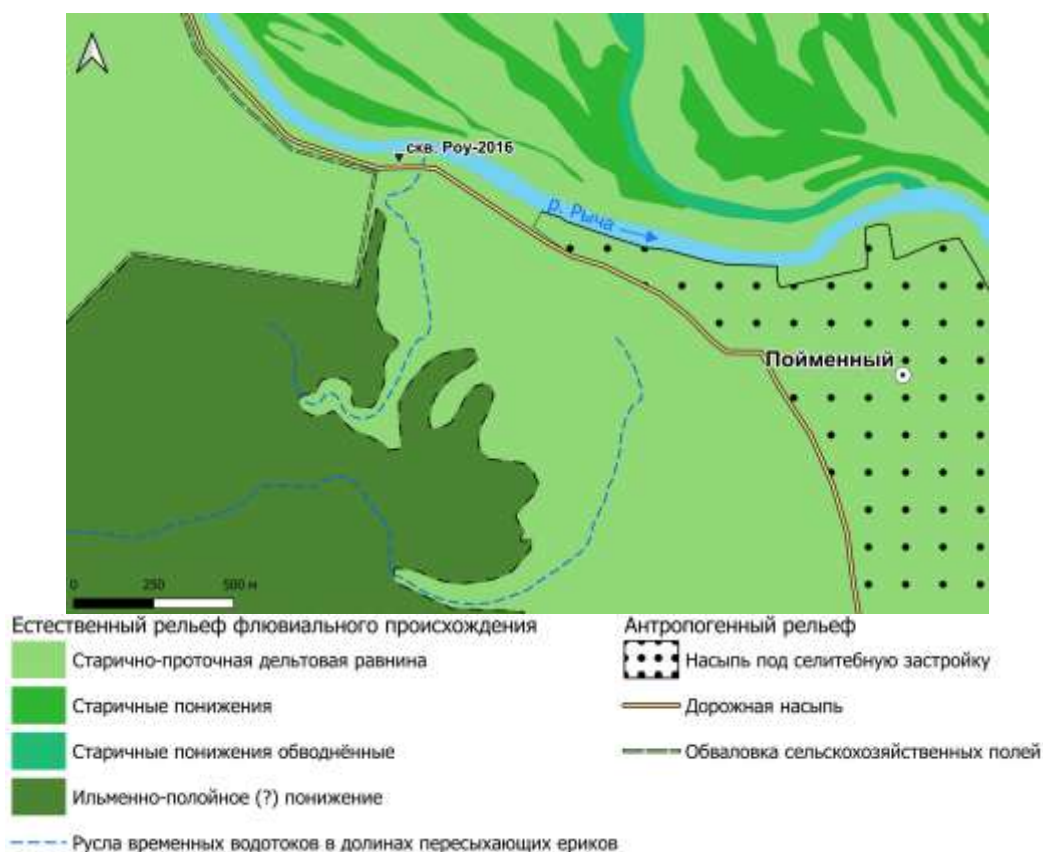


Рисунок 58. Естественный и антропогенный рельеф в районе заложения скв. Роу-2016 на правом берегу р. Рыча в районе пос. Пойменный.

В разрезе скважины для целей диатомового, гранулометрического и геохимического анализов отобрано по 46 образцов из идентичных интервалов глубин (Рисунок 59).

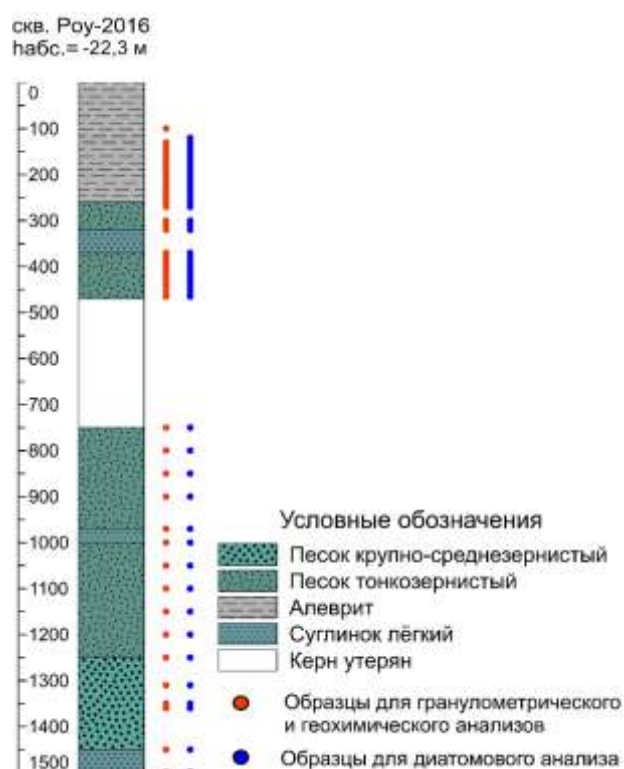


Рисунок 59. Схематический разрез скважины Роу-2016 на правом берегу р. Рыча в районе пос. Пойменный (Лысенко и др., 2025).

## Результаты исследований и палеогеографическая интерпретация

*Результаты диатомового анализа, сравнение с результатами статистических методов.* Диатомовые водоросли обнаружены только в 15 образцах из 47 отобранных. Количество створок, достаточное для статистической обработки и палееореконструкций, содержится в 7 из 15 изученных образцов, в 8 образцах диатомеи представлены единичными створками. В разрезе скважины выявлено 108 видов, полный список обнаруженных видов по скважинам и разрезов содержится в приложении 6. Концентрация створок на 1 г сухого вещества рассчитана для образцов, содержащих минимум несколько десятков створок диатомей (Таблица 4).

Таблица 4. Концентрация створок диатомей по разрезу скв. Роу-2016 (пос. Пойменный) и соответствующие диатомовые зоны, выделенные по результатам анализа.

Глубина, м	Количество створок, тыс./г сух. в-ва	Диатомовая зона
1,0-1,2	200	V
1,3	2410	
1,4	1120	IV
1,5	18	
4,4	110	III
9,0	773	
9,7	144	
11,0	250	II
15,0	26	I

Диатомовые ассоциации практически полностью представлены пресноводными видами (97,8%), многие из которых встречаются и в современных водоёмах дельты (см. п. 4.1). Также были определены единичные створки морского вида *Trigonium formosum*, вероятнее всего, переотложенные. В составе пресноводных диатомей преобладают олигогалофы-индифференты (*Aulacoseira granulata*, *A. islandica*), типичные обитатели пресных вод. Галофобы (см. пункт 3.2), которых в разрезе насчитывается 15 видов, представлены единичными (до пяти экз.) створками: *Amphora copulata*, *A. distans*, *Eunotia pectinalis* var. *ventricosa* и др. Галофилы насчитывают 18 видов и отличаются более высокой численностью относительно галофобов. В изученных диатомовых ассоциациях присутствуют: *Aulacoseira granulata*, *A. granulata* var. *angustissima*, *A. islandica*, *A. islandica* f. *curvata*, *Stephanocyclus meneghinianus*, *Stephanodiscus astraea* и др. Распределение наиболее обильных видов по разрезу представлено ниже (Рисунок 60).

С целью упрощения визуализации результатов статистической обработки данных о совокупных выборках современных и ископаемых диатомовых ассоциаций здесь и далее в п. 4.3.2– 4.3.5 образцы из изученных скважин и разрезов добавлялись на графики

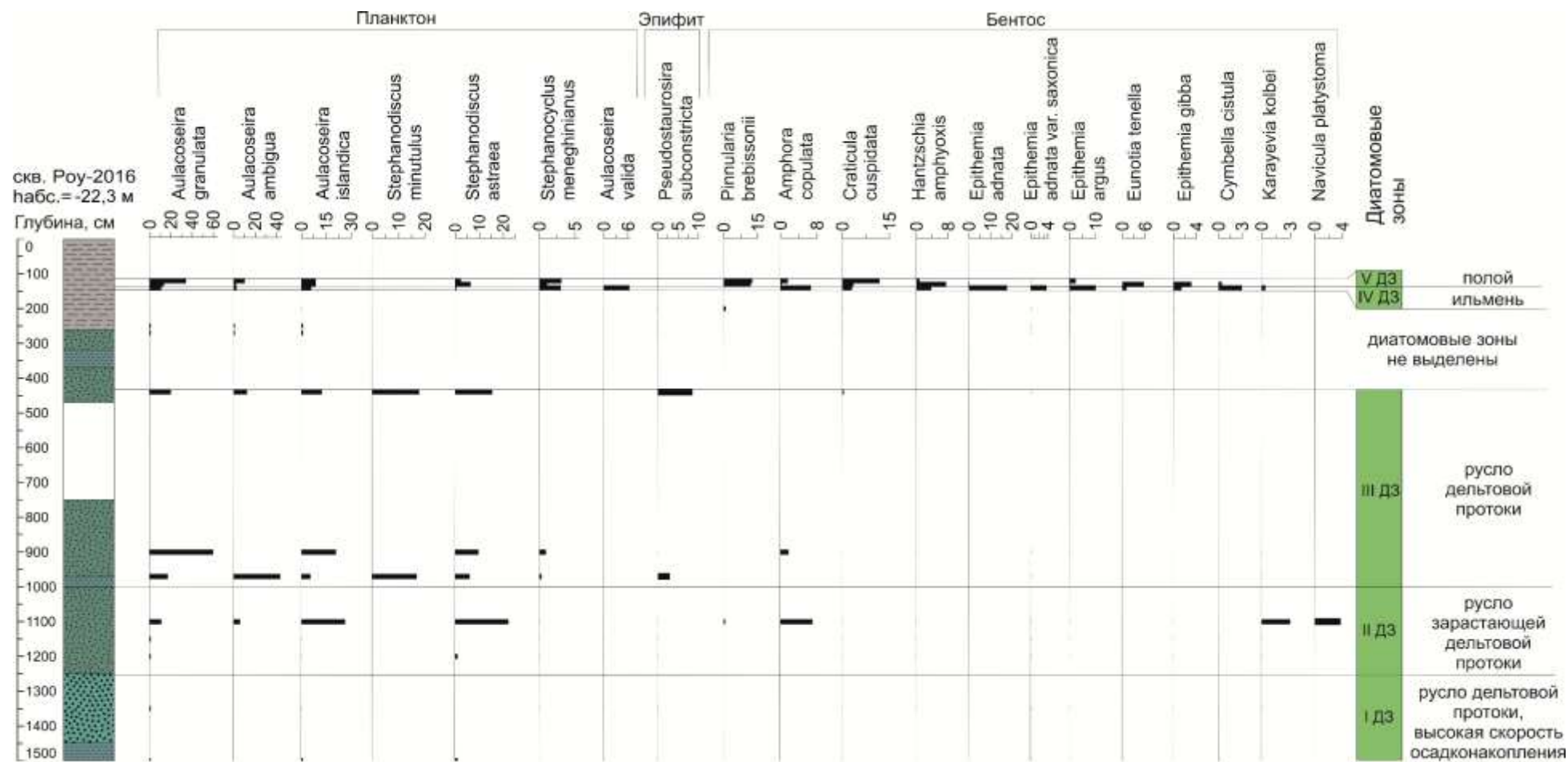


Рисунок 60. Условия формирования отложений, вскрытых скв. Рой-2016 на правом берегу р. Рыча в районе пос. Пойменный, на основе диатомового анализа (по: Лысенко, 2025а). Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 59.

факторных нагрузок PCA и NMDS попарно: скв. Роу-2016 (пос. Пойменный) и скв. DM-1 (пос. Дамчик); С1 и ББ9 (с. Бараний Бугор); разрезы 1 и 2 (Дамчикский участок астраханского заповедника); скв. Zb-1 (северо-восточный участок шельфа Северного Каспия) и Рыбачья (юго-западный участок шельфа Северного Каспия см. Рисунок 61 и Рисунок 62, Рисунок 79 и Рисунок 80, Рисунок 111 и Рисунок 112, Рисунок 126 и Рисунок 125).

В рамках изучения ассоциаций из скв. Роу-2016 методом PCA проанализирована совокупная выборка образцов из современных водоёмов и из скважин Роу-2016 (пос. Пойменный) и DM-1 (пос. Дамчик, см. ниже). Первые две компоненты объясняют существенно меньший процент дисперсии – 26,7%, что свидетельствует о сильных различиях между современными и ископаемыми диатомовыми ассоциациями. Тем не менее, для отдельных образцов можно выявить некоторую схожесть с современными обстановками. Также представлены результаты метода неметрического многомерного шкалирования (NMDS) для совокупной выборки образцов донных отложений из поверхностного слоя современных водоёмов и образцов из скв. DM-1 и Роу-2016 (см. ниже). Образцы скв. Роу-2016 более компактно располагаются на графике, что в целом свидетельствует о большем сходстве диатомовых ассоциаций и может говорить о меньшем контрасте в условиях осадконакопления, по сравнению со скв. DM-1. На основе распределения видов по разрезу и их экологических предпочтений (с опорой на данные о литологическом составе осадков) в отложениях, вскрытых скважиной Роу-2016, выделено пять диатомовых зон (ДЗ). Отсутствие диатомей или крайне низкие их концентрации в исследованных отложениях, скорее всего, могли быть обусловлены высокими скоростями осадконакопления.

**1 ДЗ (12,5-15,0 м).** Выделение этой зоны затруднено в связи с малой концентрацией створок диатомей – 26 тыс./г (Таблица 4). Зона находится в пределах горизонта крупно-среднезернистого песка, подстилаемого лёгким суглинком. Общее количество створок (30 экз.) не является статистически достаточным для достоверных палеогеографических реконструкций. Встречаются единичные находки пресноводных планктонных (*Aulacoseira granulata*, *A. islandica*, *Stephanodiscus astraea*) и солоноватоводных (*Melosira nummuloides*) диатомей. *A. granulata* широко распространен в современных осадках дельты, *A. islandica* типичен для четвертичных отложений Нижнего Поволжья (Диатомовый анализ. Кн. 2, 1949). Исходя из таксономического состава диатомей и литологических свойств осадка, можно предположить его формирование в русле дельтовой протоки. На раннем этапе осаднения суглинков преобладали спокойные гидродинамические условия. В случае

осадконакопления в русле дельтовой протоки малое количество створок диатомей обусловлено высокими скоростями осадконакопления.

**П ДЗ (10,0-12,5 м)** выделена в толще тонкозернистых песков, в неё входит образец с глубины 11,0 м. Содержание створок диатомей на порядок выше – 250 тыс./г. Образец отличается отсутствием ярко выраженных доминант. Преобладают планктонные виды *Aulacoseira islandica* (26%) и *Stephanodiscus astraea* (22%), суммарная доля планктона составляет 67%. Видовое разнообразие бентосных таксонов также довольно широкое (*Amphora copulata*, *Cymbella cistula*, *Navicula platystoma* (*Petroplacus platystoma*), *Pinnularia brebissonii*). В целом господство планктонных пресноводных видов и литологический состав осадка позволяют предположить осадконакопление в русле дельтовой протоки. В этой зоне довольно высокая доля бентосного вида *Amphora copulata*, также встречающегося в обрастаниях. Это может свидетельствовать о формировании осадка в относительно узкой, зарастающей дельтовой протоке. По отношению к pH водной среды (см. п. 3.2) большинство видов относится к алкалифилам (например, *A. ambigua*, *Stephanodiscus minutulus*) или алкалибионтам (*S. astraea*). Судя по экологическим предпочтениям преобладающих видов, значения pH водной среды в период осадконакопления составляли выше 8, о чём свидетельствует повышение доли *S. astraea*. По результатам PCA данный образец входит в кластер р. Быстрая, чем подтверждается близость к обстановкам дельтовых проток, а также приближен к образцам с глубин 4,4; 9,0; 9,7 м (Рисунок 61).

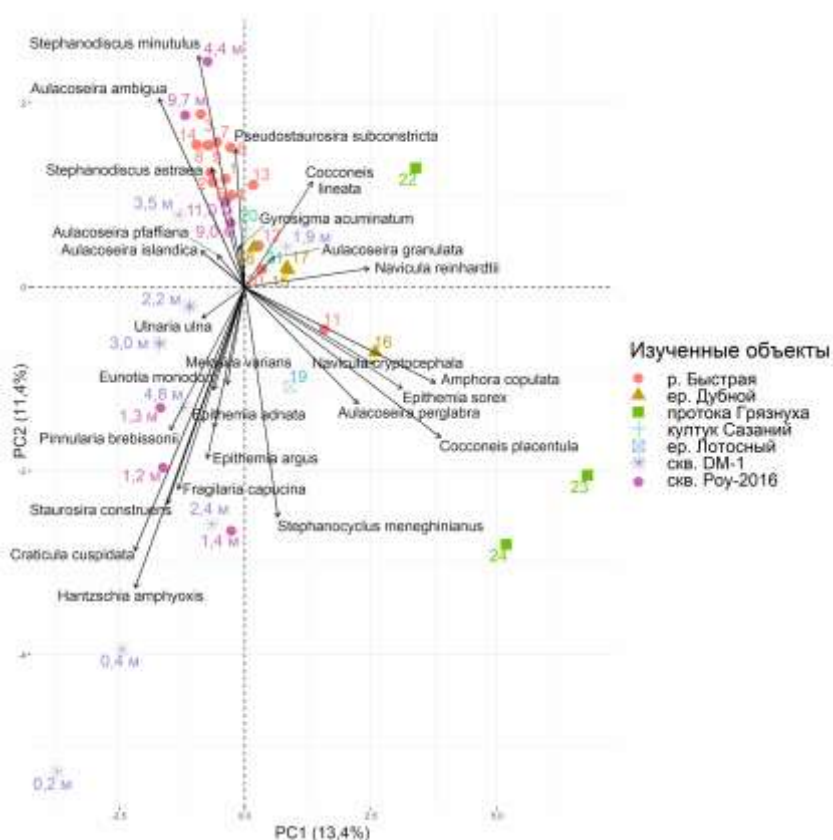


Рисунок 61. График факторных нагрузок и ординация исследованных образцов в осях значимых главных компонент для материалов из современных водоёмов и скважин Роу-2016 (правобережье р. Рыча, пос. Пойменный, привершинная дельта) и DM-1 (левобережье р. Быстрая, пос. Дамчик, нижняя дельта). Расшифровка нумерации образцов из современных водоёмов указана в таблице 2 (см. п. 4.2).



Это отличается от результатов NMDS: образец с глубины 11,0 м приближен к таковому с глубины 1,4 м и ассоциациям из ер. Лotosного, который представляет собой довольно узкую (10 м) протоку (Рисунок 62), вероятно, за счёт повышенной доли вида-обрастателя *Amphora copulata*.

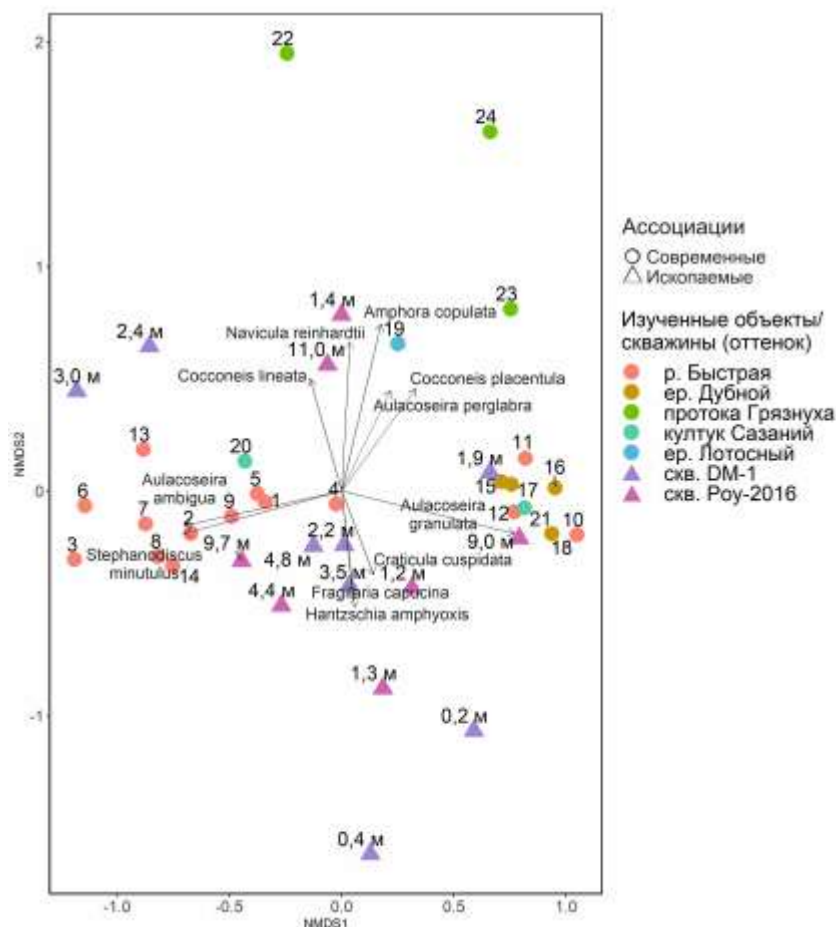


Рисунок 62. График ординации образцов из скважин Роу-2016 (правобережье р. Рыча, пос. Пойменный, привершинная дельта) и DM-1 (левобережье р. Быстрая, пос. Дамчик, нижняя дельта) и современных водоёмов дельты Волги по результатам NMDS. Расшифровка нумерации образцов из современных водоёмов указана в таблице 2.

**III ДЗ (10,0-4,4 м)** – выделена условно (в связи с утерей части обводнённого материала при бурении) на основе общности видового состава диатомовых ассоциаций выше и ниже утерянтого интервала керна. В нижней части интервала отмечается прослой суглинков, сменяющийся мощной толщей однородных тонкозернистых песков выше по разрезу. Концентрация створок существенно увеличивается с 144 до 773 тыс./г в центральной части зоны, что может говорить о более благоприятных условиях для обитания диатомей, после чего содержание створок снова падает до 110 тыс./г. Доминируют створки планктонных видов рода *Aulacoseira* (45-81%), субдоминанты – *Stephanodiscus astraea* (6-15%) и *S. minutulus* (17-18%). Суммарная доля планктона высокая – 80-90%, что в совокупности с литологическим составом свидетельствует о проточных условиях осадконакопления. Данные результаты позволяют однозначно реконструировать условия дельтовой протоки.

По результатам PCA подтверждается схожесть данных ассоциаций между собой и с обстановками из р. Быстрая (Рисунок 61). Близость к ассоциациям из р. Быстрая также



видна на графике NMDS (Рисунок 62): образец с глубины 9,0 м приближен к кластеру с доминантом *Aulacoseira granulata* (куда также попал образец с глубины 1,9 м из скв. DM-1), остальные образцы тяготеют к кластеру с доминантами *Stephanodiscus minutulus* и *Aulacoseira ambigua*.

**IV ДЗ (1,4 м)** выделена в алевроитах с вкраплениями органического вещества, к ней отнесён один образец с глубины 1,4 м. Зона отличается высокой концентрацией створок (1,12 млн экз./г.), характерны иные доминанты: преобладают бентосные виды рода *Epithemia*: *E. adnata* (17%), *E. argus* (10%), характерные для озёр и болот, также высока доля планктонного вида *Aulacoseira granulata* (11%). Суммарная доля планктона низкая – 20%. Литологический состав отложений (суглинки), иной состав видов-доминант и в целом повышенная доля бентосных диатомей, в частности – рода *Epithemia* – позволяют реконструировать условия осадконакопления в мелком пресном водоёме – ильмене. По отношению к pH среды наряду с преобладанием индифферентных видов (более 53%), заметную долю (13,7%) составляют диатомей-ацидофилы *E. argus* и *E. adnata var. saxonica*, связанные с прослоями разложившейся органики с окислительной средой.

На графике по результатам PCA данный образец сильно отличается от таковых из современных обстановок и приближен к образцу с глубины 2,4 м из скв. DM-1 (Рисунок 61). График ординации, построенный по результатам NMDS, сообщает о близости образцов с глубин 1,4 м и 11,0 м (Рисунок 62), по-видимому, за счёт повышенной доли *Amphora coriolata*, которая достигает по разрезу максимальной численности (около 8%) только в этих образцах.

**V ДЗ (1,4-1,0 м)** также выделена в толще суглинков, в верхней части которой отмечаются следы почвообразования. Около 45% диатомей относится к роду *Aulacoseira* (доля *A. granulata* 34%, *A. ambigua* – 10%). Представительными видами также являются бентосные таксоны *Pinnularia brebissonii* (12-13%), *Craticula cuspidata* (3-12%). Наблюдается резкое (в 10 раз!) снижение концентрации створок вверх по разрезу – с 2,4 млн экз./г. до 200 тыс. экз./г, наряду с увеличением числа повреждённых, частично растворённых створок. Это может свидетельствовать о воздействии процессов почвообразования, что подтверждается присутствием типичного эдафического вида *Hantzschia amphioxys*. Доля планктона увеличивается вверх по разрезу от 30 до 55%. В эту зону входят образцы 1,3 и 1,2 м. Наряду с типичными для дельтовых проток планктонными видами *Aulacoseira granulata* и *A. ambigua* наблюдается повышенная доля бентосных таксонов *Hantzschia amphioxys* (до 7,5%) и *Craticula cuspidata*, также выявленных в верхних горизонтах керна скв. DM-1 (см. п. 4.3.2). Это может говорить о формировании полонных условий периодического затопления территории. Ранее существовавший водоём (ильмень),

обстановки которого реконструированы в III ДЗ, в ходе осадконакопления трансформировался в эфемерный – полой, существующий в периоды затопления участка дельтовой равнины в половодье. Судя по значительной доле галофильных (*P. brebissonii*) и индифферентных (*A. granulata*, *A. ambigua*, *Craticula cuspidata*, и др.) видов, солёность водоёма могла составлять около 0,2-0,4‰. В нижней части зоны, в связи с появлением мезогалофа *S. astraea* идентифицируется небольшое повышение солёности (до 0,5‰). Возможно, это связано с близким залеганием высокоминерализованных грунтовых вод к поверхности низкой поймы. Преобладание видов, индифферентных к pH среды и значительная доля алкалифилов может указывать на нейтральную или слабощелочную (pH 7-8) обстановку.

По результатам PCA образцы сильно отличаются от современных обстановок по видовому составу диатомей, на графике ординации приближены друг к другу и к образцу с глубины 4,8 м из скв. DM-1. На графике ординации по результатам NMDS образцы с глубин 1,2 и 1,3 м также имеют сильные отличия от современных ассоциаций и образуют кластер вместе с образцами из III ДЗ в скв. DM-1. По-видимому, данный кластер отвечает условиям осадконакопления, для которых нет аналогов среди современных обстановок.

*Результаты гранулометрического анализа.* Распределение частиц по разрезу изображено ниже (Рисунок 63). По результатам гранулометрического анализа в скважине выделено 4 группы образцов, характеризующих разную динамичность сред осадконакопления. Для каждой группы построены обобщённые диаграммы распределения частиц на основе медианных значений по каждой размерности. Нумерация и описание групп даны снизу вверх по разрезу, по мере осадконакопления (Рисунок 64).

В интервале 15,0-12,5 м (1 группа, рис. 46) наибольшая по разрезу доля частиц песчаной размерности: 27% крупно-среднезернистых песков, 35% – мелкозернистых, 20% составляет мелкий алеврит, на крупный, средний алеврит и глины приходится примерно по 5%. По данным В.Ф. Бреховских с соавторами (2009) для современных донных отложений рукавов и протоков в устьевой части Волги характерно преобладание частиц размерностью менее 250 мкм, их суммарная доля достигает 76%. Преобладающей фракцией является 100-250 мкм. Эта фракция частично соответствует размерности 50-250 мкм в классификации Н.А. Качинского (1965), которая используется для представления результатов гранулометрического анализа в настоящей работе. Следовательно, преобладание на диаграммах фракции 50-250 мкм (мелкозернистого песка), скорее всего, будет отражать условия дельтовых протоков.

скв. Роу-2016  
набс. = -22,3 м

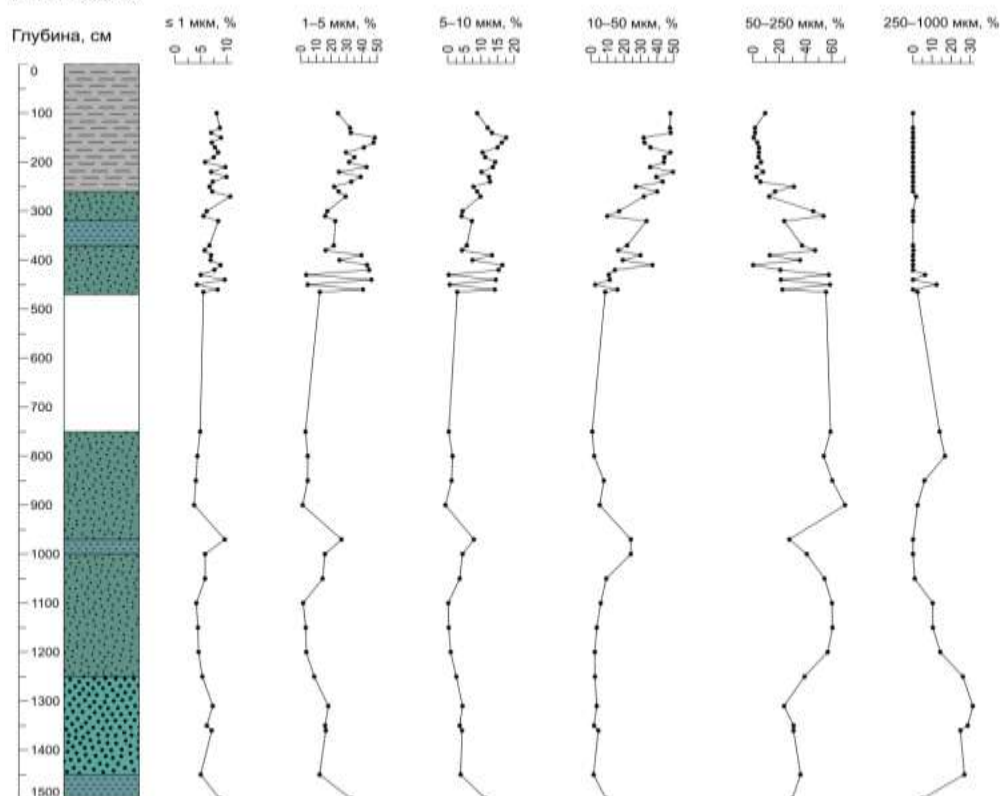
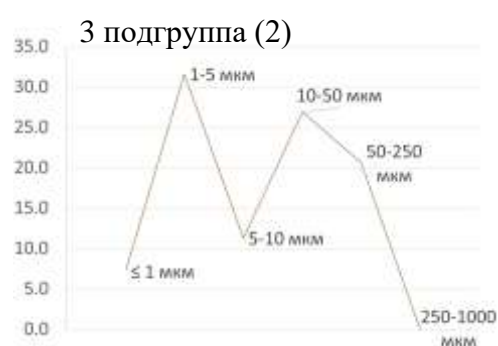
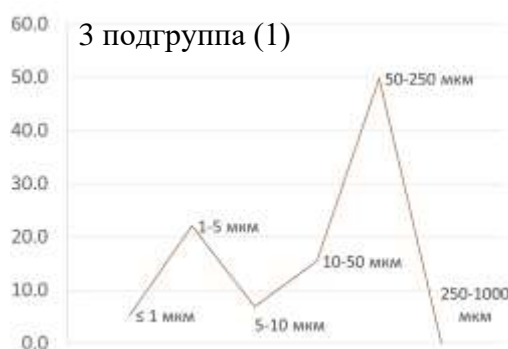
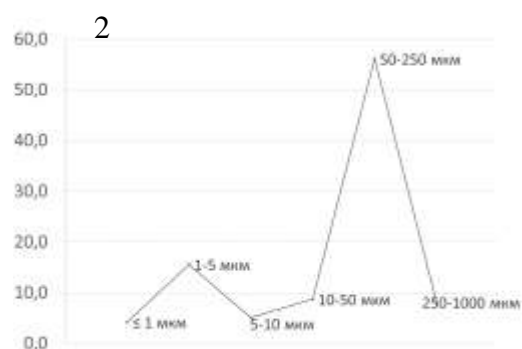
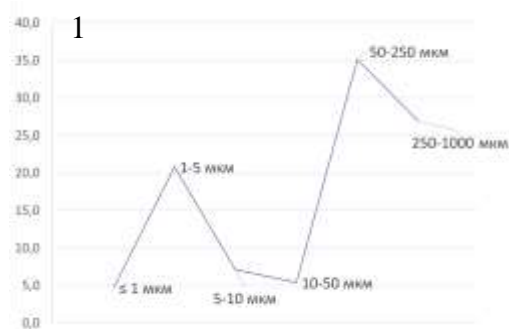


Рисунок 63. Схематический разрез скважины Роу-2016 (правобережье р. Рыча, пос. Пойменный) и распределение по нему гранулометрических фракций. Точками обозначены места отбора образцов для геохимического и гранулометрического методов. Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 59.



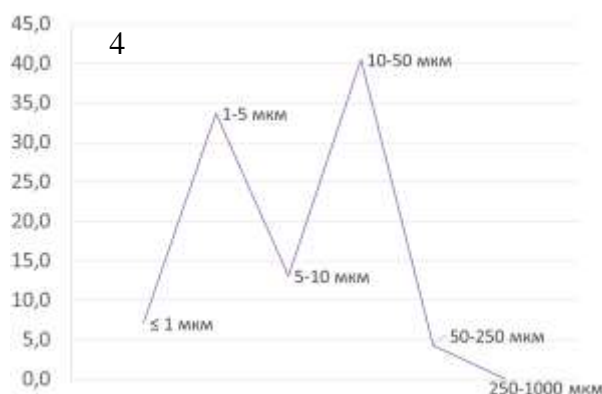


Рисунок 64. Обобщённые диаграммы распределения частиц по группам образцов, выделенным в скв. Роу-2016 (правобережье р. Рыча, пос. Пойменный). Цифрой в левом верхнем углу указан номер выделенной группы.

В 1 группе образцов (15,0-12,5 м) наряду с преобладанием фракции 50-250 мкм наблюдается высокая доля крупно-среднезернистых песков (27%), что говорит о более высокоэнергетической среде (вероятно, интенсивном врезании водотоков) или о дополнительном источнике более крупного материала. В интервале выявлены единичные створки пресноводных планктонных диатомей, что может являться признаком интенсивного осадконакопления в русле дельтовой протоки.

На глубине 12,5-7,5 м (2 группа) материал отличается лучшей сортировкой, по сравнению с образцами из нижней части скважины: содержание мелкозернистого песка в пределах 40-60%, мелкого алеврита – 20-30%, что может говорить о более длительном воздействии среды осадконакопления и стабильных условиях, приближенных к обстановкам дельтовых проток с дополнительным источником мелкого материала.

В интервале 4,65-2,50 м выделена 3 группа, характеризующаяся частой сменой размерностей на графике распределения частиц (Рисунок 63), что отражает нестабильность условий осадконакопления. Чередуются интервалы с явным преобладанием мелкозернистых песков и смешанным составом частиц. Эти образцы объединены в подгруппы (1) и (2): в (1) распределение схоже со 2-й группой образцов, характерна лучшая сортировка и преобладание мелкозернистых песков; в подгруппе (2) наблюдается наихудшая сортировка частиц по разрезу, распределение близко к полимодальному: преобладает мелкий алеврит (30%), второй пик размерности – крупный алеврит (27-30%), третий - мелкозернистый песок (20-25%), доля глин наивысшая по разрезу – 8-10%. Интервал характеризует обстановку осадконакопления с частыми переходами от условий дельтовых проток к более застойному режиму осадконакопления.

В интервале 2,5-1,0 м выявлена 4 группа образцов с бимодальным распределением частиц: доли крупного и мелкого алеврита составляют 35-40%, меньшая доля у среднего алеврита – 15%. Это описывает условия осадконакопления в спокойной гидродинамической обстановке, близкую к пойменным условиям. В верхних 250 см осадка существенных вариаций гранулометрического состава не выявлено, что говорит о

длительном преобладании единообразной среды осадконакопления. Результаты диатомового анализа, напротив, демонстрируют изменчивость по разрезу, что может говорить о преобладании локальных факторов в формировании осадка. По диатомеям выявлена смена условий от проточных к застойным обстановкам ильменя (озеровидного водоёма в дельте) и поля (водоёма на пойме, появляющегося во время половодья).

#### *Результаты геохимического анализа.*

Для группировки элементов и выявления связей между ними построены матрица корреляции (Рисунок 65) и «тепловая карта» с кластеризацией методом полной связи (Рисунок 66).

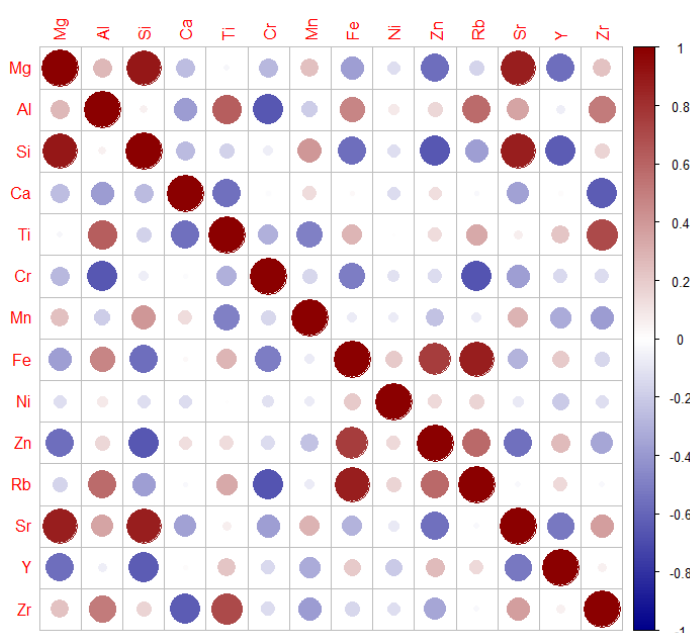


Рисунок 65. Корреляционная матрица элементов из образцов скв. Роч-2016 на правом берегу р. Рыча в районе пос. Пойменный.

На рисунке 65 насыщенность оттенков и диаметр круга означают величину коэффициента корреляции по модулю. Чем больше диаметр и насыщеннее окраска, тем больше эта величина. На шкале справа указаны значения коэффициента корреляции: синими оттенками показаны отрицательные значения, красными – положительные. Таким образом, элементы, встречающиеся в одинаковых интервалах по разрезу, будут иметь высокий коэффициент корреляции (большие круги насыщенного красного оттенка), элементы с низким коэффициентом корреляции обозначены большими кругами насыщенного синего оттенка.

На «тепловой карте» четко визуально идентифицируется наличие аномалий среди выборки (на основе z-оценки). Так, например, насыщенный красный цвет квадратов Са для образца 1450, Sr – для 1500, связан с наибольшим содержанием этих элементов в указанных образцах среди всех анализируемых. Аналогично, содержание Ni в образце 1150 является наименьшим в массиве. По разрезу выделяется связь элементов с количественным

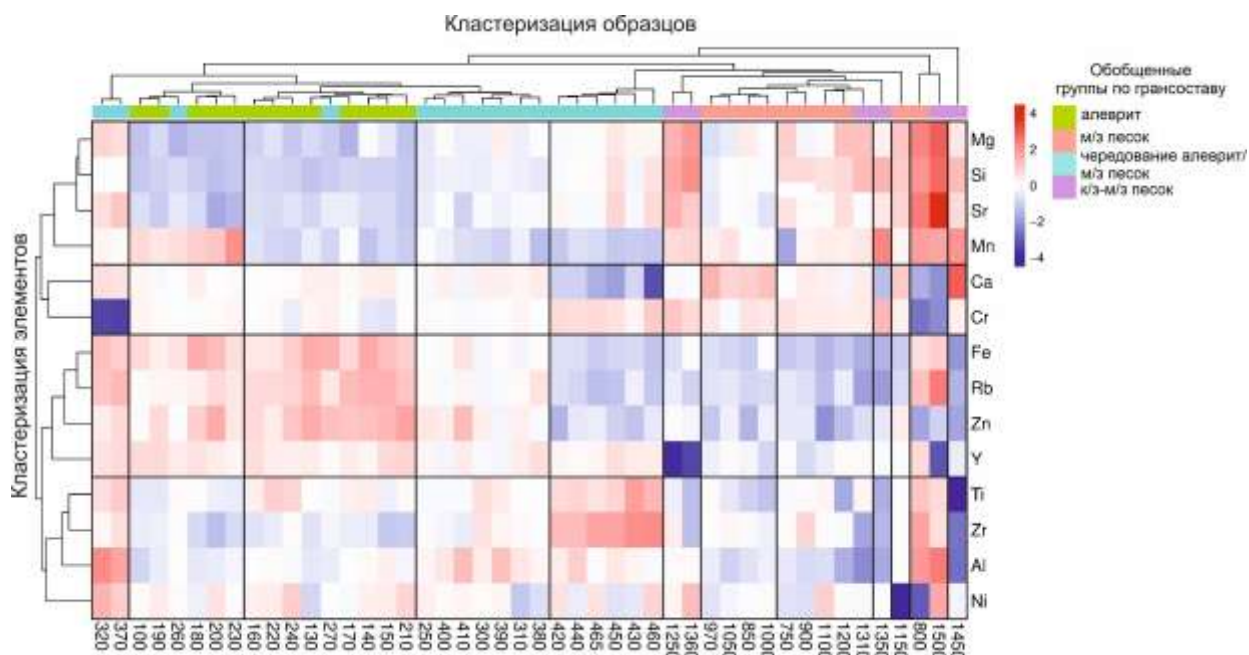


Рисунок 66. Результаты кластеризации элементов и образцов из скв. Роу-2016 на правом берегу р. Рыча в районе пос. Пойменный. Номера образцов соответствуют глубине отбора в см (Лысенко и др., 2025).

распределением гранулометрических фракций. Концентрации Si заметно увеличиваются в образцах с содержанием фракции 250-1000 мкм (1 и 2 группы, выявленные по гранулометрии). Это позволяет предположить, что данная фракция сложена преимущественно зернами кварца. С фракцией алеврита связаны минералы-носители Fe, Rb, Zn, Y.

Выявлена высокая корреляция Mg с Si и Sr – 1, а также с Al, Zr и Mn (0,4-0,5). Вероятнее всего, это свидетельствует о присутствии слюды: совместное нахождение Si, Al, Mg характерно для смектита, в котором Mn может находиться в виде примеси; Sr встречается в биотите в виде примесей (Дир и др., 1966).

Элементы Al, Ti и Zr выделяются в единый кластер, они приурочены к фракции мелкозернистого песка или прослоев с чередованием мелкозернистых песков и алевритов. Концентрация Ti и Zr в песчаной фракции объясняется тем, что данные элементы входят в состав устойчивых к истиранию минералов (Демина и др., 2021).

Следует отметить резкое повышение доли Ca в образце с глубины 14,5 м. Раковинный детрит в данном образце отсутствует, по диатомеям и гранулометрическому составу реконструируются условия дельтовых протоков с дополнительным источником крупно-среднезернистого материала. В этом случае повышение доли Ca может быть связано с интенсивным размывом источника карбонатных пород, например, известняков Нижнего Поволжья.

На глубине 4,65-4,20 м наблюдается повышенное содержание Ti и Zr. Согласно исследованиям В.Е. Рясиной (1961), в составе современного аллювия р. Волги при переходе от русловых фаций к пойменным и старичным во фракциях 250-100 мкм и 100-50 мкм уменьшается содержание пироксена, магнетита, ильменита, циркона, при этом увеличивается доля слюд. То есть, в русловых фациях с повышенной долей частиц 50-250 мкм ожидается повышение содержания Zr (за счёт цирконов) и Ti (за счёт других тяжёлых минералов). По данным гранулометрии, совместное преобладание Ti и Zr в разрезе отвечает наиболее динамичным условиям с частым чередованием условий дельтовых проток и более спокойных гидродинамических обстановок. Вероятно, именно фактор частой смены гидродинамического режима способствует более интенсивному накоплению минералов тяжёлой фракции и обогащению Ti и Zr.

В верхних 2,5 м наблюдается чередование интервалов, обогащённых/обеднённых Mn. На глубинах 2,6; 2,3; 2,0; 1,6; 1,8 и 1,0 м в тонкозернистых алевритистых осадках наблюдается обогащение Mn, наряду с повышенной долей Fe. Это может свидетельствовать о господстве застойных условий осадконакопления.

В целом кластеры образцов по распределению элементов группируются следующим образом:

- в нижней части скважины (15-7,5 м) существенно преобладает Si, Mg и Sr, образец 14,5 м определён в отдельный кластер по резкому увеличению Ca (вероятно, отражается кратковременная смена источника сноса);
- в интервале 4,65-4,20 м наибольшее содержание Ti и Zr, что связано с частой сменой гидродинамического режима;
- выше 4,2 м содержание Si падает на фоне обогащения элементами, характерными для глинистых минералов, что в первую очередь связано с гранулометрическим составом осадка.
- в верхней части скважины (2,5-1,0 м) в некоторых прослоях (2,6; 2,3; 2,0; 1,6; 1,8 и 1,0 м) выявлено обогащение одновременно Mn и Fe, что предполагает застойные условия осадконакопления и соотносится с обстановками ильменя или полоя (до данным диатомового анализа).

Ниже представлено сопоставление результатов диатомового, гранулометрического и геохимического анализов (Рисунок 67).

*Палеогеографическая интерпретация.* Согласно полученным результатам, в привершинной части дельты (пос. Пойменный) 15-метровая толща преимущественно песчаных отложений формировалась в пресноводных условиях. По информации из фондовых материалов (скв. 3608 – Рисунок 68), мощность голоценовых отложений,



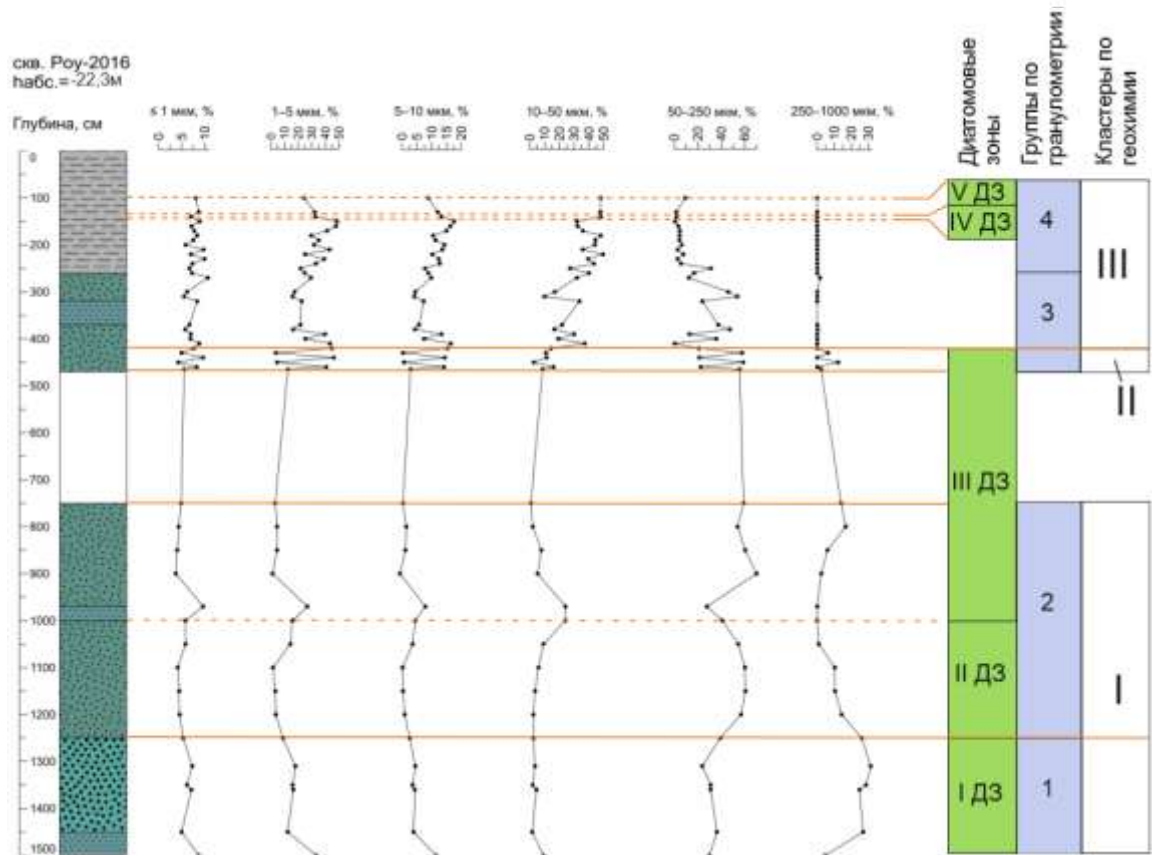


Рисунок 67. Сопоставление результатов диатомового, гранулометрического и геохимического анализов для образцов из скв. Роу-2016 на правом берегу р. Рыча в районе пос. Пойменный. Пунктирными линиями обозначены границы, выявленные на основе результатов 1 анализа, сплошными – по результатам нескольких анализов. Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 59.

которые представлены в основном речным аллювием с линзами озёрных осадков, в этом районе составляет более 20 м (Акуз и др., 1961).



Рисунок 68. Местоположение скв. Роу-2016 на правом берегу р. Рыча в районе пос. Пойменный, изученной в работе, и скв. 3608 (Лысенко и др., 2025, по: Акуз и др., 1961).

Следовательно, весь интервал керна скв. Роу-2016 в привершинной части дельты можно отнести к голоценовому периоду. В нижней части разреза (12,5–15,0 м) состав осадков представлен наиболее крупными частицами из всех изученных образцов. Высокая доля крупно-среднезернистых песков (около 30%) не соответствует типичной для дельтовых проток размерности (мелкозернистые пески) и имеет больше сходства с размерностью донных отложений Нижней Волги (участок русла ниже Волгоградской ГРЭС), которые представлены разномерными песками от 150 до 500 мкм (Нижняя Волга, 2002). Единичные находки пресноводных диатомей в изученном ископаемом материале, вероятно, свидетельствуют об аллювиальном генезисе осадков. По-видимому, этот этап развития водотока характеризовался более интенсивным врезанием. Дополнительный привнос крупных частиц также может быть связан с размыванием более древних отложений. Высокая доля Si в этом интервале может свидетельствовать как об интенсивном терригенном сносе, так и о переотложении осадков, так как кварц является устойчивым минералом. Его доля повышается в осадках, подвергшихся интенсивной переработке. По стратиграфическим данным (см. п. 2.2.), для голоценовых осадков в дельте Волги подстилающими являются хвалынские отложения. На разрезе к литолого-геологической карте дельты Волги в данном районе на абсолютной высоте -38 – -40 м выделена предположительная граница с нижележащими аллювиальными песками позднехвалынского возраста, на высоте -50 м – с нижележащими морскими песками хазарского возраста (Акуз и др., 1961). В изученной скважине Роу-2016 абсолютная высота залегания отложений с крупно-среднезернистыми песками составляет от -37,3 м до -34,8 м, что ближе к высоте залегания верхнехвалынской аллювиальной толщи. Также не обнаружено обломков створок морских диатомей, которые могли бы свидетельствовать о переотложении морских хазарских осадков. Согласно данным Лобачевой Д.М. с соавторами (2021), для бугровых толщ хвалыньских отложений, широко распространённых в дельте Волги, не характерны крупно-среднезернистые пески, что также свидетельствует в пользу хвалыньских аллювиальных отложений как источника материала. Таким образом, источником крупных частиц могут служить верхнехвалыньские аллювиальные пески, вскрытые во время интенсивного врезания водотоков. На примере исследования голоценовых осадков шельфа Северного Каспия мы выяснили, что геохимический состав осадков может быть унаследован от размытых отложений (Лысенко и др., 2024; Berdnikova et al., 2023). Согласно фондовым материалам, фация руслового аллювия подстилающих позднехвалыньских песков представлена кварцевым песком со значительной примесью темноцветных минералов (Акуз и др., 1961).

Из слюд среди темноцветных минералов главными породообразующими являются биотит и мусковит, из группы амфиболов – роговая обманка (Вишневская, 1982; Немец, 1982). Наши геохимические данные из скв. Рой-2016 показывают существенное обогащение Si и высокую корреляцию Mg с Si и Sr, а также чуть менее выраженную – с Al, Zr и Mn. Также в изученном интервале наблюдается повышенная доля Ca. Вероятнее всего, это свидетельствует о присутствии слюд: совместное нахождение Si, Al, Mg характерно для биотита, в котором Ca и Sr встречаются в виде примеси, и мусковита. Mn может находиться и в других слюдах в виде примеси – например, в смектите (Дир и др., 1966). Также обогащение Al, Mg, Si и Ca может свидетельствовать о присутствии роговой обманки (Дир и др., 1965). Для более корректных выводов необходимы данные о содержании K и Na, отсутствующие в наших геохимических данных.

Таким образом, в интервале 12,5-15,0 м в скв. Рой-2016 нетипичные для голоценовых осадков дельты отложения выделяются в большей степени на основе гранулометрического состава и стратиграфического положения в разрезе. Вероятно, в этот период имело место интенсивное врезание водотока. Подобные условия создаются при регрессивных стадиях Каспия, когда в дельте происходит концентрация стока в крупных протоках, что приводит к усилению донной эрозии. В начале голоцена наиболее интенсивное врезание водотоков и размыв отложений доголоценового возраста характерны для мангышлакской регрессии. Абсолютная высота уровня Каспия в это время оценивается разными авторами от -56 м (Леонтьев и др., 1976) до -90 м (Маев, 2009; Bezrodnykh, Sorokin, 2016). Скважина Рой-2016 заложена на относительно возвышенном участке дельтовой равнины, вблизи правого борта одного из рукавов дельты, по которому осуществлялся сток Волги в мангышлакское время (см. рис. 10 в гл. 2). Исходя из сопоставления полученных результатов с опубликованными данными и фондовыми материалами, можно отнести формирование этого интервала изученных отложений в привершинной части дельты к мангышлакскому времени.

Реконструкции развития растительности и климата на основе палинологического анализа разрезов Нижнего Поволжья и скважин в дельте Волги выполнены Н.С. Болиховской, только для дельты Волги – Н.С. Болиховской и К. Ричардсом (Болиховская, 2011; Болиховская, 2019; Bolikhovskaya, Kasimov, 2010; Richards, Bolikhovskaya, 2010; Richards et al., 2014; Richards, 2018, см. гл. 1.2.1). В мангышлакское время на территории Нижней Волги доминирующим типом растительности были разнотравно-злаковые и марево-полынные степи с участками елово-соснового редколесья. Возрастает континентализация климата на фоне некоторого похолодания. Отложения мангышлакской регрессии датируются 10250-9500 кал. л.н. и соответствуют раннебореальному периоду (Болиховская, 2019, Рисунок 69). На территории Дамчикского участка дельты Волги

скв. Роу-2016  
набс. = -22,3 м

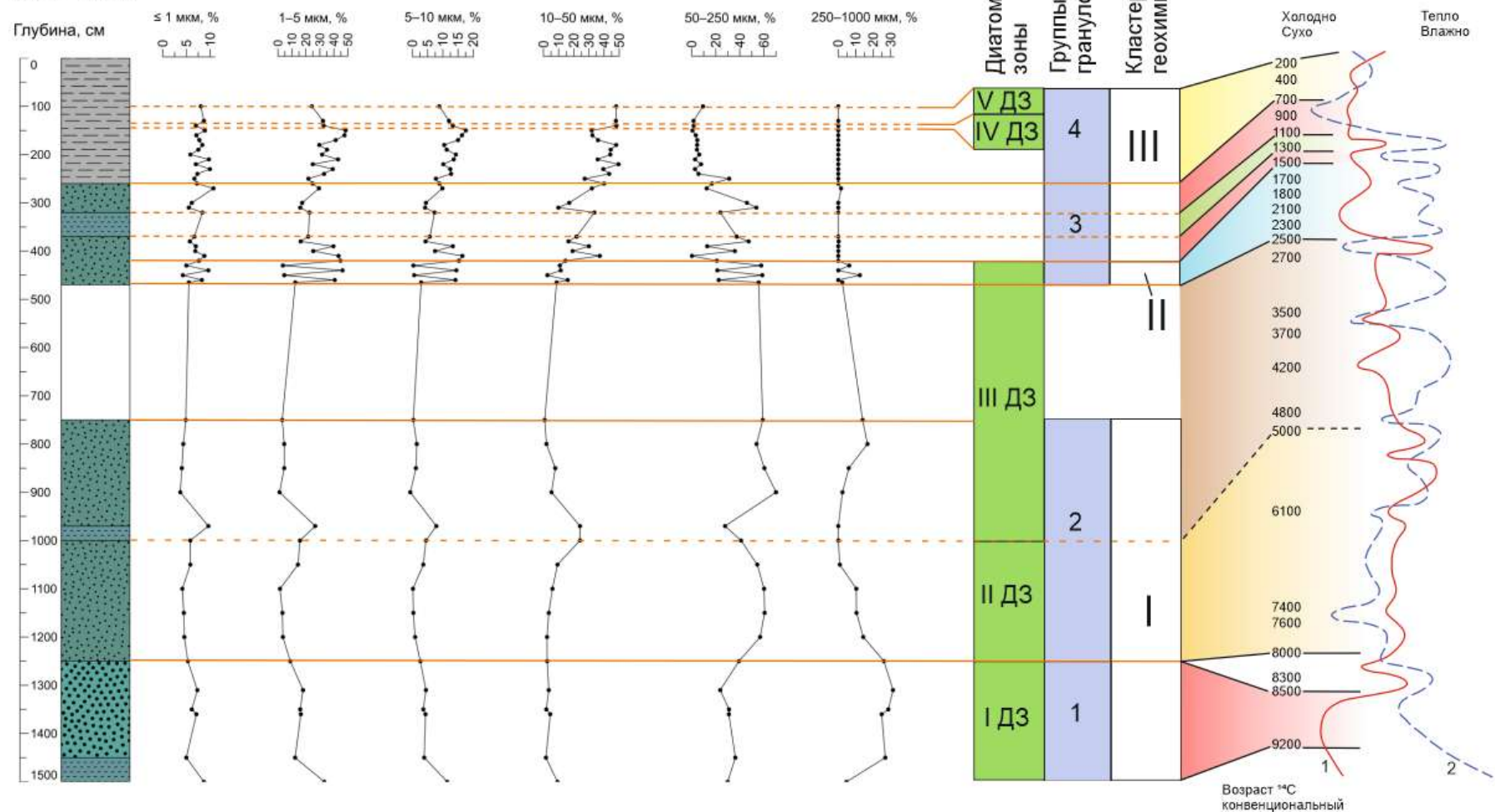


Рисунок 69. Корреляции событий, реконструированных в скв. Роу-2016 (правобережье р. Рыча, район пос. Пойменный), с климатическими реконструкциями на основе палинологического анализа материалов из разрезов Нижней Волги (по: Болиховская, 1990; 2011). Цифрами обозначены кривые колебания: 1 – теплообеспеченности, 2 – влагообеспеченности.

данные отложения вскрыты в нижней части шести из восьми скважин, изученных палинологическим и радиоуглеродным методами. По данным К. Ричардса (Richards, 2018), этот интервал представлен опесчаненным материалом с рыжеватой окраской, которую автор связывает с субэральными условиями осадконакопления. Автором также реконструированы засушливые и прохладные климатические условия.

Время мангышлакской регрессии по данным скважин Дамчикского участка оценивается древнее 9010 кал. л.н. Результаты изучения отложений разреза Солёное Займище в Нижнем Поволжье и комплекса скважин на Дамчикском участке дельты Волги на основе реконструкций Н.С. Болиховской и К. Ричардса с привлечением радиоуглеродных данных были обобщены, на основе чего авторы выделили четыре фазы развития волжской дельты в голоцене (Richards et al., 2014; Richards, 2018; Рисунок 70).

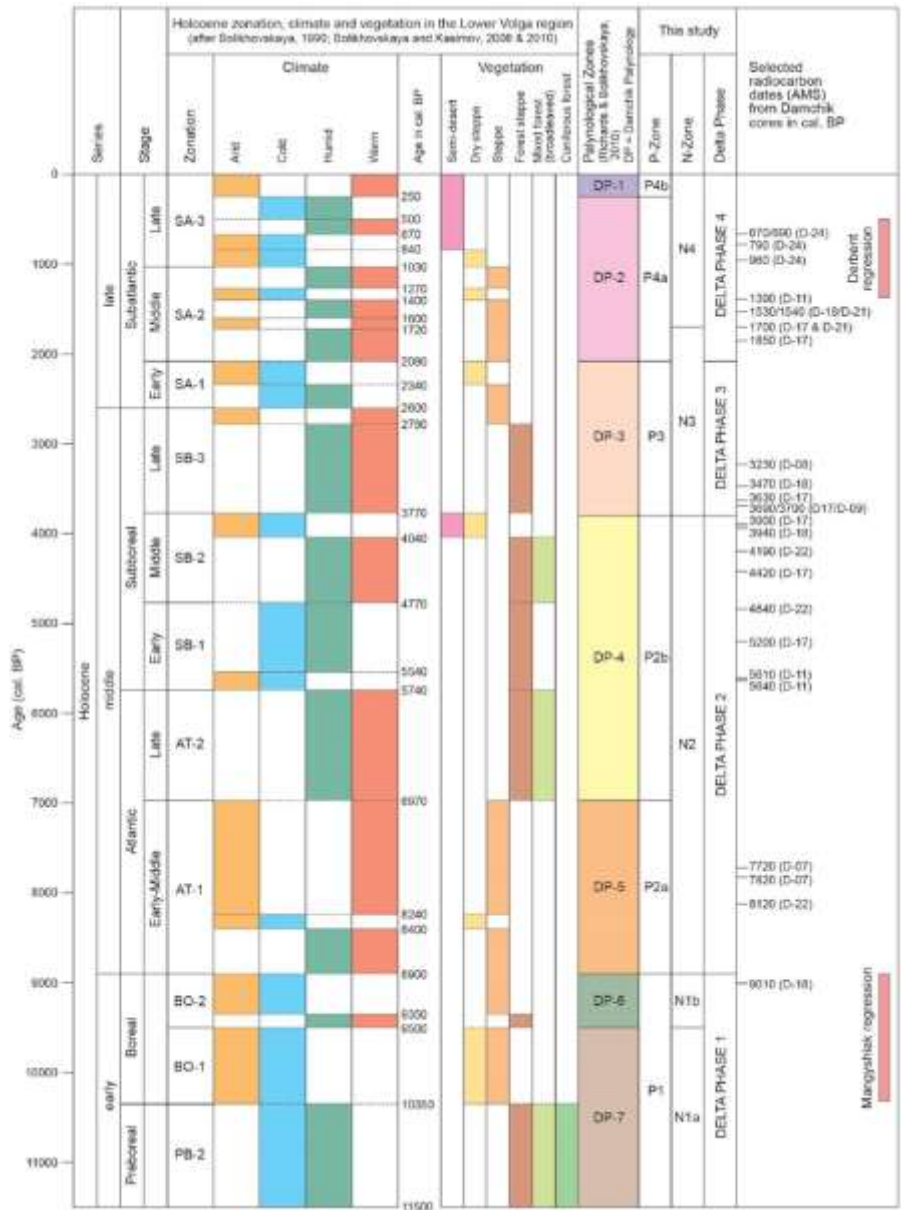


Рисунок 70. Этапы изменения растительности и климата Нижнего Поволжья, дельты Волги и колебания уровня Каспийского моря за последние 11.5 тысяч лет (Richards et al., 2014).

Отложения, выявленные нами в основании скважины Роу-2016, по-видимому, соответствуют мангышлакской регрессии в рамках 1 фазы развития дельты.

Выше по разрезу в скв. Роу-2016 (12,5–4,65 м) выделяется довольно длительный этап осадконакопления, соответствующий руслу дельтовой протоки, с небольшим прослоем алевроитов 9,7 м, который, по-видимому, отвечает кратковременному этапу развития слабопроточных условий. Последующие этапы новокаспийской трансгрессии не оказали прямого влияния на данный участок территории, однако в отложениях выделяется несколько циклов развития водотока: условия зарастающей протоки сменяются обстановками русла дельтовой протоки, близкой по видовому составу диатомовых водорослей к современным ассоциациям. По данным гранулометрии, ранний цикл осадконакопления соответствовал более стабильным условиям, приближенным к обстановкам дельтовых проток с дополнительным источником мелкого материала, и длительному воздействию среды осадконакопления. Между двумя толщами выделяется кратковременный этап слабопроточных обстановок осадконакопления. По мнению диссертанта, это может свидетельствовать о смене циклов от постепенного зарастания и заиления протоки на фоне относительно стабильного положения уровня базиса эрозии до следующего этапа более активного терригенного стока, врезания и повторного развития дельтовой протоки. Абсолютная высота заложения скважины составляет -22,3 м. Максимальные высотные отметки уровня новокаспийской трансгрессии по оценкам разных авторов составляют от -19 до -20 м (Варущенко и др., 1987; Рычагов, 2019). По нашим данным не удалось выявить факт прямого влияния каспийских вод на осадконакопление, однако, для однозначных выводов материалов одной скважины недостаточно. По палинологическим данным, в Нижнем Поволжье во время атлантического ( $\approx 8000-5000$  л.н.) и суббореального (5000-2500 л.н.) периодов выделяются длительные этапы развития одного типа зональной растительности. В атлантическом периоде преобладали степи (с участками хвойно-широколиственных лесов – при потеплении), сменившиеся лесостепями с широколиственными и хвойно-широколиственными лесами в позднеатлантическое время главного климатического оптимума.

В суббореальном периоде доминировали лесостепи (с хвойно-широколиственными лесами – во время среднесуббореального оптимума). Также в конце средне- и поздне-суббореального периодов выделялись кратковременные этапы аридизации: 4040-3700 кал. л. н. – с развитием зональной растительности сухих степей и полупустынь и 2780-2600 кал. л. н. – с господством степной растительности с дубовыми и мелколиственными лесами (Болиховская, 2019). В работах Н.С. Болиховской (2011, 2019) проведена корреляция палеоклиматических событий с колебаниями уровня Каспия (по Варущенко и



др., 1987). На основе сопоставления этих данных выявлено, что во время атлантического и суббореального периодов зафиксировано несколько крупных трансгрессивных стадий новокаспийского бассейна:

- 1) начальная или первая раннеголоценовая, датируемая в интервале  $8000 \pm 150$  и  $7530 \pm 160$  л.н. (Варущенко и др., 1987) или около 8000-7000 л.н. (Рычагов, 2019);
- 2) талгинская или гоусанская, датируемая в интервале  $5940 \pm 100$  и  $5390 \pm 110$  л.н. (Варущенко и др., 1987). По времени эта трансгрессия соответствует первому пику туралинской (максимальной) стадии, выделенной Г.И. Рычаговым (2019);
- 3) туралинская (по: Варущенко и др., 1987), датируемая в интервале  $3540 \pm 120$  и  $3000 \pm 120$  л.н. По времени эта трансгрессия соответствует уллучаевской трансгрессии Каспия, выделенной Г.И. Рычаговым (2019).

Вероятнее всего, осадконакопление в интервале 12,5–4,65 м изученной нами скв. Роу-2016 происходило во время довольно длительных этапов развития одного типа зональной растительности (степей – в атлантическом периоде, лесостепей – в суббореальном) и, как минимум, трёх стадий поднятия уровня Каспия, одна из которых была максимальной в голоцене. Выделенный нами интервал соответствует Фазе 2 и частично Фазе 3 развития дельты (Richards, 2018; Рисунок 70). Согласно исследованиям разных авторов (Варущенко и др., 1987; Рычагов, 2019), абсолютная высота голоценовых трансгрессивных стадий Северного Каспия уменьшается к концу периода. Таким образом, максимального уровня достигали ранние трансгрессивные этапы. По нашим данным, ранний этап осадконакопления в интервале 12,5-10,0 м в скв. Роу-2016 происходил в условиях зарастающей протоки, близкой по составу диатомовых ассоциаций к ер. Лотосному, что может косвенно свидетельствовать о более высоком подъёме уровня базиса (Каспийского моря), по сравнению с этапом формирования осадка в интервале 10,0-4,65 м.

В интервале 4,65–4,20 м в скв. Роу-2016 по гранулометрии и геохимии выделяется этап осадконакопления с частой сменой условий от типичных дельтовых проток до обстановок со смешанным составом частиц, который может достигаться как установлением более застойного режима водоёма, так и поступлением более мелкого материала. Согласно палинологическим данным из разрезов в Нижнем Поволжье, субатлантический период, датируемый от  $\approx 2500$  л.н. до настоящего времени, отличается многократной сменой климатических условий, что особенно отражается на кривой колебания влагообеспеченности (Болиховская, 2019). Следовательно, частая смена условий осадконакопления в скв. Роу-2016 в интервале 4,65–4,20 м может быть следствием частых климатических изменений. По результатам диатомового анализа, выполненного в этой работе, к этому интервалу можно отнести образец 4,4 м из III ДЗ, характеризующий условия

дельтовой протоки, по-видимому, соответствующий одной из фаз относительного повышения влагообеспеченности. В целом в субатлантическом периоде на раннем этапе (до 900 л.н.) доминировали степные ландшафты, сменившиеся полупустынными (от 900 л.н. до настоящего времени; Болиховская, 2019). По результатам сопоставления с палеогеографическими событиями Северного Каспия, в субатлантическом периоде в интервале  $2000 \pm 140$  л.н. и  $1570 \pm 140$  л.н. выделяется улучайская трансгрессия (Варущенко и др., 1987). Согласно кривой колебания уровня Каспия, обобщённой Г.И. Рычаговым (2019), поздний пик уллучаевской трансгрессии отнесён к более раннему времени – около 2.5 тыс. л.н.

По данным гранулометрии в скв. Роу-2016 в интервале 4,20-2,50 м периоды колебания условий осадконакопления от обстановок дельтовых проток к застойным условиям менее резкие, что, по-видимому, отвечает более длительным периодам изменения влагообеспеченности. Остатки диатомовой флоры не обнаружены, что может быть связано с этапом аллювиального осадконакопления при крайне высоких скоростях седиментации. Вероятнее всего, этот этап связан с длительной регрессивной фазой Каспия – дербентской регрессией. Она датируется О.К. Леонтьевым и Г.И. Рычаговым (1982) в интервале 1400-800 л.н., С.И. Варущенко с соавторами – около 1550-700 л.н. По результатам палинологического анализа, дербентская регрессия могла усложняться подъёмом уровня моря 1270-1030 кал. л.н. в связи с потеплением и увлажнением климата (Болиховская, 2019), который, вероятно, соответствует суглинистому прослою на глубине 3,2-3,7 м в скв. Роу-2016. По данным К. Ричардса (Richards, 2018) в скважинах на Дамчикском участке дельты Волги этап дербентской регрессии наиболее достоверно датируется в интервале 1180-570 кал. л.н. Очевидно, эти датировки отвечают второму этапу регрессии после кратковременного потепления и увлажнения климата, выделенному Н.С. Болиховской в разрезах Солёное Займище (2019).

В скв. Роу-2016 на глубине 2,5-0 м по результатам гранулометрического и геохимического анализов выявлены условия осадконакопления в спокойной гидродинамической обстановке с одновременным Mn и Fe в некоторых прослоях, что предполагает застойные условия осадконакопления. С глубины 1,5-0 м формирование осадка происходит при большем влиянии фактора саморазвития водотоков дельты, они выделены и детализированы по диатомеям. В IV ДЗ (1,4 м) выявлены условия ильменя, установление которых может быть связано с большим увлажнением территории. В V ДЗ (1,0-1,4 м) реконструировано полужайское осадконакопление, соответствующее условиям недавнего прошлого (до появления рисовых чеков и дорожной насыпи), когда рельеф ильменно-полужайской впадины не был изменён обваловкой (Рисунок 58).

Начало выделенного интервала, по-видимому, соответствует времени новейшей (современной) трансгрессии Каспия, начавшейся примерно в XVI в. (Варущенко и др., 1987). Этапы осадконакопления, предположительно соответствующие дербентской регрессии и последующей новейшей трансгрессии Каспия, выделенные в осадках скв. Роу-2016, соотносятся с Фазой 4 развития дельты (по: Richards, 2018; Рисунок 70).

#### 4.3.2. Центральная дельта<sup>6</sup>

##### Описание района и литологические характеристики изученных осадков

Изученный участок центральной дельты располагается в районе пос. Бараний Бугор на право- и левобережье р. Болда – левого рукава р. Волга, отделяющегося от неё севернее г. Астрахань. На правобережье участок дельты представляет собой дельтовую равнину, осложнённую бэровскими буграми. В этом районе объекты изучения приурочены к Аничкиному бугру в 1,2-1,5 км к юго-западу от уреза р. Болда и примерно в 1,6 км к юго-западу от с. Бараний Бугор (Рисунок 71). Форма рельефа представляет собой бэровский бугор высотой 7-8 м, вытянутый с северо-востока на юго-запад. Ориентировка бугра отличается от «классических» бэровских бугров в дельте Волги, вытянутых субширотно. На Аничкином бугре расположен археологический памятник Семибургы-1 салтово-маяцкой культуры (VI-X вв.), которую идентифицируют с хазарами. В рамках совместных работ с археологами с целью решения вопроса об уровне подъёма Каспия во времена существования изучаемой стоянки на поверхности бугра и в прилегающем межбугровом пространстве было пробурено 17 скважин (Рисунок 71).

Рельеф изучаемой области подвергся сильному антропогенному преобразованию. Поверхность дельтовой равнины и межбугровых понижений осложнена рисовыми чеками (обваловками и мелиоративными каналами), ныне заброшенными, что осложняет формирование представлений о природном рельефе данной местности, которая за пределами бэровских бугров отличается малыми перепадами высот. По данным и.о. директора Каспийского филиала ИО РАН С.А. Котенькова, в 1984-86 гг. верхняя часть

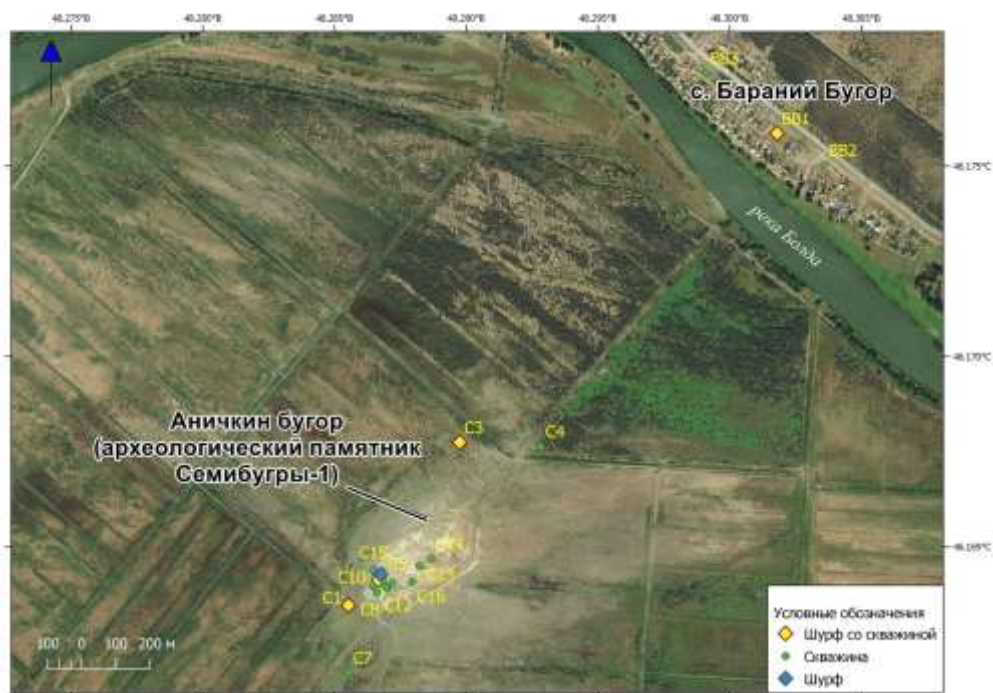
---

<sup>6</sup> При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично и в соавторстве, в которых, согласно положению о присуждении учёных степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

Матлахова Е.Ю., Макшаев Р.Р., Лобачева Д.М., **Лысенко Е.И.**, Ткач А.А., Ткач Н.Т., Котеньков С.А., Соловьев Д.С. Влияние колебаний уровня Каспия и динамики русловой сети дельты Волги на расположение и развитие хазарских поселений Семибугоринского археологического комплекса // *Limnology and Freshwater Biology*. 2024. № 4. С. 513–515.

**Лысенко Е. И.**, Макшаев Р. Р. Диатомеи в колонках голоценовых отложений средней части дельты р. Волга (в районе с. Бараний Бугор) // *Вопросы современной альгологии (Issues of modern algology)* – *algology.ru*. 2023. Т. 2, № 32. С. 99–101.

а)



б)



Рисунок 71. Схема расположения точки отбора С1 и комплекса скважин на Аничкином бугре – территории археологического памятника Семибургры-1: а) относительно р. Болда, б) окрестности Аничкиного бугра (рис. Р.Р. Макшаева).

толщи Аничкиного бугра (приблизительно до 1,5 м осадков) снята скрэппером при проведении земляных работ. Ниже представлена геоморфологическая схема исследуемого участка (Рисунок 72).



Рисунок 72. Естественный и антропогенный рельеф в районе заложения комплекса скважин и шурфов вблизи с. Бараний бугор на право- и левобережье р. Болда.

Отбор образцов производился из скв. С1 и С17, однако для целей комплексного изучения выбран только материал из точки С1, поэтому в работе подробно приводится только описание шурфа С1 и одноимённой скважины. Точка отбора С1 располагается на участке дельтовой равнины в межбугровом пространстве, которое не подвергается регулярному затоплению в половодье, на поверхности заброшенного рисового чека (Рисунок 73). Абсолютная высота бровки шурфа составляет -26,6 м. Глубина шурфа С1 – 1,8 м, длина керн скважины, полученного методом ручного бурения в днище шурфа – 2,4 м, общая мощность изученных отложений – 4,2 м.

Изученные отложения представляют собой широкий набор литологических разностей. Скважинный материал представлен преимущественно тёмно-серыми алевритами (4,2-3,3 м) и суглинками (3,3-3,0 м) с пятнами ожелезнения, которые выше по разрезу сменяются серыми супесями (3,0-2,4 м) и рыжеватыми алевритами (2,4-1,8 м). В основании шурфа вскрывается небольшой прослой алеврита (1,8-1,6 м), который выше по разрезу сменяется песками и супесями (1,6-0,25). На глубине 0,9-1,1 м отмечаются обломки керамики. Верхние 0,25 м представлены лёгким суглинком (гидроморфной почвой).



а)



б)



Рисунок 73. Окрестности точки С1: а) вблизи шурфа (фото автора), б) вид со стороны Аничкиного бугра (фото Лобачевой Д.М.).

Для целей диатомового, гранулометрического и геохимического методов образцы отобраны по всему изученному разрезу. Для диатомового анализа отобрано 25 образцов, для гранулометрического и геохимического анализов образцы отобраны из одинаковых интервалов в количестве 14. Для радиоуглеродного анализа отобрано 2 образца (Рисунок 74, см. п. 3.2).



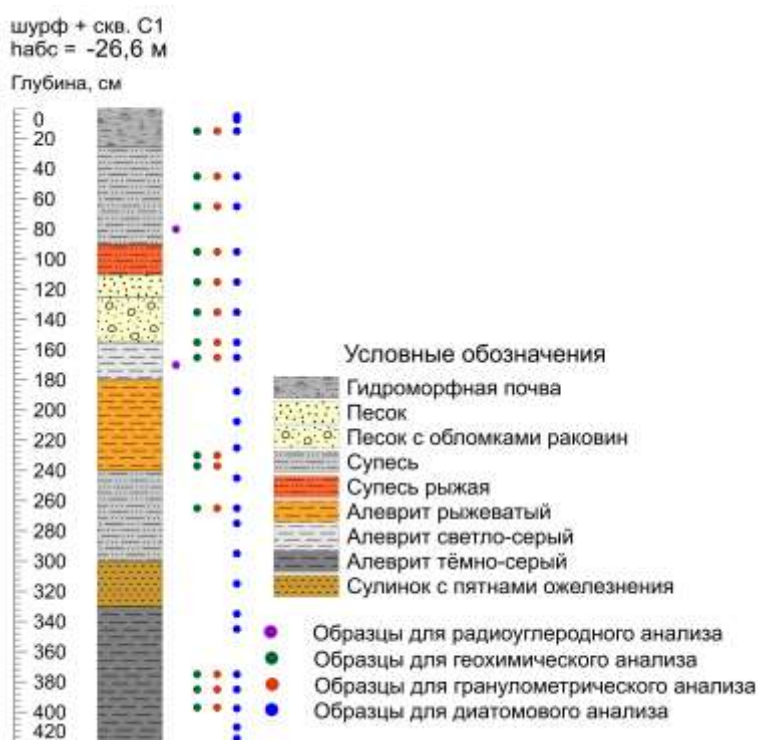


Рисунок 74. Схематический разрез шурфа (0-180 см) и скважины (180-420 см) С1 (с. Бараний Бугор) на правом берегу р. Болда у подножия Аничкиного бугра в районе археологического памятника Семибугры-1.

На левобережье р. Болда исследуемый участок представляет собой кулочно-ильменную дельтовую равнину, которая также осложнена рисовыми чеками. По сравнению с правобережным участком, на левом берегу р. Болда вблизи района исследований бэровские бугры встречаются гораздо реже. В целом поле высот на плоской поверхности равнины отличается более низкими значениями: -27,3 м на левобережье против -26 м – на правобережье. Вблизи участка проведения работ отмечается один бэровский бугор в 1 км к северо-западу от с. Бараний Бугор. На космических снимках на исследуемой поверхности прослеживаются очертания палеорусел, которые, однако, сложно идентифицировать на местности в связи с антропогенными изменениями рельефа и крайне малыми перепадами высот (см. Рисунок 72).

В этом районе также пробурен комплекс скважин в количестве 10, заложено 6 шурфов. Для целей комплексного изучения выбран керн скважины ББ9, для диатомового анализа – скв. ББ1 (Рисунок 75). Сква. ББ1 заложена на поверхности кулочно-ильменной равнины на левобережье р. Болда на территории с. Бараний Бугор. Абсолютная высота заложения скважины составила  $\approx$  -24,0 м, глубина скважины – 230 см. В нижней части скважины осадок представлен суглинками (2,3-1,4 м), в которых увеличивается доля тонкозернистого песка по мере осадконакопления. Верхние 1,4 м осадка представлены супесями с включениями детрита раковин на глубине 0,83 м и обломками керамики в интервале 0,6-0,45 м. Для целей диатомового анализа отобрано 16 образцов (Рисунок 76).



Рисунок 75. Схема расположения скважин и шурфов на левобережье р. Болда в районе с. Бараний Бугор



Рисунок 76. Схематический разрез скважины ББ1 (рис. Р.Р. Макшаева) на левобережье р. Болда в районе с. Бараний Бугор.

Скв. ББ9 заложена на поверхности культурно-ильменной равнины на левобережье р. Болда. Абсолютная высота заложения скважины составила -27,3 м, глубина скважины – 5,7 м. Большая часть керна представлена сизовато-серыми алевроитами и глинами (5,7-1,7 м), которые сменяются толщей тонкозернистых песков с мощным прослоем лёгкого суглинка на глубине 1,0-0,5 м. Верхние 0,2 м представлены гидроморфной почвой. Для целей диатомового анализа отобрано 53 образца, гранулометрического – 45 образцов (Рисунок 77).

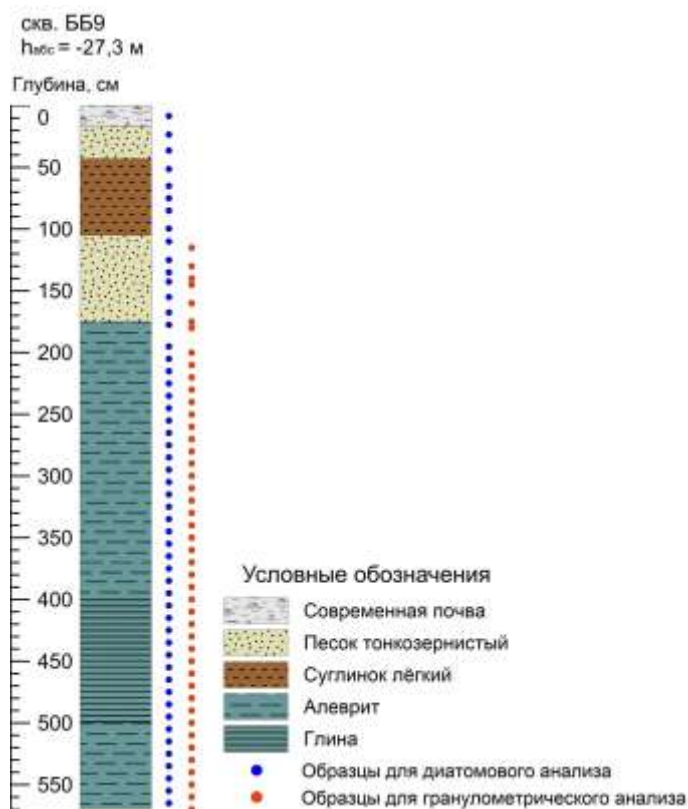


Рисунок 77. Схематический разрез скважины ББ9 на левобережье р. Болда в районе с. Бараний Бугор.

### Результаты исследований и палеогеографическая интерпретация

*Результаты анализа смер-слайдов.* Смер-слайды были подготовлены для образцов из шурфов и скважин в центральной части дельты С1, С17, ББ1–ББ9, ББ-11 и ББ23-01–ББ23-06 (см. Рисунок 71, Рисунок 75). Всего было подготовлено и проанализировано 432 смер-слайда. Диатомеи обнаружены в образцах из трёх скважин: С1, ББ1, ББ9. Данные скважины были выбраны для дальнейшей обработки. Материал этих скважин крайне скудно охарактеризован остатками диатомовой флоры. Все изученные створки относятся к пресноводным видам.

**Скв. + шурф С1.** *Результаты диатомового анализа, сравнение с результатами статистических методов.* Из 25 образцов, изученных из точки С1, диатомеи обнаружены в трёх из них. Образцы из стенок шурфа С1 оказались «немыми». В скв. С1 диатомеи

выявлены в следующих интервалах: 1,80-1,95 м; 3,40-3,50 м; 3,90-4,05 м. На глубине 1,80-1,95 м створки диатомей представлены единичными экземплярами (Рисунок 78).

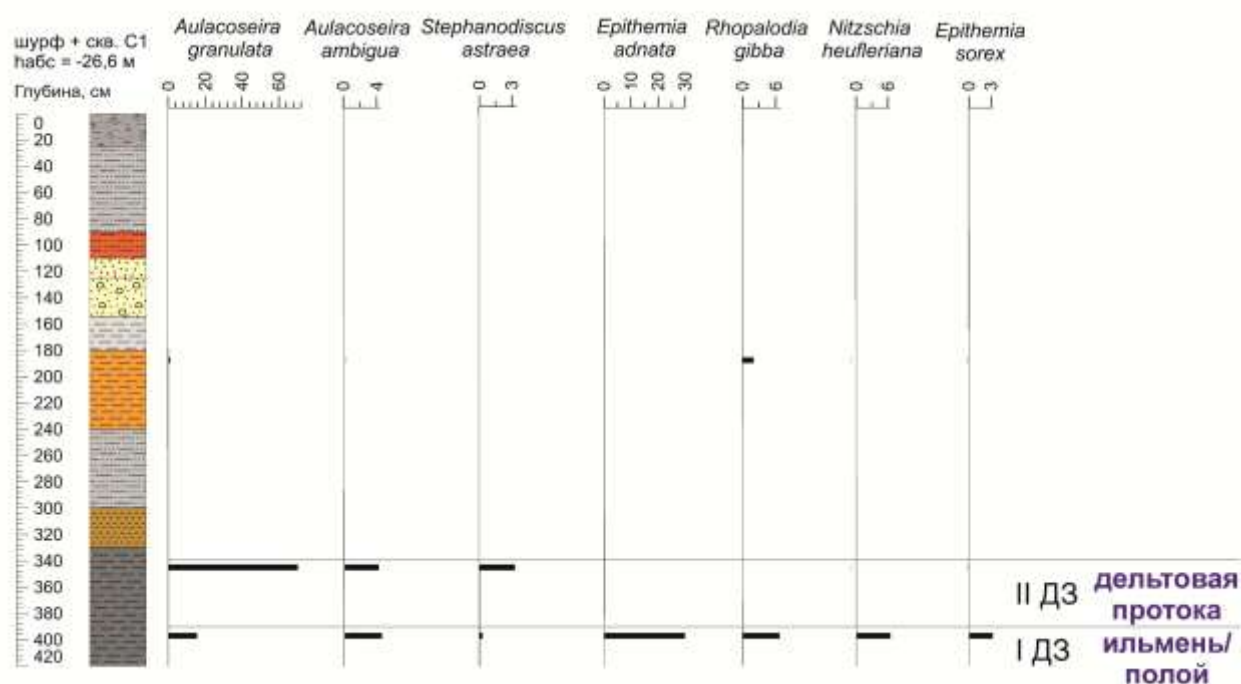


Рисунок 78. Условия формирования отложений, вскрытых скв. С1 на правобережье р. Болда в районе с. Бараний Бугор в центральной части дельты, по результатам диатомового анализа (изображены наиболее обильные виды). Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 74.

Всего в образцах скважины С1 выявлено 49 таксонов диатомей, также обнаружены спикулы губок по 6-8 экз.

Методом PCA проанализирована совокупная выборка образцов из современных водоёмов и из скважин С1 и ББ9 (Рисунок 79). Как было указано ранее (см. п. 4.3.1), для упрощения визуализации результатов статистической обработки, на графики ординации добавляются образцы из двух скважин. Скважины С1 и ББ9 рассматриваются совместно, ввиду близкого местоположения. В анализе не учитывались образцы, в которых диатомеи представлены единичными створками, численность диатомей в образцах является достаточной для сравнения с современными ассоциациями. Тем не менее, первые две компоненты объясняют 36,6% общей выборки, что позволяет выявить лишь наиболее общие тренды в видовом составе образцов. Для этой же совокупной выборки представлены результаты метода неметрического многомерного шкалирования (Рисунок 80). Образцы из скв. С1 на графиках находятся на большом расстоянии друг от друга, по сравнению с таковыми из скв. ББ9, что говорит о более существенных различиях в условиях осадконакопления.

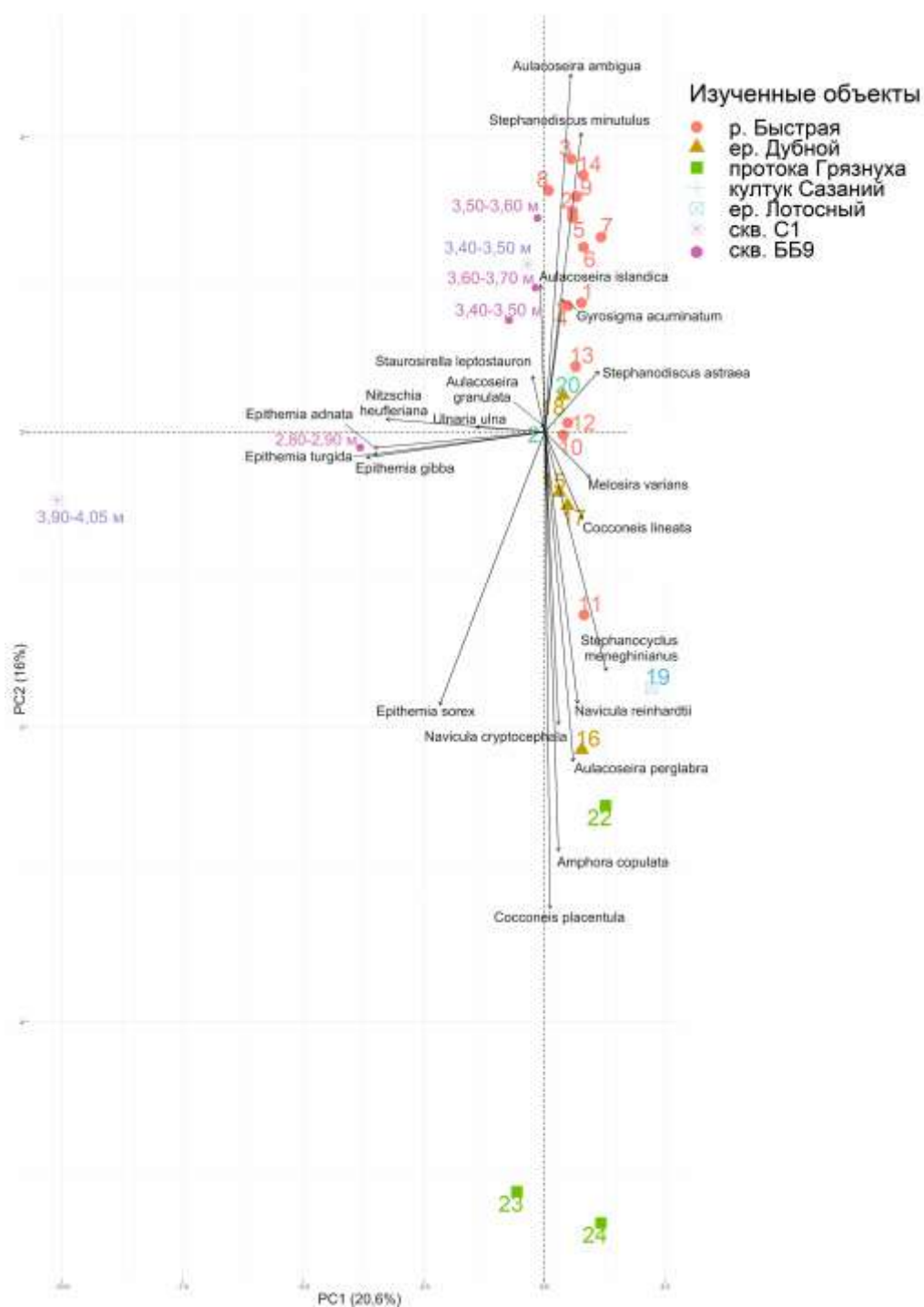


Рисунок 79. График факторных нагрузок и ординация исследованных образцов в осях значимых главных компонент для материалов из современных водоёмов и скважин ББ9 и С1 в районе с. Бараний Бугор в центральной части дельты. Расшифровка нумерации образцов из современных водоёмов указана в таблице 2 (см. п. 4.2)



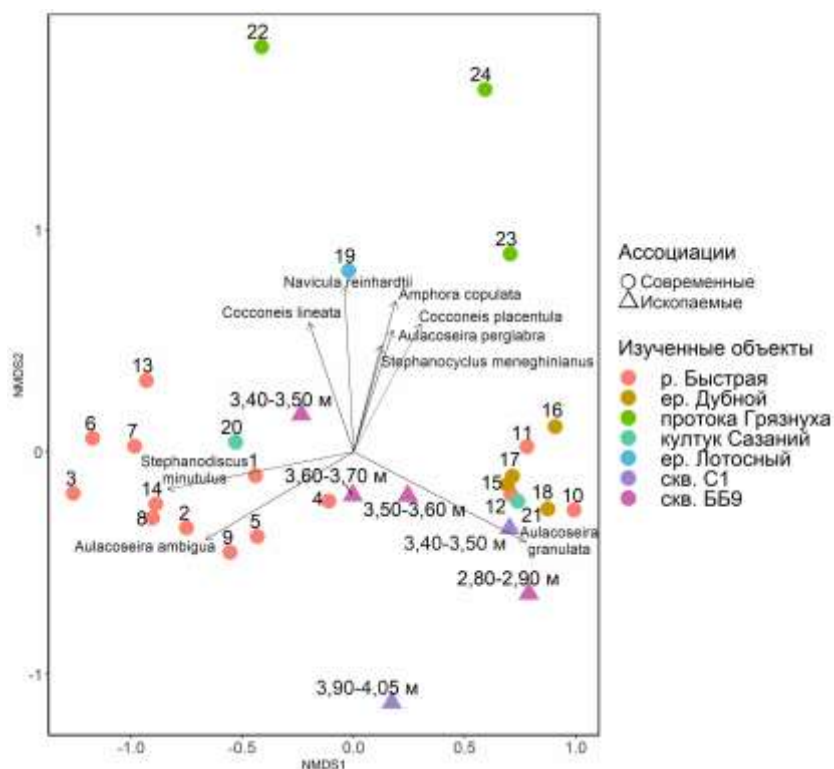


Рисунок 80. График ординации образцов из скважин С1 и ББ9 (район с. Бараний Бугор в центральной части дельты) и современных водоёмов дельты Волги по результатам NMDS. Расшифровка нумерации образцов из современных водоёмов указана в таблице 2.

На основе распределения видов и их экологических предпочтений (с опорой на данные о литологическом составе осадков) в нижней части керна, полученного из скважины С1, выделено 2 диатомовые зоны.

**I ДЗ (3,90-4,05 м)** выделена в слое алевритов, в неё входит образец 3,90-4,05 м. Он отличается наиболее богатым таксономическим разнообразием по разрезу: выявлено 30 видов диатомей. Преобладает бентосный вид *Epithemia adnata* (30,0%), субдоминант – *Aulacoseira granulata* (15,7%), доля створок *Rhopalodia gibba*, *Epithemia turgida* и *Nitzschia heufleriana* составляет примерно по 6%. Большинство видов представлено небольшим количеством створок (до 5). Концентрация створок невысока и составляет 82,7 тыс./г. Судя по литологическому составу и преобладанию озёрно-болотных видов диатомей, осадок накапливался в спокойных гидродинамических условиях пресного водоёма – ильменя.

Согласно результатам PCA (Рисунок 79), данный образец сильно отличается от современных диатомовых ассоциаций по видовому составу, что также подтверждается положением на графике ординации по результатам NMDS (Рисунок 80).

**II ДЗ (3,4-3,5 м)** выделена в верхней части слоя алевритов (супесей-суглинков), в неё входит образец 3,40-3,50 м. Таксономическое разнообразие несколько ниже – 19 видов, однако концентрация створок увеличивается примерно в 2 раза – до 172,8 тыс./г, что в целом говорит о более благоприятных условиях для развития диатомей. В образце преобладают планктонные виды. Доминантом является *A. granulata* (72%), у субдоминантных видов *Stephanodiscus astraea* и *Aulacoseira ambigua* доля створок низкая (4,3 и 3,4% соответственно). Литологический состав в данном интервале представляет



собой супесь/суглинок. Таким образом, в этом интервале можно однозначно реконструировать обстановки дельтовых протоков.

По результатам PCA данный образец приближен к современным ассоциациям из р. Быстрая (Рисунок 79). Это также подтверждается результатами NMDS – образец 3,40-3,50 м попадает в кластер р. Быстрая с преобладанием *Aulacoseira granulata*, что согласуется с реконструкциями обстановок дельтовых протоков.

Для интервала 180-195 см, в котором вскрыты рыжеватые алевроиты, характерны единичные створки пресноводных бентосных *Epithemia adnata*, *Craticula cuspidata*, *Rhopalodia gibba* и планктонных *Aulacoseira ambigua* диатомей, широко распространённых в современных осадках дельты Волги. Исходя из геоморфологического положения скважины и результатов диатомового анализа можно предположить, что в ходе осадконакопления застойные условия водоёма в межбугровом пространстве сменились более проточными, о чём свидетельствует рост доли планктонных видов. Формирование застойных условий в этом районе может быть связано с интенсивным затоплением во время половодий (как результат повышенного увлажнения территории) или с формированием ильменя в межбугровом понижении на фоне повышения уровня моря.

*Результаты гранулометрического анализа.* Ниже представлены графики распределения частиц по разрезу (Рисунок 81). По результатам гранулометрического анализа в скважине выделено 8 групп образцов, характеризующих разную динамичность сред осадконакопления. Для каждой группы построены обобщённые диаграммы распределения частиц на основе медианных значений (Рисунок 82).

По результатам гранулометрического анализа в скважине выделено 8 групп образцов, характеризующих разную динамичность сред осадконакопления. Для каждой группы построены обобщённые диаграммы распределения частиц на основе медианных значений (Рисунок 82).

В 1 группе (4,2-3,3 м) преобладает алевроит (крупный – 55%, средний – 10%, мелкий – 30%), доля глин составляет около 5%. Частицы песчаной размерности практически отсутствуют (1% мелкозернистого песка). Распределение частиц характерно для спокойных гидродинамических условий водоёма, вероятно, слабопроточного.

Во 2 группу (3,0-2,4 м) входит один образец. Распределение частиц смещается в сторону мелкозернистого песка (доля увеличивается до 30%), что свидетельствует о повышении динамичности среды. Источник песчаного материала – дельтовые протоки, в которых преобладает размерность 100-250 мкм (Бреховских и др., 2009).

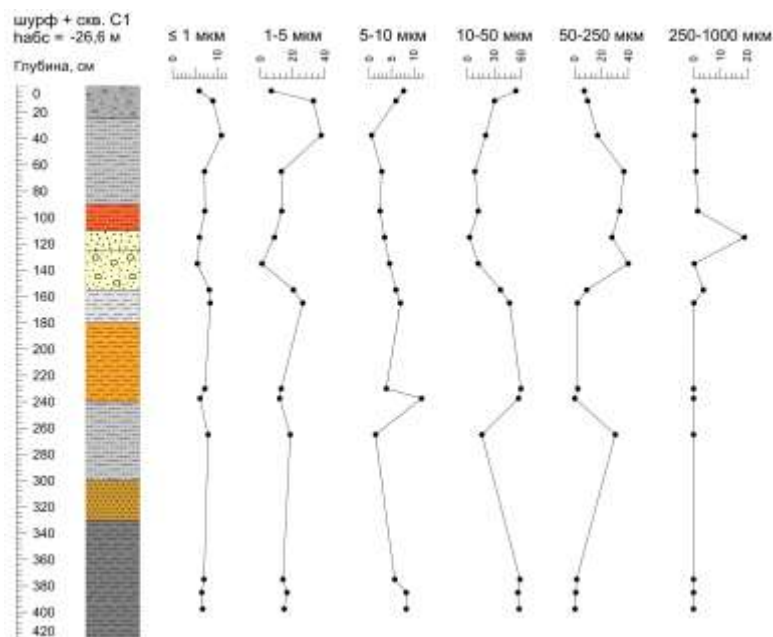
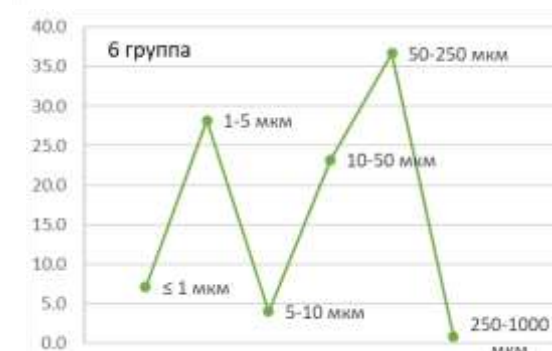
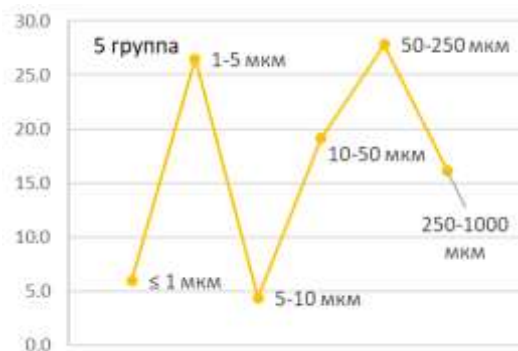
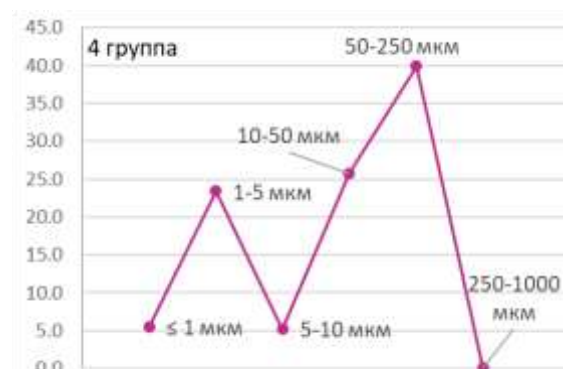
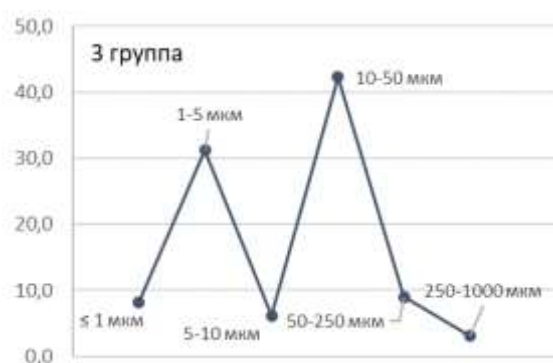
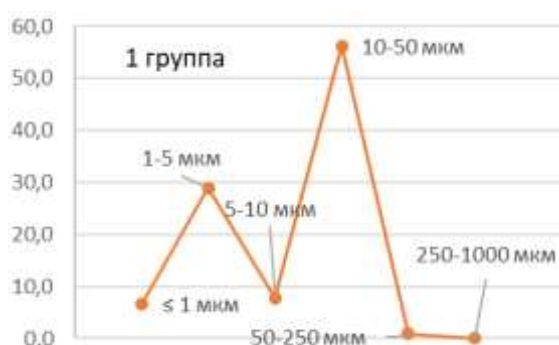


Рисунок 81. Схематический разрез шурфа (0-180 см) и скважины (180-420 см) С1 (правобережье р. Болда, район с. Бараний Бугор в центральной части дельты) и распределение по нему гранулометрических фракций. Точками обозначены места отбора образцов для геохимического и гранулометрического методов. Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 74.



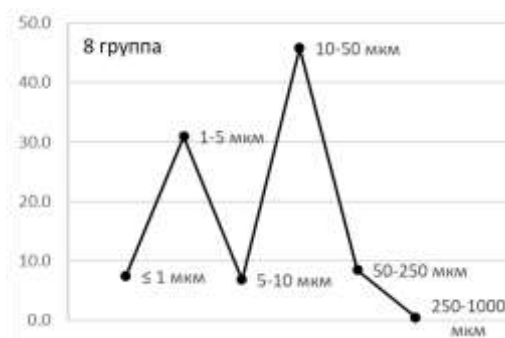
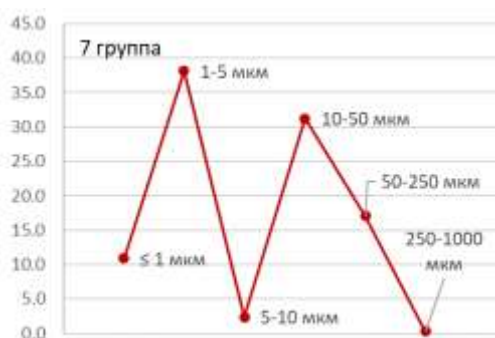


Рисунок 82. Обобщённые диаграммы распределения частиц по группам образцов, выделенным в скв. + шурфе С1 на правом берегу р. Болда в районе с. Бараний Бугор в центральной части дельты.

Распределение частиц 3 группы (2,4-1,5 м) схоже с таковым 1 группы, что говорит об изменении среды осадконакопления вновь в сторону слабопроточного режима.

В 4 группу (1,5-1,3 м) выделен один образец, преобладающая фракция изменяется в сторону более крупной размерности, характерной для дельтовых проток – мелкозернистый песок (40%). Также содержится по 25% крупного и мелкого алеврита. Это свидетельствует о переходе к более динамичной среде осадконакопления (дельтовой протоке).

В 5 группу (1,3-1,1 м) также входит 1 образец. В ней содержится наибольшая доля средне-крупнозернистых песков по разрезу (16,6%), что говорит о более высокэнергетической среде осадконакопления. Наличие обломков раковин (см. гл. 3) также свидетельствует об интенсивных гидродинамических условиях. Высокие доли мелкого алеврита и мелкозернистого песка (по 30%) говорят о наличии дополнительного источника мелкого материала (скорее всего – подстилающие породы).

В 6 группе (1,1-0,6 м) наблюдается лучшая сортировка материала, по сравнению с 4 группой, и отсутствие крупных частиц более 250 мкм. Преобладает мелкозернистый песок (37%), доля крупного алеврита – 23%, среднего – 4%, мелкого – 27%, содержание глин существенно не изменилось – 6%. Сортировка и распределения частиц свидетельствуют о менее динамичной среде (дельтовой протоке), но с более длительным временем воздействия.

В 7 группе (0,6-0,4 м) наблюдается резкое увеличение мелкого алеврита до 38% и глин до 10% – наибольшие значения по разрезу. Наряду с этим отмечается повышенная доля мелкозернистого песка (17%) и крупного алеврита (30%). Это может свидетельствовать о формировании более застойного режима.

Для 8 группы (0,4-0,0 м) характерно распределение частиц, описывающее спокойные гидродинамические условия слабопроточного водоёма, аналогично группам 1 и 3.

*Результаты геохимического анализа.* Для анализа выбраны наиболее представительные элементы, содержание которых выше предела обнаружения в большинстве образцов. По результатам анализа построена корреляционная диаграмма элементов (Рисунок 83), а также проведена кластеризация образцов и элементов (Рисунок 84).

По тепловой карте (Рисунок 84) можно выделить следующие закономерности: в образцах с большей долей песка закономерно увеличивается содержание Si, что отражает большую долю минерала-носителя кварца.

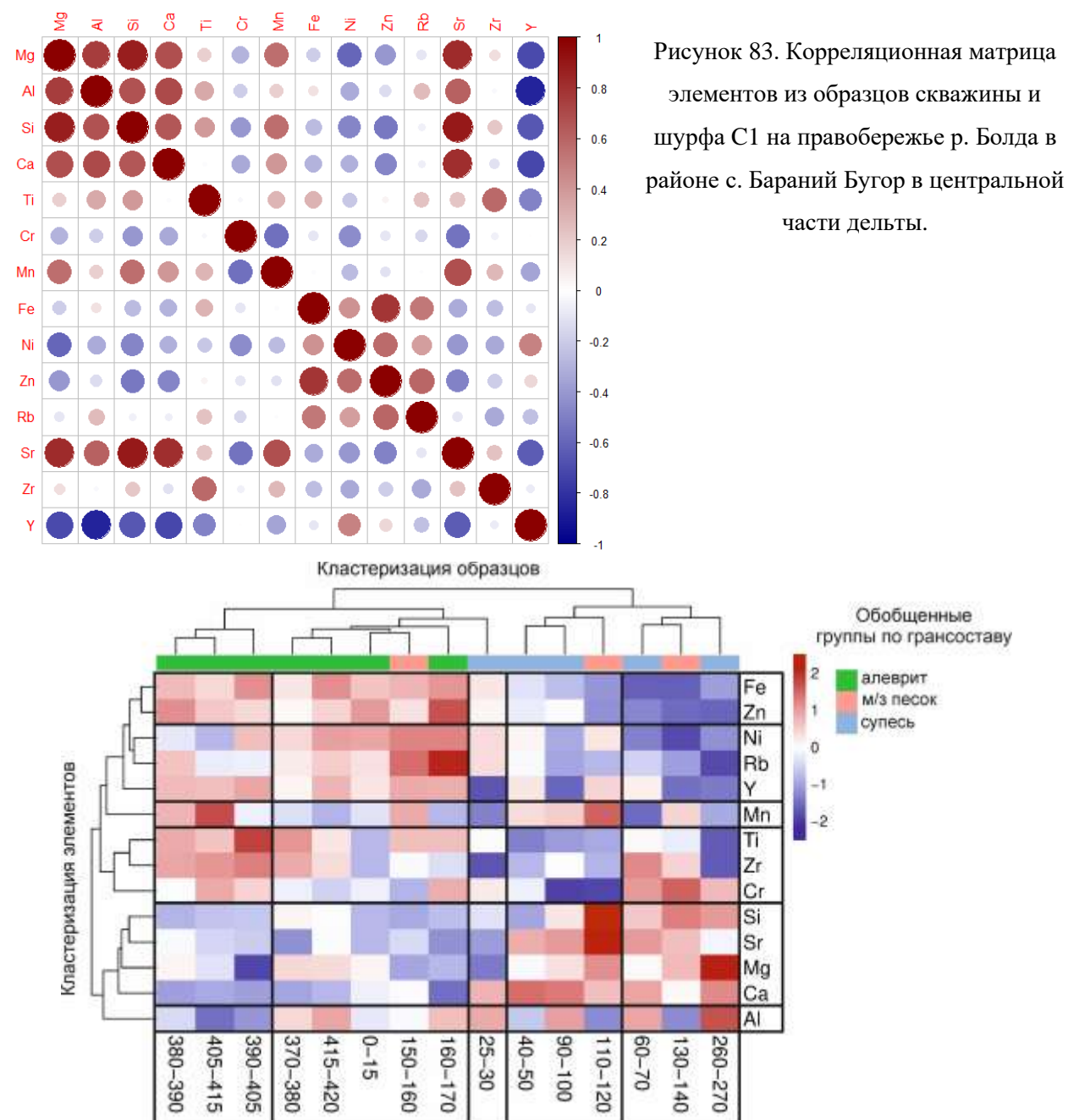


Рисунок 84. Результаты кластеризации элементов и образцов из скважины и шурфа С1 на правом берегу р. Болда в районе с. Бараний Бугор в центральной части дельты.

Так же, как и в скв. Роу-2016, наблюдается высокая корреляция Si, Sr и Mg, чуть менее выраженная – Al, Mn и Zr. Вероятнее всего, это говорит о присутствии слюд (сметита и биотита). Также у перечисленных элементов, кроме Zr, отмечается выраженная корреляция с Са. В отложениях шурфа (0-1,8 м) встречаются карбонатные выпоты и раковины моллюсков. Вероятно, обогащение Са за пределами этого интервала (2,6-2,7 м) связано с его интенсивным терригенным привносом. По геохимическим свойствам Sr является аналогом Са, поэтому данные элементы демонстрируют высокую степень корреляции по разрезу (Юдович, Кетрис; 2011).

Согласно (Юдович, Кетрис; 2011), группа элементов Fe, Zn, Ni, Rb, Y связана с глинистыми минералами, поэтому в разрезе их повышенная доля приурочена к алевритам.

Кластеры образцов по распределению элементов группируются следующим образом:

- в нижней части разреза (4,2-3,7 м), представленной алевритами, закономерно наблюдается обогащение вышеупомянутыми элементами, связанными с глинистыми минералами. Повышенное содержание Mn в образцах 4,05-4,15 и 3,8-3,9 м, вероятно, объясняется застойными условиями осадконакопления. Обогащение Mg и Al на глубине 4,15-4,20 и 3,7-3,8 м скорее всего связано с терригенным привносом. Таким образом, формирование толщи алевритов происходило в условиях частого чередования застойного и слабопроточного режимов. Об этом также свидетельствуют результаты диатомового анализа: обстановки ильменя, выявленные в интервале 3,90-4,05 м, на тепловой карте относятся к кластеру с преобладанием элементов, связанных с глинистыми минералами. Для обстановок дельтовой протоки из интервала 3,4-3,5 м геохимическими аналогами могут служить образцы 4,15-4,20 и 3,7-3,8 м (с повышенной долей Mg и Al);
- в интервалах 2,6-2,7 м, а также 0,4-1,4 м в супесях и мелкозернистых песках отмечаются повышенные доли Si, Sr, Mg, Al, Mn и Zr, что связано с большим количеством кварца и наличием сметита и биотита. Повышенная доля Са на глубине 2,6-2,7 м объясняется терригенным привносом дельтовой протокой, что согласуется с увеличением доли мелкозернистого песка, характерного для этих обстановок;
- в интервале 0-0,3 м отмечается обогащение Fe, Zn, Ni, Rb, Y, что связано с глинистыми минералами.
- Ниже представлено сопоставление результатов диатомового, гранулометрического и геохимического анализов (Рисунок 85).

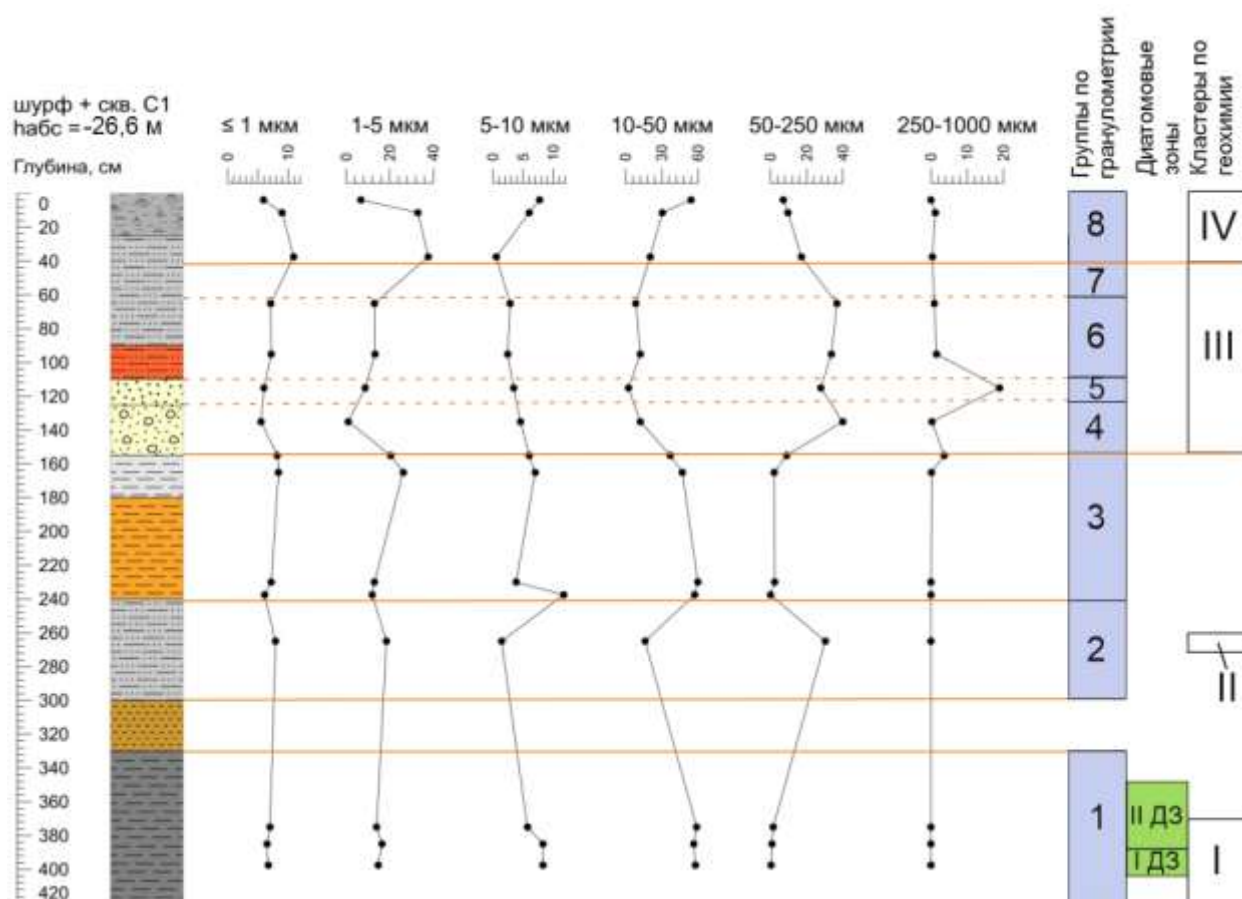


Рисунок 85. Сопоставление результатов диатомового, гранулометрического и геохимического анализов отложений, вскрытых шурфом и скважиной С1 на правом берегу р. Болда в районе с.

Бараний Бугор в центральной части дельты. Пунктирными линиями обозначены границы, выявленные на основе результатов 1 анализа, сплошными – по результатам нескольких анализов.

Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 74.

*Результаты радиоуглеродного датирования по 2 образцам приведены в таблице 5.*

Таблица 5. Результаты радиоуглеродного анализа образцов палеопочв и калиброванные даты.

Материал	Глубина, см	Радиоуглеродный возраст, $^{14}\text{C}$ л. н.	Календарный возраст (2σ), кал. л. н.
Палеопочвы	80	2670±90	2780±120
	170	1820±90	1730±110

Наблюдается инверсия дат. Исходя из опубликованных радиоуглеродных датировок по комплексам скважин в нижней части дельты (Richards et al., 2014) можно примерно оценить достоверность полученных дат. В большинстве скважин из указанной статьи первые 1-2 метра осадка имеют возраст около 1.5-1.7 тыс. кал. л.н. Таким образом, дата с глубины 80 см является недостоверной, верхние 1,7 м осадка, вскрытых шурфом С1, формировались в течение 1730±110 кал. л. н.



**Скв. ББ1. Результаты диатомового анализа.** В отложениях скважины ББ1 диатомеи выявлены только в 11 образцах из 16, однако они представлены лишь единичными створками, что недостаточно для достоверных палеореконокструкций (Рисунок 86).



Рисунок 86. Единичные находки пресноводных диатомей в отложениях, вскрытых скв. ББ1 (левобережье р. Болда, район с. Бараний Бугор в центральной части дельты).  
Условные обозначения литологического состава – см. Рисунок 76.

Выявленные виды представлены единичными створками пресноводных таксонов, преимущественно планктонных, характерных для современных водотоков дельты (р. Быстрая, ер. Дубного, пр. Мартышка и култука Сазаньего): *Aulacoseira granulata*, *A. ambigua*, *Stephanodiscus minutulus*, *S. astraea*, *Stephanocyclus meneghinianus*, *Melosira varians*. В основном обнаруженные таксоны приурочены к супесчаным осадкам в верхних 1,4 м скважины. Наибольшее количество створок диатомей выявлено в слое чёрных супесей с прослоем раковинного детрита и находками керамики (1,1-0,45 м), который, по-видимому, отвечает более динамичным условиям осадконакопления. В верхних 1,2 м осадка единично встречаются бентосные таксоны рода *Epithemia* и *Eunotia*, что в совокупности с супесчаным составом осадков может говорить о слабопроточных условиях осадконакопления и в целом согласуется с геоморфологическим положением скважины

(култучно-ильменная равнина). На глубине 1,6 м в прослое тёмно-серых суглинков, помимо планктонных видов, также обнаружен вид-обрастатель *Cocconeis lineata*, часто встречающийся в изученных поверхностных осадках современных водоёмов дельты, наиболее массово – в мелководной протоке Грязнуха. В целом условия осадконакопления характеризуются сменой от более застойных обстановок (слои суглинков 2,3-1,4 м) к слабопроточным в верхней части скважины. Судя по прослоям обломков керамики, раковинного детрита и находкам пресноводных диатомей, наиболее активные гидродинамические условия можно реконструировать в слое чёрных супесей (1,1-0,45 м).

**Скв. ББ9.** Результаты диатомового анализа, сравнение с результатами статистических методов. В отложениях скважины ББ9 диатомеи выявлены только в четырёх образцах из 53 (Рисунок 87).

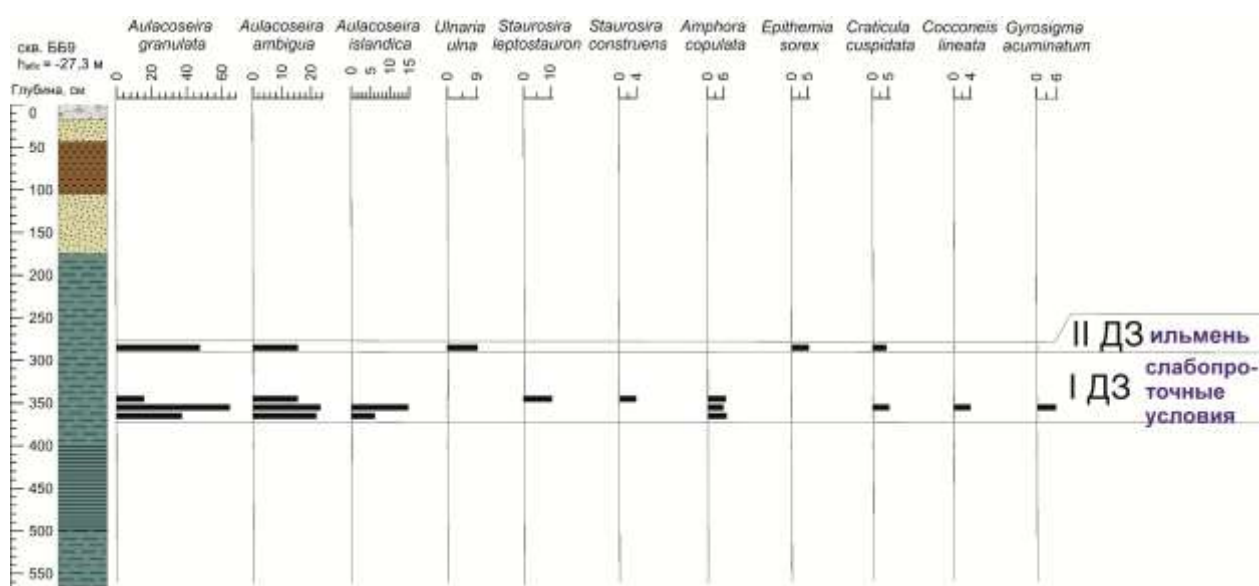


Рисунок 87. Условия формирования отложений, вскрытых скв. ББ9 (левобережье р. Болда, район с. Бараний Бугор в центральной части дельты), по результатам диатомового анализа (изображены наиболее обильные виды). Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 77).

По результатам диатомового анализа выявлено 72 таксона пресноводных диатомей, построены графики ординации по результатам PCA и NMDS для совокупной выборки образцов из современных водоёмов и из отложений, вскрытых скважинами С1 и ББ9 (Рисунок 79, Рисунок 80).

На основе распределения видов и их экологических предпочтений (с опорой на данные о литологическом составе осадков) в разрезе скважины ББ9 выделено две экостратиграфические зоны, приуроченные к толще сизых и сизовато-коричневых

алевритов. В таблице 6 представлены результаты подсчёта концентрации створок для образцов, содержащих диатомеи.

Таблица 6. Концентрация створок диатомей по разрезу скв. ББ9 и выделенные диатомовые зоны.

Глубина, м	Количество створок, тыс./г сух. в-ва	Диатомовая зона
2,8-2,9	36	II
3,4-3,5	1063	I
3,5-3,6	3464	
3,6-3,7	456	

**I ДЗ (3,7-2,9 м).** Выделена в сизоватых алевритах по преобладанию *A. granulata* (15,9-64,6%), виду *A. ambigua* в качестве субдоминанта (15,5-23,3 %) и довольно высокой концентрации створок 456-3464 тыс./г. В неё входят 3 образца: 3,6-3,7; 3,5-3,6 и 3,4-3,5 м. Максимальная концентрация створок приурочена к интервалу 3,5-3,6 м. Также для зоны характерна повышенная доля планктонного вида *Aulacoseira islandica* (до 14,8%) и *Staurosira leptostauron* (до 11,0%), встречающегося как в планктоне, так и в бентосе. Таксономическое разнообразие достигается за счёт бентосных видов: *Craticula cuspidata*, *Cocconeis lineata*, *C. placentula* и др. Состав диатомовых ассоциаций скорее свидетельствует об обстановках дельтовых протоков, однако алевритистый состав осадка скорее говорит о более спокойных гидродинамических условиях, вероятно, слабопроточных.

По результатам PCA данные образцы приближены к современным диатомовым ассоциациям из р. Быстрая и образцу 3,4-3,5 м из скв. С1, что также подтверждается результатами NMDS (Рисунок 79, Рисунок 80). Без детального анализа состава осадка и на основе лишь статистических методов образцы из выделенной зоны были бы ошибочно отнесены к обстановкам дельтовых протоков.

**II ДЗ (2,9-2,8 м).** Выделена в этой же толще сизоватых алевритов по низкой концентрации створок (36 тыс./г) и несколько видовому иному составу. В неё входит 1 образец 2,8-2,9 м. Наряду с доминантом *Aulacoseira granulata* (47,4%) и субдоминантом *Ulnaria ulna* (9,3%) наблюдается повышенная доля бентосных видов рода *Epithemia* (16,6 %), что заметно выше, чем в образцах из I ДЗ (до 5,2%). Наряду с этим в образце отмечается большое количество кремнистых спикул губок – 110 шт. Это может свидетельствовать о более застойных условиях осадконакопления. Судя по литологическим характеристикам, толща представляет собой лиманные отложения (Макшаев и др., 2022). Диатомовые спектры свидетельствуют скорее о слабопроточных условиях, судя по доминированию планктонных диатомей и широкому видовому разнообразию бентосных таксонов. Верхняя часть толщи характеризуется более застойными условиями ильменя, что подтверждается

высокой суммарной долей бентосных видов рода *Epithemia* и большим количеством спикул губок. Согласно исследованиям А.Н. Неваленного с соавторами (2019), в современной дельте пресноводные губки достигают наибольшей биомассы в основном на малых реках или на участках реки со слабым течением.

*Результаты гранулометрического анализа.* Распределение частиц по разрезу изображено (Рисунок 88).

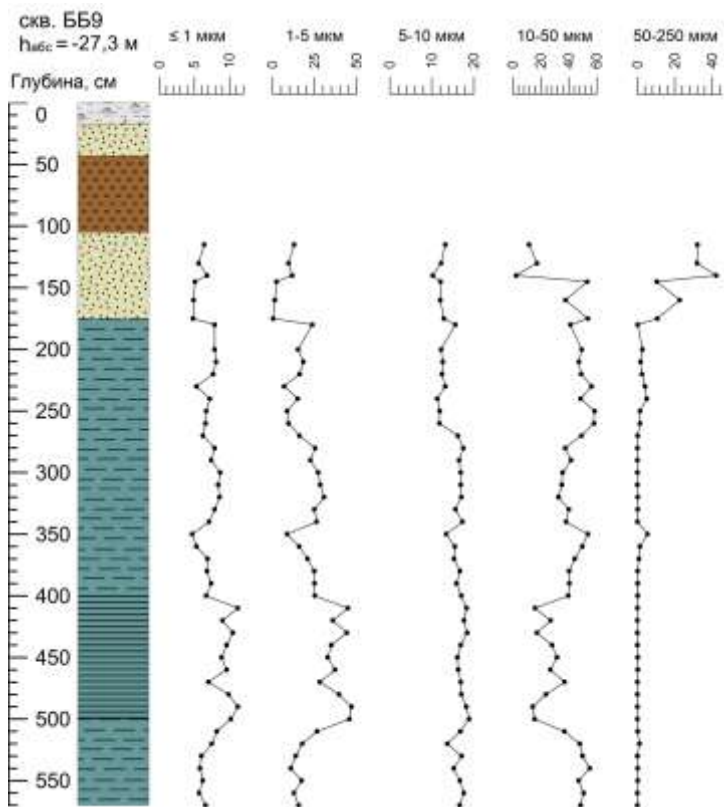


Рисунок 88. Схематический разрез скважины ББ9 на левобережье р. Болда в районе с. Бараний Бугор в центральной части дельты и распределение по нему гранулометрических фракций. Точками обозначены места отбора образцов для гранулометрического метода. Условные обозначения литологического состава осадков – см.

Рисунок 77.

Характерная особенность осадков – материал преимущественно тонкий, отсутствуют средне-крупнозернистые пески, размерностью более 250 мкм. По результатам гранулометрического анализа в скважине выделено 4 группы образцов, характеризующих разную динамичность сред осадконакопления. Для каждой группы построены обобщённые диаграммы распределения частиц на основе медианных значений (Рисунок 89).

В 1 группе (570-510 см) преобладает алеврит (крупный – 47%, средний – 17%, мелкий – 30%), около 6% приходится на глину. Частицы песчаной размерности отсутствуют. Это говорит о спокойных гидродинамических условиях водоёма, вероятно, слабопроточного.

Во 2 группе (510-410 см) среди алевритов существенно преобладает мелкий (43%), содержание среднего алеврита не меняется по мере осадконакопления (17%), доля крупного алеврита сокращается до 30%, глин – повышается до 10%. Увеличение доли тонких

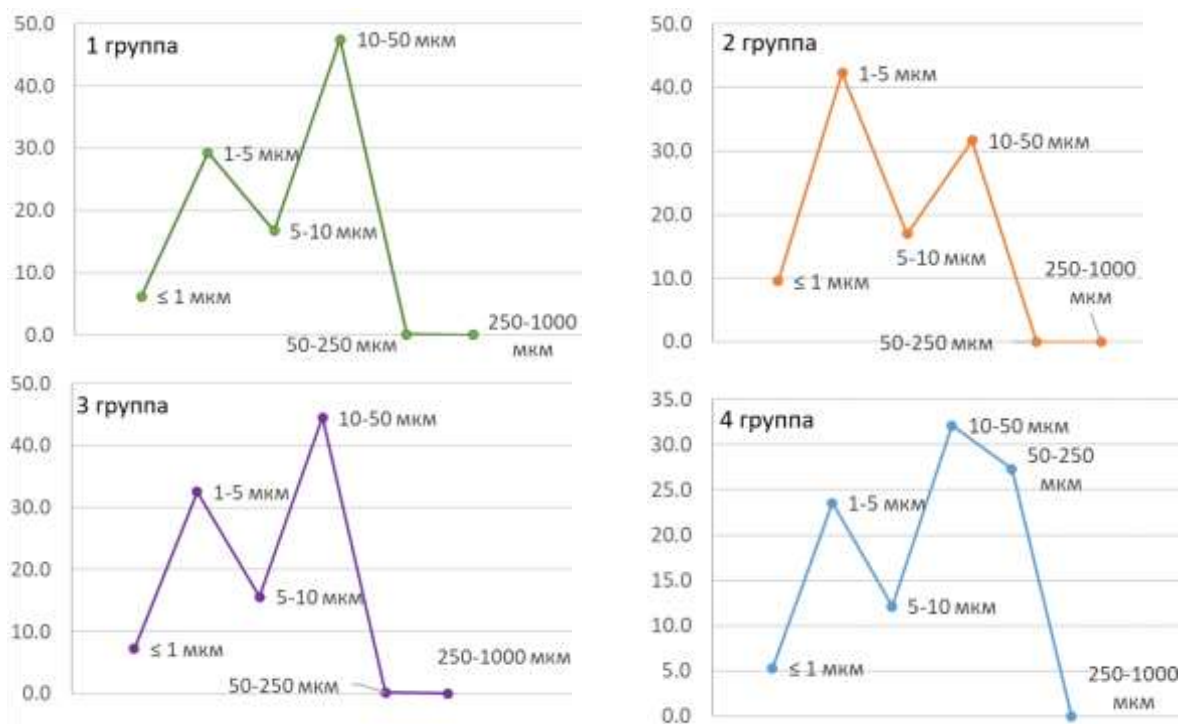


Рисунок 89. Обобщённые диаграммы распределения частиц по группам образцов, выделенным в скв. ББ9 (левобережье р. Болда, район с. Бараний Бугор в центральной части дельты).

фракций говорит о формировании водоёма с отсутствием течения.

Характеристики 3 группы (410-180 см) схожи с 1 группой: преобладает алеврит (крупный – 45%, средний – 15%, мелкий 30%), около 7% приходится на глины. Частицы песчаной размерности в большей части интервала отсутствуют. Условия осадконакопления сменились в сторону слабопроточного режима, о чём говорит увеличение доли крупного алеврита. Судя по мощности толщи, эта обстановка была стабильной и существовала длительное время.

В 4 группе (180-115 см) появляется мелкозернистый песок (до 45% в отдельных прослоях) – преобладающая фракция для обстановок современных дельтовых проток, доли алеврита сокращаются (в среднем содержание крупного алеврита – 30%, среднего – до 12, мелкого – до 23%), доля глин уменьшается до 5%. Распределение частиц изменилось за счёт дополнительного источника мелкозернистого песка, скорее всего, из-за усиления проточного режима в водоёме. Плохая сортировка говорит о сравнительно недолгом существовании таких условий.

Ниже представлено сопоставление результатов диатомового и гранулометрического анализов (Рисунок 90). В скв. ББ9 диатомовый анализ позволил детализировать условия формирования в однородной по гранулометрии толще алевритов (группа 3).

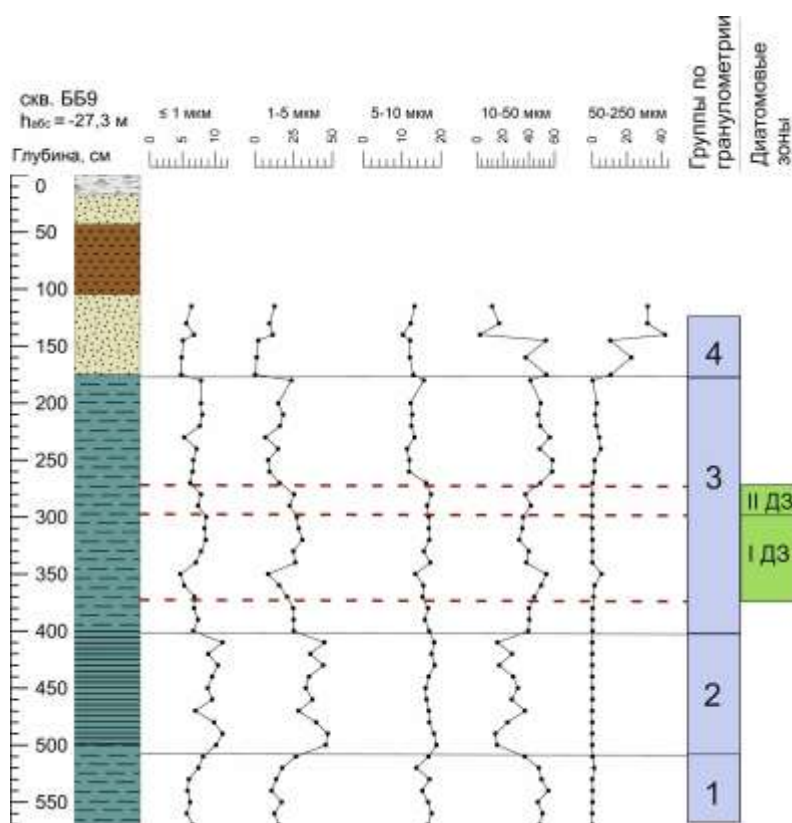


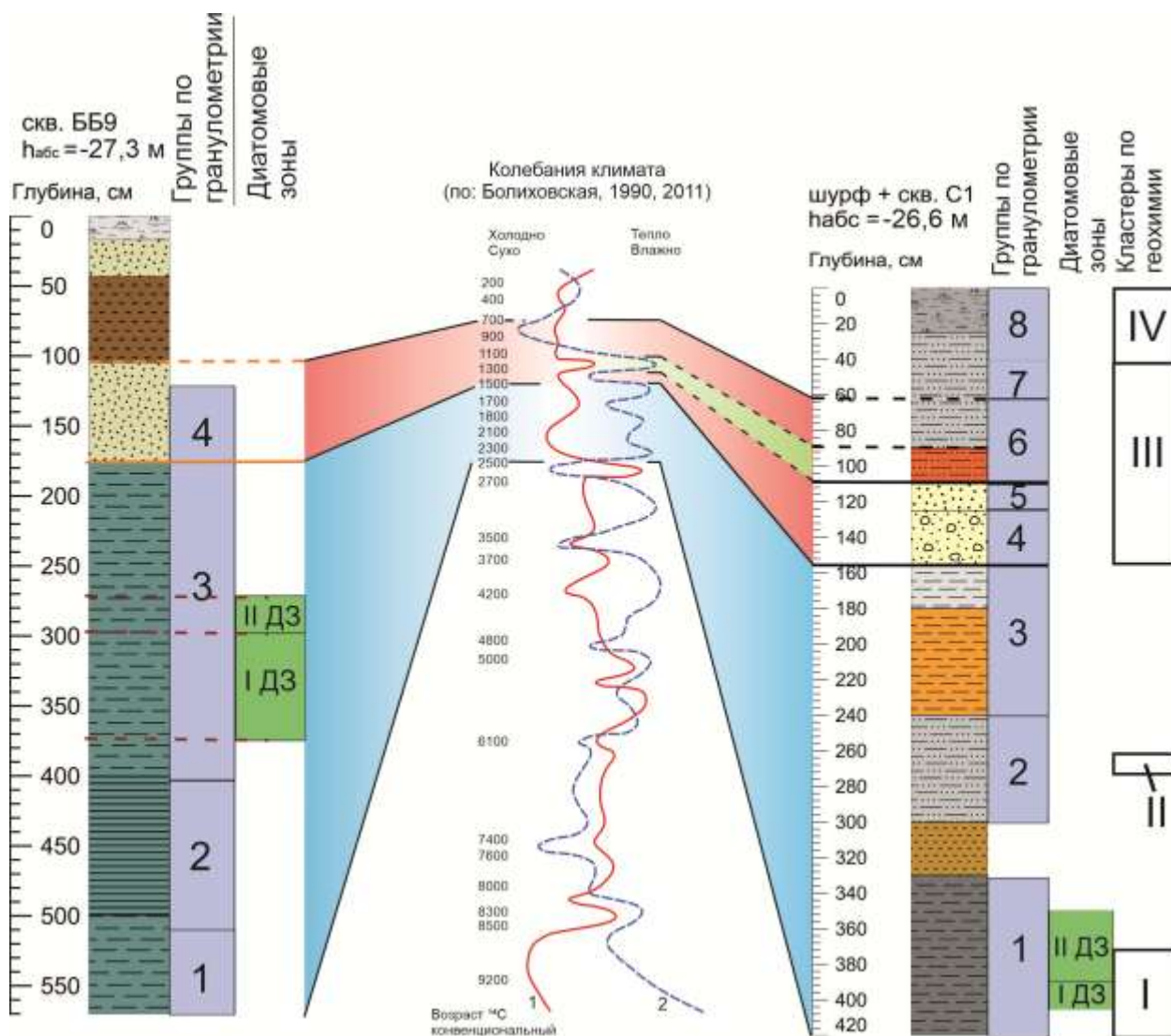
Рисунок 90. Сопоставление результатов диатомового и гранулометрического анализов для образцов из скв. ББ9 на левобережье р. Болда в районе с. Бараний Бугор в центральной части дельты. Пунктирными линиями обозначены границы, выявленные на основе диатомового анализа, сплошными – по результатам гранулометрического анализа. Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 77.

*Палеогеографическая интерпретация.* В центральной части дельты среди изученных объектов временная привязка есть только для отложений шурфа+скважины С1. Данные радиоуглеродного датирования образца с глубины 1,70 м указывают на возраст  $1730 \pm 110$  кал. л.н. Согласно археологическим данным, на глубинах 0,9-1,1 м обнаружены остатки керамики салтово-маяцкой культуры – VI-X вв. или примерно 1400-1000 л.н. (Матлахова и др., 2024), что не противоречит результатам радиоуглеродного датирования.

По данным гранулометрического анализа, нижняя часть интервала разреза шурфа+скважины С1 на глубине 4,2-3,3 м формировалась в слабопроточных условиях. Время осадконакопления оценивается ранее  $1730 \pm 110$  кал. л.н. По результатам диатомового и геохимического анализов удалось детализировать условия осадконакопления однородной толщи алевритов – по-видимому, происходило частое чередование застойного и слабопроточного режимов. Для более застойных этапов характерно повышенное содержание Mn. С одним из таких этапов совпадает выделение обстановки ильменя по диатомеям (3,90-4,05 м). Для слабопроточного режима характерно обогащение Mg и Al, что скорее всего связано с терригенным привносом. Обстановки дельтовой протоки, выявленные по диатомеям, вероятно, совпадают с одним из таких этапов. Согласно палинологическим данным, многократная смена климатических условий, в особенности – частые колебания влагообеспеченности, характерны для субатлантического периода, начавшегося  $\approx 2500$  л.н. (Болиховская, 2019). Формирование



этой нижней толщи разреза скважины+шурфа С1 могло быть связано с уллучаевской стадией новокаспийской трансгрессии (3.4-2.5 тыс. л.н. по: Рычагов и др., 2010; 1.6-2.0 тыс. л.н. по: Варущенко и др., 1980; Болиховская, 2019), когда большая часть дельты представляла собой комплекс култучно-ильменных водоёмов (Рисунок 91).



Интервал 3,0-1,5 м представляет собой слабопроточные условия осадконакопления с небольшими колебаниями доли мелкозернистого песка – размерности, типичной для дельтовых протоков. На глубине 2,6-2,7 м выявлены повышенные доли Si, Sr, Mg, Al, Mn и Zr, что связано с большим количеством кварца и наличием смектита и биотита. Повышенная доля Са объясняется терригенным привносом (дельтовой протокой), что согласуется с увеличением доли мелкозернистого песка.

В шурфе С1 на глубине 1,5-1,1 м крупность осадков увеличивается вверх по разрезу. В интервале 1,5-1,3 м отмечается переход к более динамичной среде осадконакопления (дельтовой протоке). Геохимические маркёры изменяются вверх по разрезу: от преобладания элементов, связанных с глинистыми минералами вдоль нижней границы с алевритами (Fe, Zn, Ni, Rb, Y) до обогащения Si, связанным с увеличением песчаной фракции. Выше по разрезу (1,3-1,1 м) условия сменяются ещё более высокоэнергетической средой с содержанием средне-крупнозернистых песков до 20%. Как было сказано ранее, эта фракция характерна, например, для русловой фации р. Волги (в районе Волгоградской ГРЭС). Следовательно, увеличение размерности частиц может свидетельствовать о повышении интенсивности терригенного стока и более интенсивном врезании водотока. Высокая доля мелких частиц (до 30%), по-видимому, связана с размыванием нижележащих пород. Подобные условия, скорее всего, соответствуют регрессивному эпизоду Каспия (предположительно, дербентской регрессии).

На глубине 1,1-0,9 м обнаружены остатки керамики VI-X вв. или примерно 1400-1000 л.н. По данным различных исследователей, это время соответствует дербентской регрессии Каспия (Варущенко и др., 1987; Рычагов, 2019), с вероятным подъёмом уровня моря около 1270-1030 кал. л.н. в связи с потеплением и увлажнением климата (Болиховская, 2019).

Этот период формирования осадков в центральной части дельты нам удалось детализировать в ходе совместных работ с сотрудниками ООО «Археоцентр» и Каспийского филиала института океанологии им. П.П. Ширшова РАН по изучению Семибугоринского археологического комплекса. Согласно результатам комплексного изучения разрезов и скважин в районе археологического памятника Семибугры-1 и с. Бараний Бугор археологическими, геоморфологическими, литологическими, геохимическими, малако- и микрофаунистическими методами, помимо регрессивного эпизода, в этом временном интервале также выявлены трансгрессивные этапы Каспия (Матлахова и др., 2024; см. Рисунок 71, Рисунок 75). В ходе работ обнаружены поселения, расположенные на склоне и вершинной поверхности бэровских бугров соответственно: Семибугры-1 – на правом берегу р. Болда, в районе скважины и шурфа С1, и Керакле-Тобе – на левом берегу р. Болда, в 8 км к северу от с. Бараний Бугор. Первое располагалось на абсолютной высоте около -23 – -24 м, второе – на высоте -16 м. Оба поселения по современной физико-географической ситуации располагаются довольно далеко от реки, что крайне нетипично, особенно для аридных условий. Также в раскопе Бараний Бугор (скв. и шурф ББ5, см. Рисунок 75) обнаружено поселение на более низком гипсометрическом уровне – около -25 м со стеной из сырцового кирпича и системой земляных валов со

стороны современного русла р. Болда. Литологические, малако- и микрофаунистические данные, а также анализ исторических карт и аэрофотоснимков, позволяют предположить, что поселение, обнаруженное в раскопе Бараний Бугор, находилось в районе с активной гидродинамической обстановкой, предположительно, вблизи дельтовой протоки. Стена и система валов служили защитой от паводков, однако впоследствии в результате изменения местоположения древней протоки поселение было заброшено. Изменение гидрологической сети могло быть следствием подъёма уровня Каспия. Расположение поселений Семибугры-1 и Керакле-Тобе на более высоких гипсометрических уровнях также связаны с трансгрессивным эпизодом Каспийского моря. Близость данных поселений к воде и «островное» положение подтверждаются археологическими методами – находками, свидетельствующими о существовании рыбного промысла, и прослоями окатанной керамики. Таким образом был сделан вывод, что в период VIII-нач. X вв. или 1200-950 л.н. уровень Каспийского моря, предположительно, находился на абсолютных отметках -30 – -33 м и соответствовал регрессивной фазе, во время которой поселения распространялись в дельтовой части р. Волги. Также результаты работ свидетельствуют о нескольких эпизодах подъёма уровня Каспия во время существования данных поселений: VI-VII вв. или 1400-1300 л.н. и вторая половина X в. или 950-1000 л.н. В трансгрессивные эпизоды поселения, очевидно, располагались на бэровских буграх и в верховьях дельты Волги (Матлахова и др., 2024). Выводы частично подтверждаются результатами палинологического анализа разрезов Солёное Займище в Нижнем Поволжье – в интервале 1270-1030 кал. л.н. выявлен этап потепления и увлажнения климата (Болиховская, 2019). Также наши результаты позволили детализировать реконструкции и выделить регрессивный эпизод Каспия внутри данного этапа около 1200-950 л.н.

Таким образом, интервал 1,5-1,1 м соответствует началу дербентской регрессии и интенсивному накоплению средне-крупнозернистого материала в высокоэнергетической среде (врезание дельтовой протоки?). Слои с керамикой на глубине 1,1-0,9 м соотносятся с кратковременными подъёмами уровня моря в VI-VII и во второй половине X в. Окончание дербентской регрессии, вероятно, соотносится с интервалом 0,9-0,6 м, в это время осадконакопление происходило в дельтовой протоке.

Интервал 0,6-0 м иллюстрирует условия постепенного перехода от обстановок дельтовой протоки к более застойным и слабопроточным условиям, характерным для межбугровых понижений, что подтверждается геохимическими маркерами – более интенсивным накоплением элементов, связанных с глинистыми минералами, в интервале 0,3-0 м.

Согласно ряду исследований, в период 1807-1870 основной сток Волги осуществлялся в западном секторе дельты (Геоинформационная..., 1999; Нижняя Волга, 2002; см. Рисунок 22), в котором находится изученная скв. С1. После чего, в результате снижения уровня Каспия, наиболее интенсивному выдвигению подвергся восточный сектор. По-видимому, переход от условий дельтовых проток до застойных и слабопроточных обстановок в межбугровых понижениях в верхних 0,4 м скв. С1 связан с перераспределением стока Волги за последние 200 лет.

В скв. ББ9 на левобережье р. Болда, согласно результатам гранулометрического анализа, большая часть толщи 5,7-1,8 м соответствует формированию в слабопроточных условиях ильменя. На глубине 5,1-4,1 м по наибольшей доле глин выделена более спокойная гидродинамическая обстановка. Несмотря на слабую охарактеризованность осадков остатками диатомовой флоры, в монотонной толще алевроитов удалось выявить две диатомовые зоны: I ДЗ – отвечает условиям слабопроточного водоёма или мелких проток (2,9-3,8 м), II ДЗ – условиям ильменя (2,9-2,8 м).

Согласно фоновым материалам, для данного участка характерна повышенная мощность голоценовых отложений – около 22,5 м, что объясняется существованием обширного понижения, заполненного озёрными осадками (вскрыты в скв. 3950, Рисунок 92).



Рисунок 92. Фрагмент геолого-литологической карты дельты Волги в районе с. Бараний Бугор (Акуз и др., 1961 г.).

Следовательно, изученные в данной работе 5,7 м разреза скв. ББ9 охватывают далеко не весь период голоцена.

В верхней части скв. ББ9 в интервале 1,8-1,15 м появляются мелкозернистые пески, маркирующие принципиально иной этап осадконакопления. Они сменяются коричневатыми алевроитами на глубине 1,15-0,5 м и мелкозернистыми песками 0,5-0,2 м выше по разрезу. Верхние 0,2 м представляют собой горизонт гидроморфной почвы, развивающейся в современных условиях.

Нижние части толщи скважин ББ9 и С1 схожи по гранулометрическому составу и диатомовым ассоциациям. Согласно фоновым материалам, линза озёрных отложений

действительно прослеживается вдоль обоих бортов р. Болда, однако в районе скв. С1 их мощность гораздо ниже в связи с врезанием в неё аллювиальных толщ (Акуз и др., 1961). Вероятнее всего, время формирования толщи 5,7-1,8 м в скв. ББ9 и 4,2-1,5 м в скв. С1 связано с уллучаевской трансгрессией Каспия (Рисунок 91).

Последующая дербентская регрессия, выявленная в скважинах С1 и Роу-2016, в осадках скв. ББ9, вероятно, выражена в виде прослая песков на глубине 1,80-1,15 м, соответствующего переходным условиям от ильменей к дельтовым протокам. Условия повышения уровня моря около 1400-1300 л.н. и 950-1000 л.н., выявленные в результате изучения Семибугоринского археологического комплекса (Матлахова и др., 2024), могут отвечать кратковременным интервалам с уменьшением доли мелкозернистых песков на глубине 1,5 и 1,3 м.

По данным из Атласа Каспийского моря А.Е. Колодкина (1826; Геопортал РГО [сайт]. URL:<https://geoportal.rgo.ru/>), в 1809-1814 гг. вблизи левобережья р. Болда существовал залив Каспийского моря Ильмень Кабанкуль (Рисунок 93).



Рисунок 93. Приблизительное местоположение изученных скважин С1 и ББ9 в районе с. Бараний Бугор в центральной части дельты на карте из Атласа Каспийского моря А.Е. Колодкина (по: Геопортал РГО [сайт]. URL:<https://geoportal.rgo.ru/>).

Согласно данным В.А. Николаева (1962; см. Рисунок 22), прирост дельты в этом районе относится к 1853 г. На картах 1951-60 гг. в районе скв. ББ9 отмечаются ильмени (Бараний, Кабаний, Рисунок 92), которые развивались в унаследованном понижении. Вероятнее всего, во время активного прироста дельты в данном районе формировались слабопроточные условия ильменей, отвечающие интервалу алевритов на глубине 1,15-0,5 м. На спутниковых снимках Corona (апрель 1973 г.; Геологическая служба США [сайт]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>) видно, что поверхность понижения уже изменена сельскохозяйственными полями, но по-прежнему на поверхности прослеживаются, 026 русла небольших протоков (Рисунок 94).





Рисунок 94. Район скв. ББ9 (с. Бараний Бугор) на спутниковом снимке Согопа от 1973 г. Стрелками показаны долины мелких проток.

Верхняя часть скважины ББ9 (0,5-0,2 см) отличается более песчаным материалом и вероятно соответствует отложениям мелких дельтовых проток (условия, близкие к современным).

Таким образом, изученные скважины в центральной части дельты, скорее всего, охватывают временной интервал от уллучаевской трансгрессии Каспия до современности.

### 4.3.3. Нижняя дельта<sup>7</sup>

#### Описание района и литологические характеристики изученных осадков

Образцы для изучения ископаемых диатомей нижней части дельты отобраны из скважины DM-1 (45°47'21,71" с.ш., 47°53'23,62" в.д.). Скважина заложена в пределах култушной впадины на поверхности култушной дельтовой равнины на левобережье р. Быстрая в 350 м к юго-востоку от центральной усадьбы Дамчикского участка Астраханского биосферного заповедника (Рисунок 24, Рисунок 95, а). Во время половодья впадина подвергается затоплению (Рисунок 95, б).

<sup>7</sup> При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично и в соавторстве, в которых, согласно положению о присуждении учёных степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования; а также в иных изданиях:

**Лысенко Е.И.** Диатомовые ассоциации в поверхностных осадках дельты Волги и их значение для палеореконструкций // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2025а. Т. 80. № 3. С. 147-162.

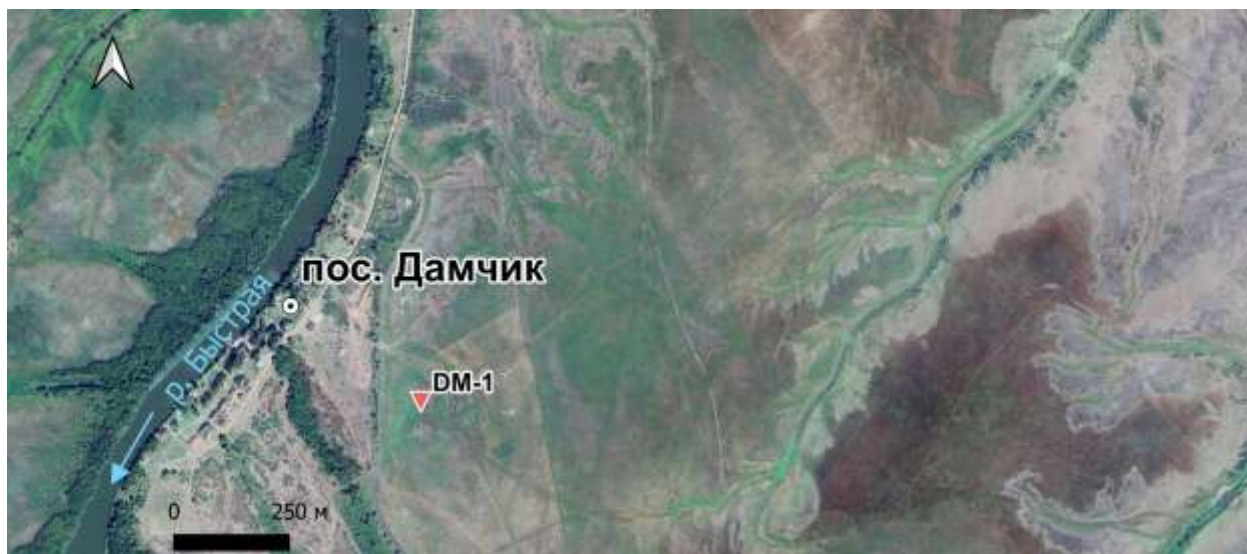
**Лысенко Е.И.** Использование диатомового анализа в палеоэкологических реконструкциях голоценовых событий в дельте Волги. // Естественные и технические науки. 2023. № 3. С. 168–172.

**Штыркова (Лысенко) Е.И., Полякова Е.И.** Диатомеи в голоценовых осадках дельты Волги (Дамчикский участок) как индикаторы палеоэкологических условий осадконакопления // Вопросы современной альгологии (Issues of modern algology) - algology.ru. 2019. № 2 (20). С. 270–273.

**Полякова Е.И., Штыркова (Лысенко) Е.И.** Развитие альгофлоры. // Дельта Волги. Эволюция природной среды в условиях изменений климата. (Под ред. Т.А. Яниной). М.: Географический факультет МГУ, ООО «Красногорская типография» Москва, 2019. С. 39-56.



а)



б)



Рисунок 95. Схема расположения скважины DM-1: а) относительно р. Быстрая и пос. Дамчик, б) район бурения скважины во время максимального современного затопления на снимке Sentinel-2 от 24.05.2016. Чёрными оттенками изображены затопленные территории.

Перепад высот на исследуемом участке между поверхностью высокой поймы р. Быстрая и култушной впадиной небольшой – около 1-1,5 м. Поверхность култушной впадины осложнена долинами ериков, впадающих в кутлук. На момент заложения скважины (август 2017 г.) ерики осушены. Вероятно, они представляют собой временные водотоки, сток по которым осуществляется в половодье. Ниже представлена геоморфологическая схема исследуемого участка (Рисунок 96).



Рисунок 96. Естественный и антропогенный рельеф в районе заложения скважины DM-1 вблизи пос. Дамчик на левобережье р. Быстрая в пределах Дамчикского участка Астраханского заповедника.

Глубина скважины составила 5,7 м, абсолютная высота заложения -26 м. В основании скважины вскрываются белые карбонатные пески (5,7-5,2 м), выше – мощная толща сизоватых глин, суглинков и супесей (5,2-2,6 м). На глубине 2,4-2,6 м наблюдается прослой чёрных, обогащённых органикой глин. Выше по разрезу он сменяется коричневыми суглинками (2,4-1,9 м) и довольно мощной толщей песков (1,9-0,8 м). Верхняя часть керна представлена современной гидроморфной почвой (суглинки/супеси серые с остатками корней растений). В разрезе для целей диатомового анализа отобрано 20 образцов, для геохимического – 24 образца, для радиоуглеродного – 2 образца из прослоев глин (Рисунок 97).

В районе Дамчикского участка Астраханского биосферного заповедника были также отобраны образцы из двух голоценовых разрезов: разрез 1 на левом берегу протоки Полдневая (в месте разветвления р. Волги на протоки Полдневую и Быструю, абсолютная высота заложения -23 м) и почвенного разреза в старичном понижении на правобережье

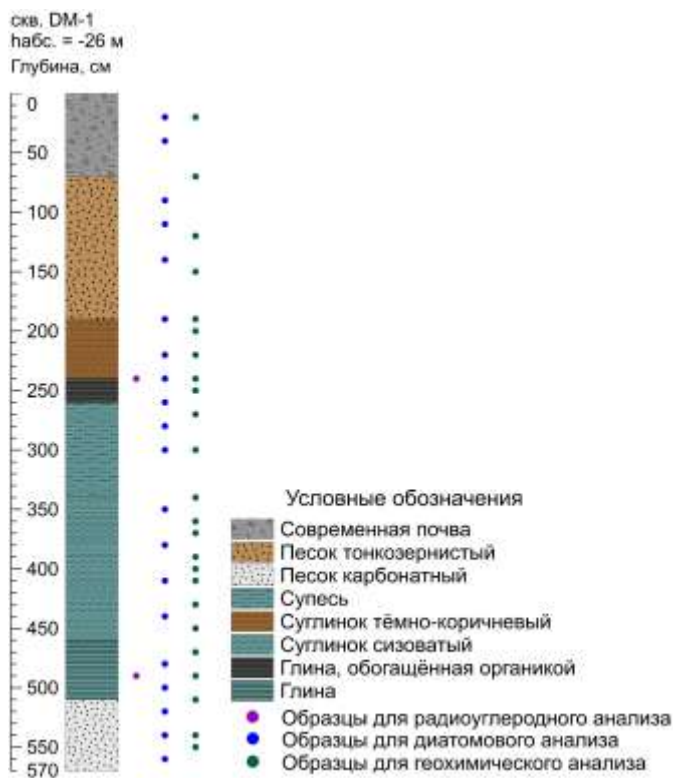


Рисунок 97. Схематический разрез скважины ДМ-1 в районе пос. Дамчик на территории Дамчикского участка Астраханского заповедника.

протоки Быстрая – разрез 2 (абсолютная высота заложения -24 м). Разрез 1 расположен в 14 км севернее пос. Дамчик, разрез 2 – в 2,5 км южнее (Рисунок 98).

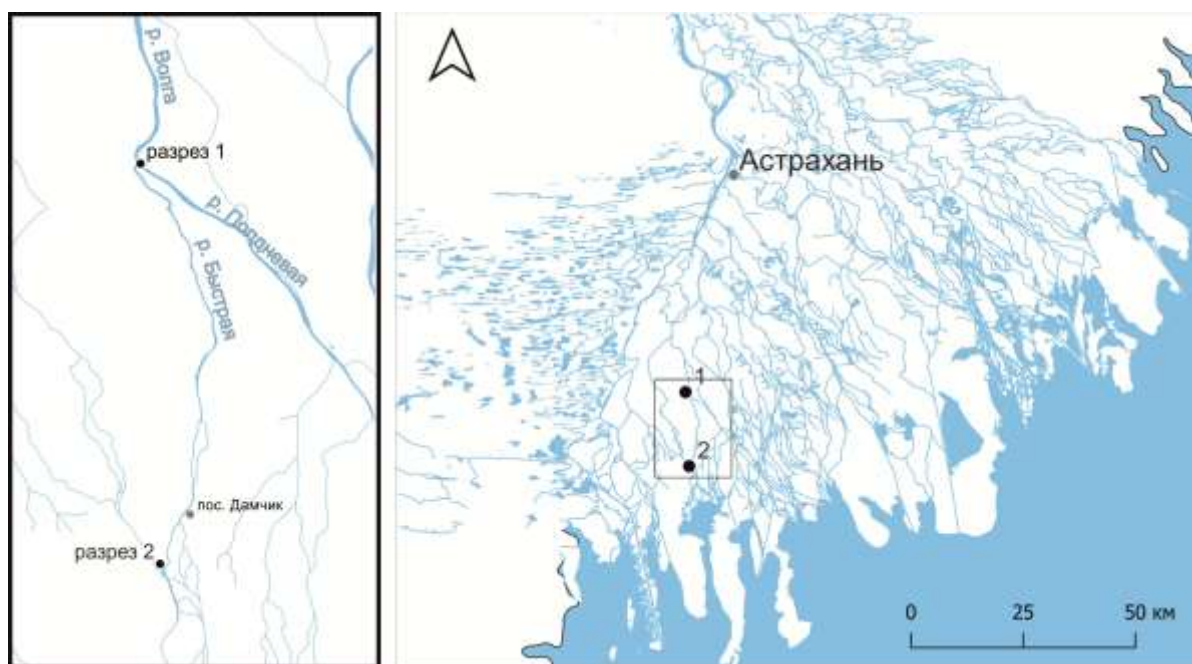


Рисунок 98. Карта-схема расположения изученных разрезов 1 и 2 в районе Дамчикского участка Астраханского биосферного заповедника в юго-западном секторе дельты Волги.

Разрез 1 располагается у подмываемого уступа поймы р. Полдневая. Левобережье р. Полдневая представляет собой култучную дельтовую равнину, поверхность которой осложнена мелкогравистым рельефом ериков, сток по которым осуществляется в период половодья. Перепад высот на исследуемой территории небольшой: относительная высота



поверхности поймы – около 1 м над урезом, поверхности култушной равнины – не более 2 м. Пойма, старичное понижение, култужная впадина и долины ериков на поверхности култушной равнины в пределах исследуемого участка затапливаются в половодье. Ниже представлена геоморфологическая схема территории в районе разреза 1 (Рисунок 99).

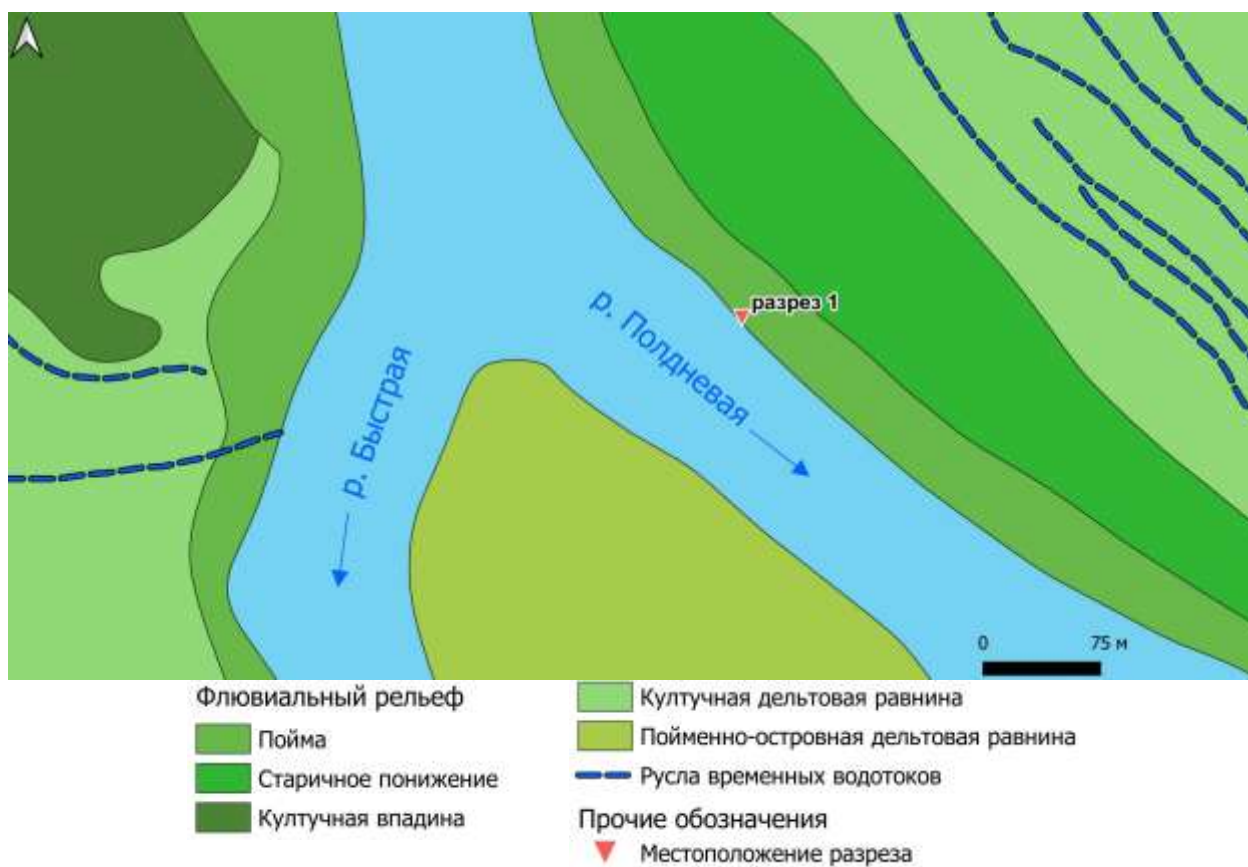


Рисунок 99. Естественный рельеф в районе заложения разреза 1 на левобережье р. Полдневая в юго-западном секторе дельты Волги в районе Дамчикского участка Астраханского заповедника.

Глубина разреза 1 составила 90 см. В разрезе 1 осадки представлены более широким разнообразием литологических разностей, по сравнению с разрезом 2. В основании залегает толща с чередованием суглинков и алевроитов (90-35 см), выше наблюдается небольшой прослой косослоистых песков (35-30 см), которые сменяются прослоем алевроита (25-30 см). Выше по разрезу наблюдается чередование косослоистых песков и алевроитов (25-5 см), верхние 5 см представлены мелкозернистыми песками без видимой слоистости. Из разреза 1 для гранулометрического и диатомового анализов из идентичных интервалов глубин послойно отобрано по 16 образцов (Рисунок 100).

Разрез 2 располагается на территории, где развит рельеф култушной дельтовой равнины. Он заложен в старичном понижении, сток по которому возобновляется в периоды половодья. В районе разреза 2 на право- и левобережье р. Быстрая широко распространены

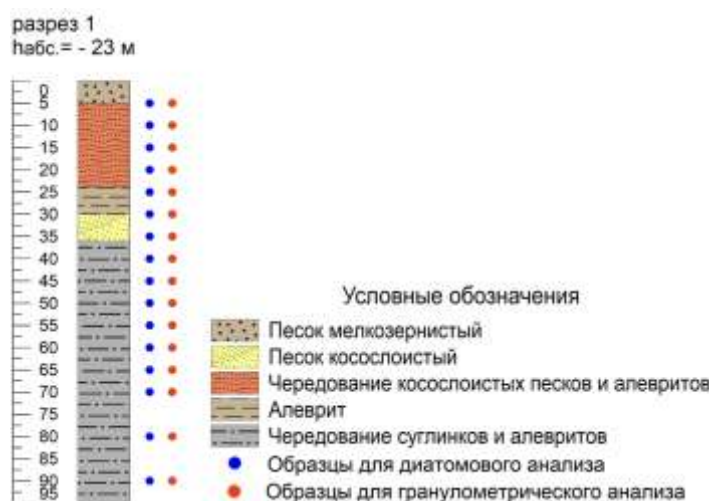


Рисунок 100. Схематическое изображение разреза 1 на левобережье р. Полдневая в юго-западном секторе дельты Волги в районе Дамчикского участка Астраханского заповедника.

култучные впадины, на поверхности которых наблюдается большое количество действующих и отмирающих ериков. Большая часть территории, представленной ниже на геоморфологической схеме, подвергается затоплению при максимальных уровнях половодья (Рисунок 101).



Рисунок 101. Естественный рельеф в районе заложения разреза 2 на правобережье р. Быстрая на территории Дамчикского участка Астраханского заповедника.

Глубина разреза 2 составила 75 см. Осадки представляют собой толщу алевритов с небольшим прослоем мелкозернистого песка в интервале 65-60 см. Из разреза 2 для целей гранулометрического и диатомового анализов из идентичных интервалов глубин отобрано по 10 образцов (Рисунок 102).

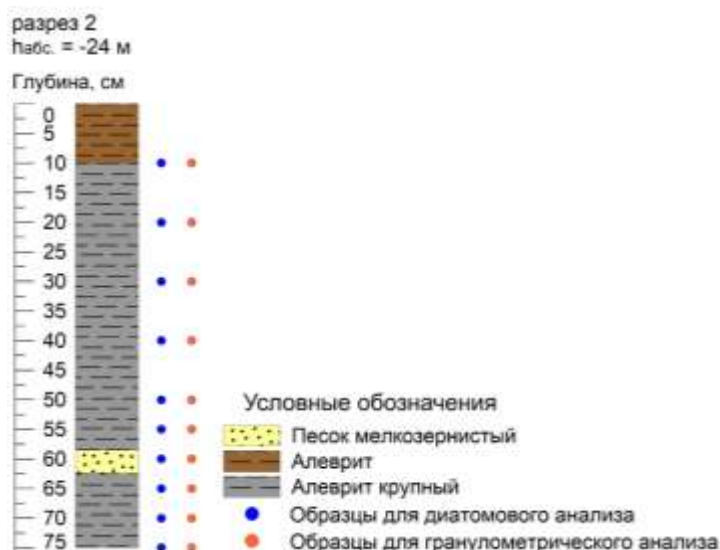


Рисунок 102. Схематическое изображение Разреза 2 на правом берегу р. Быстрая в районе Дамчикского участка Астраханского заповедника.

### Результаты исследований и палеогеографическая интерпретация

**Скв. DM-1.** Результаты диатомового анализа, сравнение с результатами статистических методов. Для целей диатомового анализа было обработано 20 образцов, диатомеи обнаружены в 16 из них. Количество створок, достаточное для статистической обработки и подробных палеореконструкций, содержится в 8 образцах, в 8 из них диатомеи представлены единичными створками или несколькими десятками створок (до 30). В изученных отложениях так же, как и в современных, доминантами во многих образцах являются виды *Aulacoseira granulata* и *A. ambigua*, однако их преобладание не столь ярко выраженное (максимум – до 60% у одного вида). Почти все выявленные таксоны относятся к пресноводным, за исключением единичных створок морских планктонных диатомей *Thalassiosira eccentrica* и *Thalassiosira hyperborea*. Согласно исследованиям Бухарицина П.И. и Лабунской Е.Н. (2023), каспийские виды встречаются в современном фитопланктоне низовой Волги, поэтому единичные находки диатомей рода *Thalassiosira* закономерны в отложениях дельты Волги. В разрезе скважины выявлено 65 видов и внутривидовых таксонов, наиболее обильные представлены на диаграмме (Рисунок 103), полный список обнаруженных видов содержится в приложении 6.

Согласно классификации диатомей по солёностной толерантности, в отложениях скв. DM-1 преобладают олигогалобы-индифференты – типичные обитатели пресных вод: *Aulacoseira granulata* и *A. ambigua*. Галофобы – пресноводные виды, на которые даже



незначительное увеличение солёности вод действует губительно, локализованы в конкретных интервалах и представлены створками: *Aulacoseira distans*, *Eunotia monodon*. Из галофилов в полученных диатомовых ассоциациях присутствуют: *Aulacoseira islandica*, *Stephanocyclus meneghinianus*, *Epithemia adnata*, *Epithemia porcellus*, *Gomphonema acuminatum*, *Melosira varians*, *Navicula cincta*, *Pinnularia brebissonii*, *Stephanodiscus astraea*. По условиям местообитания установленные виды диатомей отнесены к следующим группам: (1) планктонные; (2) бентосные в широком смысле – бентосные + перифитонные (см. гл. 3); (3) планктонно-бентосные. Последняя группа выделена, согласно С.С. Бариновой с соавторами (2006). К ней относятся виды *Staurosira construens* и *Ulnaria ulna*, которые могут встречаться как в планктоне в виде колоний, так и в бентосе, прикрепленными к субстрату с помощью слизистых подушечек (Diatoms of North America [сайт]. URL: <https://diatoms.org/>). В целом в разрезе скважины преобладают планктонные диатомей *A. granulata*, *A. ambigua*, *S. astraea*, типичные для планктона р. Волги. Их систематическое разнообразие более ограничено, чем у бентосных видов (10 таксонов против 50). Среди бентоса в нижней части разреза преобладают створки диатомей родов *Epithemia*, *Eunotia*, в верхней – *Hantzschia*, *Craticula*, *Fragilaria*. Для образцов, содержащих минимум несколько десятков створок диатомей, рассчитана их концентрация (Таблица 7).

Таблица 7. Концентрация створок диатомей по разрезу скв. ДМ-1.

Глубина, м	Количество створок, тыс./г сух. в-ва	Диатомовая зона
0,2	542	VI
0,4	615	
0,9	15	V
1,1	27	
1,9	87	
2,2	93	IV
2,4	1214	III
2,6	31	
3,0	465	
3,5	441	II
3,8	67	
4,1	74	
4,8	495	
5,2	25	I
5,4	37	

Результаты анализа совокупной выборки образцов донных отложений из поверхностного слоя современных водоёмов и образцов из отложений, вскрытых

скважинами скв. DM-1 и Роу-2016, представлены выше (см. Рисунок 61, Рисунок 62). На основе распределения видов по разрезу, статистического анализа и литологического состава осадков в отложениях скважины DM-1 выявлено шесть диатомовых зон (Рисунок 103).

**I ДЗ (5,7–5,1 м)** выделена в литологически однородной толще мелкозернистого песка – белёсого, карбонатного (вскипает с HCl), с незначительной примесью глинистых частиц. Отличается крайне малой концентрацией створок диатомей (около 25-36 тыс./г сухого вещества). Это может быть связано с худшей сохранностью диатомей в карбонатных осадках (Диатомовые водоросли СССР, 1974). Встречаются единичные створки пресноводных планктонных видов *Aulacoseira granulata* и *A. ambigua*. Среди пресноводных бентосных идентифицированы единичные створки *Epithemia adnata*, *E. argus*, *Eunotia monodon*, *E. gracilis* – типичных обитателей «застойных» водоёмов с низкой гидродинамикой. Вероятно, осадок формировался в пересыхающем мелком водоёме в условиях интенсивного испарения.

**II ДЗ (5,1–3,4 м)** выделена в толще сизоватых глин, переходящих в суглинки выше по разрезу, и содержит образцы с глубин 3,5 и 4,8 м, для которых характерно резкое возрастание концентрации створок – до 441 и 495,1 тыс./г соответственно. В зоне преобладают планктонные виды *Aulacoseira granulata* и *A. ambigua*, их доли примерно равны и находятся в пределах 20-40%. Суммарная доля планктона увеличивается вверх по разрезу с 50 до 73%, что может говорить об увеличении глубины водоёма или более проточном режиме, что подтверждается сменой литологического состава. На глубине 4,8 м отмечается повышенная доля диатомей родов *Epithemia* и *Eunotia*, характерных для озёр и болот. В целом глинистый и суглинистый состав отложений и присутствие створок озёрно-болотных видов *Epithemia argus*, *E. adnata* и *Eunotia monodon* свидетельствует о формировании осадка в слабопроточных условиях.

По результатам PCA данные образцы расположены в противоположных участках графика относительно второго фактора (см. Рисунок 61). Образец с глубины 3,5 м приближен к кластеру р. Быстрая, образец с глубины 4,8 м сильно отличается от современных ассоциаций за счёт повышенной доли бентосных видов родов *Epithemia* и *Eunotia*, которые не представлены в массе в изученных поверхностных пробах. По результатам NMDS, напротив, выявлено сходство данных образцов между собой и с таковым с глубины 2,2 м (см. Рисунок 62). Относительно остальных образцов из скважины они обладают более равномерным распределением видов-доминант (см. Рисунок 103). Также методом неметрического шкалирования выявлена относительная близость

обстановок к современным условиям дельтовой протоки (обр. №4 из р. Быстрая), вероятно, также за счёт равномерного их распределения видов-доминант рода *Aulacoseira*.

**III ДЗ (3,4–2,4 м)** выделена в толще сизоватых неоднородных супесей-суглинков, сменяющихся прослоем обогащённых органикой глин выше по разрезу. К этой зоне относятся образцы с глубин 3,0 и 2,4 м, концентрация створок составляет соответственно 465 тыс./г и 1,2 млн/г (что является наивысшим показателем по разрезу).

Образцы характеризуются преобладанием планктонного вида *Aulacoseira ambigua*, доля которого закономерно уменьшается в глинистых отложениях с 50 до 22%, что может свидетельствовать о переходе к более спокойным гидродинамическим условиям осадконакопления. Суммарная доля планктона также уменьшается с 50 до 32%. Образец с глубины 2,4 м отличается повышенной долей диатомей родов *Epithemia* и *Eunotia*, характерных для озёр и болот. По литологии и видовому составу диатомей можно выделить 2 подзоны: а – постепенное обособление ильменя (супесчаные-суглинистые отложения, доля планктонных диатомей выше), b – условия замкнутого пресного водоёма – ильменя (глинистые отложения, высокая доля озёрно-болотных видов родов *Epithemia* и *Eunotia*). Наблюдается схожесть состава диатомей в нижней части интервала с обстановкой ильменя, реконструированной во II ДЗ в скв. ББ9. Судя по составу диатомовых ассоциаций, в данном интервале в процессе осадконакопления наблюдается обратная динамика, по сравнению со скв. ББ9: на более раннем этапе осадок накапливался в ильмене, далее произошла смена обстановки на слабопроточные условия (схожие с таковыми из I ДЗ в скв. ББ9).

По результатам РСА образцы 3,0 и 2,4 м из этой диатомовой зоны находятся в одних и тех же частях графика относительно первого и второго факторов, не имеют сходств с современными обстановками, но также и не образуют единого кластера (см. Рисунок 61).

Однако на графике ординации по результатам NMDS данные образцы образуют единый кластер и располагаются вблизи образцов из р. Быстрая (см. Рисунок 62), вероятно, за счёт повышенной доли *Aulacoseira ambigua*, достигающего высокой численности в р. Быстрая.

**IV ДЗ (2,4–2,0 м)** выделена в толще тёмно-коричневых суглинков, в неё входит образец с глубины 2,2 м с довольно низкой концентрацией створок – 93 тыс./г, что может объясняться менее благоприятными условиями для обитания диатомей. Для него характерны равные доли преобладающих видов *Aulacoseira granulata* и *A. ambigua* (по 36%) и высокая суммарная доля планктона – 82%. Наряду с этим отмечается повышенное содержание бентосного вида *Epithemia adnata* (10%). Вероятно, осадок формировался в слабопроточных условиях, схожих с таковыми, выявленными в II ДЗ.

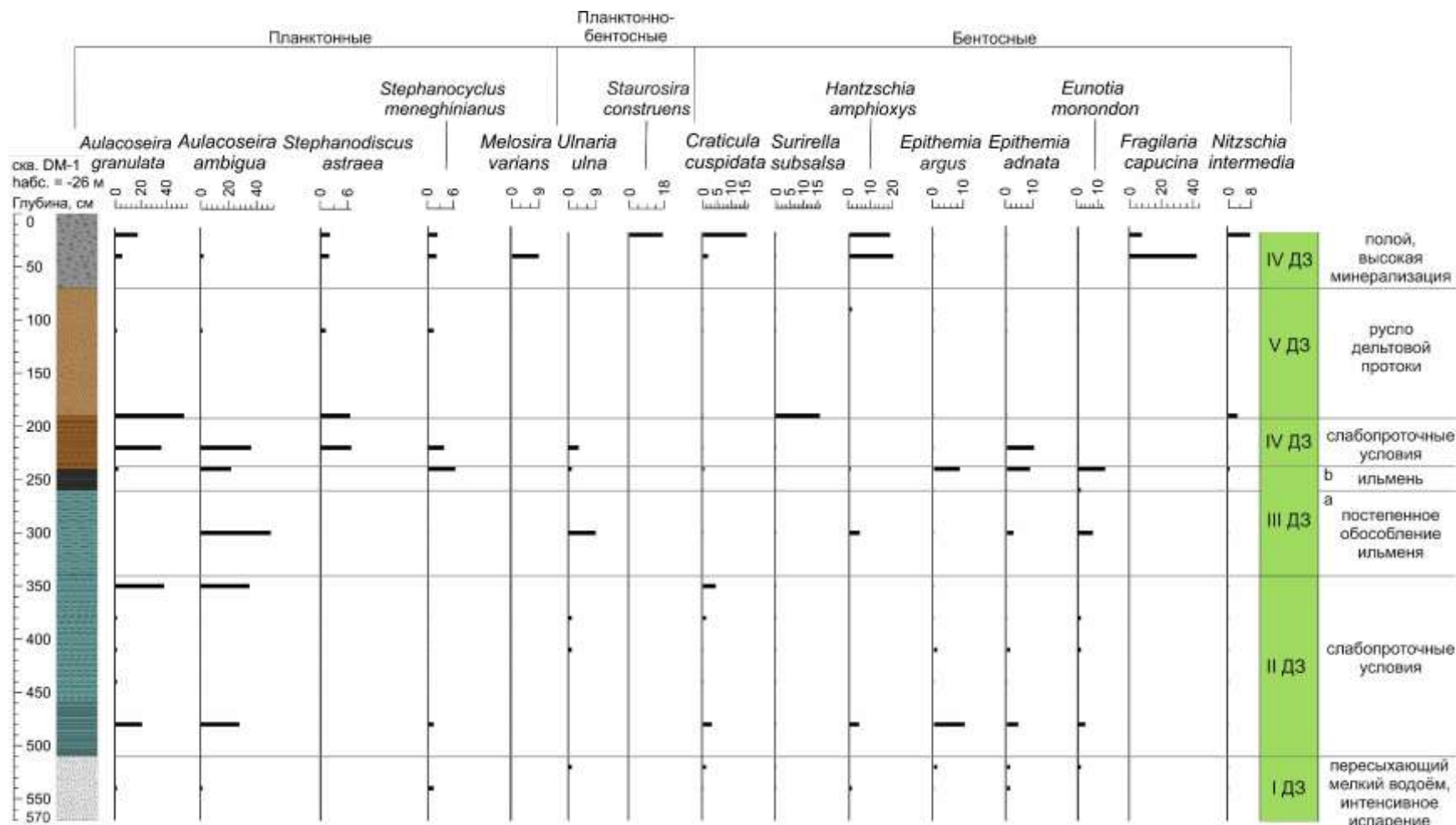


Рисунок 103. Условия формирования отложений, вскрытых скв. DM-1 (пос. Дамчик, на территории Дамчикского участка Астраханского заповедника), по диатомовому анализу и распределение по разрезу наиболее обильных видов диатомей (Лысенко, 2025а). Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 97

По результатам PCA образец приближен к таковым с глубин 3,0 и 3,5 м (см. Рисунок 61). На графике ординации по результатам NMDS подтверждается сходство образцов с глубин 2,2 м и 3,5 м. Также, как было сказано выше, в этот кластер попадает образец с глубины 4,8 м (см. Рисунок 62). В целом результаты статистического анализа подтверждают схожесть обстановок из II и IV ДЗ, выделенных на основе диатомового анализа.

**V ДЗ (2,0–0,9 м)** выделена в толще тонкозернистых песков с включениями битых и целых раковин пресноводных моллюсков, в неё входит образец с глубины 1,9 м. Концентрация створок диатомей также невелика – 87 тыс./г, что вероятно связано с высокой скоростью осадконакопления. Преобладающий вид – *Aulacoseira granulata* (53%), субдоминант – бентосный вид *Surirella subsalsa* (15,8%). Согласно анализу современных осадков дельты, диатомеи рода *Surirella* (*Iconella*) постоянно встречаются в образцах в виде «сопутствующих» видов, наиболее массово – в образцах из протоки Грязнуха, самой ближайшей к авандельте (см. прил. 6). Судя по литологии (тонкозернистый песок) и преобладанию пресноводных планктонных видов *A. granulata* и *Stephanodiscus astraea* (суммарно 59%), можно однозначно реконструировать условия осадконакопления в русле дельтовой протоки.

На графике факторных нагрузок (см. Рисунок 61) образец приближен к некоторым образцам из р. Быстрая, ерика Дубного и култука Сазаньего. Согласно результатам NMDS (см. Рисунок 62), подтверждается близость образца к обстановкам р. Быстрая (кластер с доминантом *Aulacoseira granulata* в правой части графика). Таким образом, результаты статистических методов согласуются с реконструкциями на основе диатомового анализа.

**VI ДЗ (0,9–0,0 м)** выделена в песках, преобразованных почвенными процессами, с включениями карбонатов в верхней части толщи. К ней относятся образцы с глубин 0,2 и 0,4 м, концентрация створок в чуть выше модальных значений по разрезу – 542 и 615 тыс./г соответственно. Зона отличается иным составом доминирующих видов, преобладают бентосные виды: в нижней части толщи – *Fragilaria capucina* (42%), в верхней – *Staurosira construens* (17,3%). Субдоминантами являются *Hantzschia amphioxys* (17-18% соответственно), *Craticula cuspidata* (2-16% соответственно). Вид *H. amphioxys* аэрофильный, встречается в почвах (Spaulding et al., 2021), *C. cuspidata* появляется при повышении минерализации, солевом стрессе (Stenger-Kovács et al., 2023). Подобные могут формироваться при интенсивном испарении и периодическом пересыхании водоёма. Суммарная доля бентосных таксонов составляет 76-80%, что свидетельствует о малой глубине водоёма. Исходя из высокой доли бентосных диатомей и повышенного содержания *Craticula cuspidata* и *H. amphioxys*, можно предположить осадконакопление в условиях

эфемерного водоёма, возникающего при затоплении участка дельтовой равнины в половодье – полоя. Судя по высокой доле алкаифильных видов (*Fragilaria capucina*, *F. construens*, *Melosira varians*, *Craticula cuspidata*), можно предположить, что осадок формировался в мелком пресном водоёме со слабощелочной реакцией вод.

По результатам PCA образцы с глубин 0,2 и 0,4 м значительно отличаются от образцов из поверхностных проб и из скв. Роу-2016. Они образуют отдельный кластер (см. Рисунок 61), что также подтверждается результатами NMDS (см. Рисунок 62). Аналогов этих обстановок среди изученных современных диатомовых ассоциаций не выявлено.

По результатам комплексного анализа можно сделать вывод, что характерными видами для полонных обстановок являются аэрофильный *Hantzschia amphioxys* и *Craticula cuspidata*, появляющийся при солевом стрессе.

*Результаты радиоуглеродного датирования* по 2 образцам приведены в таблице 8.

Большая часть осадков скважины (верхние 4,9 м) накапливалась примерно в течение последних 5 тысяч лет. Согласно современным представлениям о развитии дельты Волги, в этот временной интервал попадает как минимум две стадии новокаспийской трансгрессии (см. п. 2.2).

Таблица 8. Результаты радиоуглеродного анализа образцов обогащённых органикой глин и калиброванные даты.

Материал	Глубина, см	Радиоуглеродный возраст, <sup>14</sup> С л. н.	Календарный возраст (2σ), кал. л. н.	Вероятность
Глины, обогащённые органикой	240	1660±20	1559±43	90.3
	490	4385±25	4924±60	80.6

*Результаты геохимического анализа.* По результатам геохимического анализа получено распределение основных оксидов (Рисунок 104) С, % масс. и 53-х химических элементов, С, мкг/г (см. Приложения 2 и 3).

Для создания корреляционной диаграммы и кластеризации образцов и элементов, оксиды были также пересчитаны на элементы (Oxides-Elements Calculator. Pangloss Foundation [сайт]. URL: <http://www.mariscigrp.org/oxtoel.html>). С целью построения диаграммы и кластеризации образцов, были выбраны наиболее характерные элементы (Рисунок 105, Рисунок 106).

Распределение элементов не обнаруживает однозначной связи с гранулометрическим составом, которая была выявлена в скв. Роу-2016 и С1 (см. п. 4.3.1 и 4.3.2). В образцах с большей долей песка ожидается повышенное содержание Si, однако увеличение Si отмечается и в глинистых отложениях на глубинах 2,5-2,4 м. Карбонатные пески в нижней части разреза (5,4-5,1 м) относительно обеднены Si.



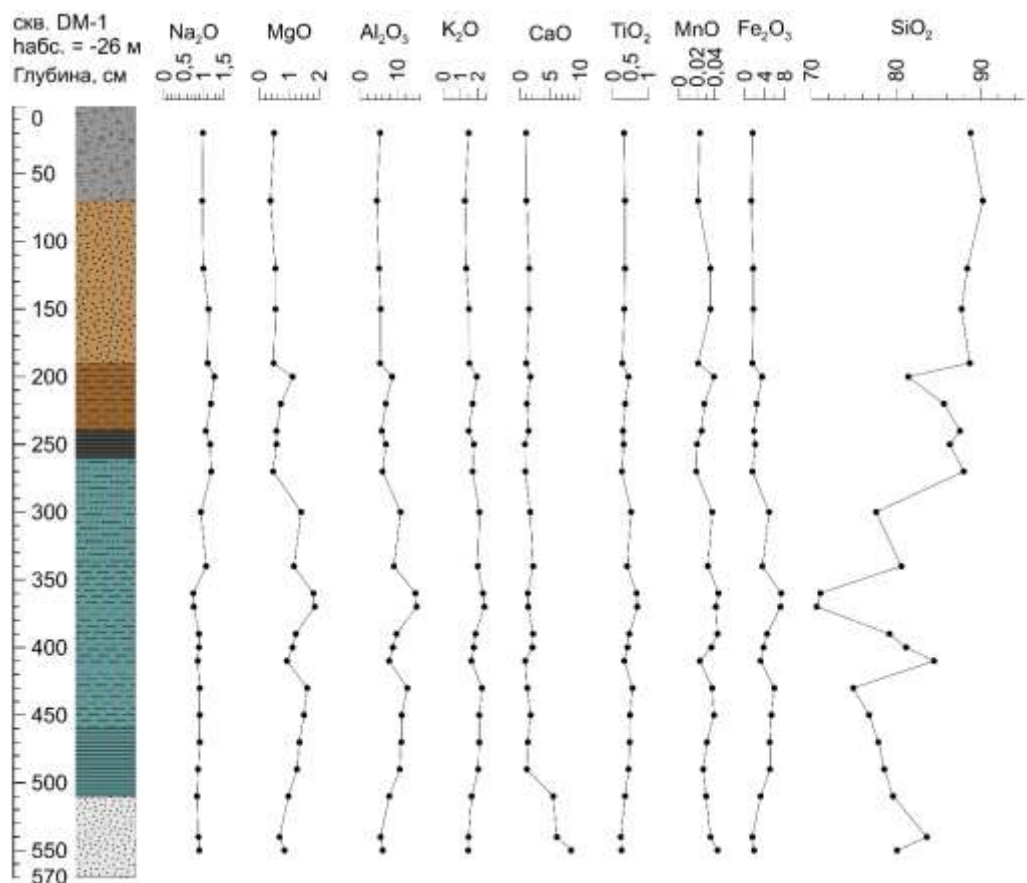


Рисунок 104. Схематический разрез скважины DM-1 (пос. Дамчик, на территории Дамчикского участка Астраханского заповедника) и распределение по нему основных оксидов. Точками обозначены места отбора образцов для геохимического метода. Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 97.

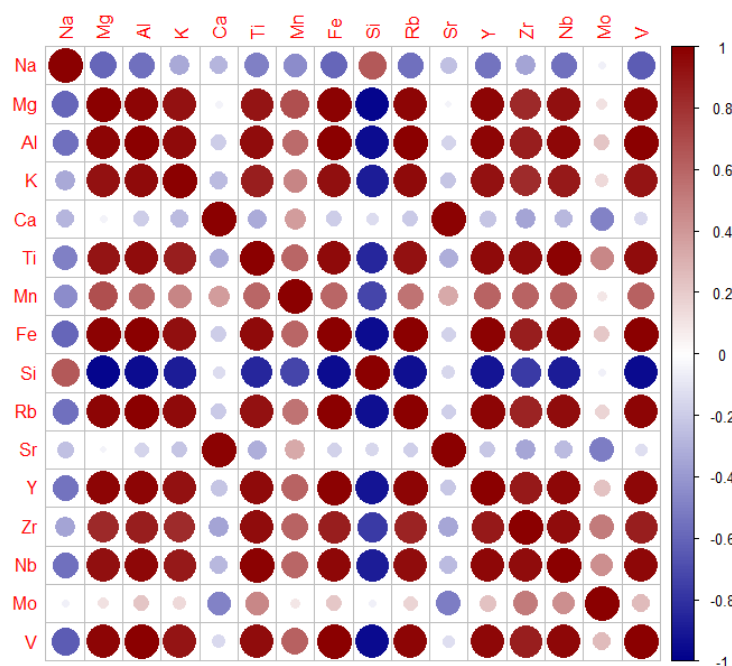


Рисунок 105. Корреляционная матрица элементов из скв. DM-1 (пос. Дамчик, на территории Дамчикского участка Астраханского заповедника).

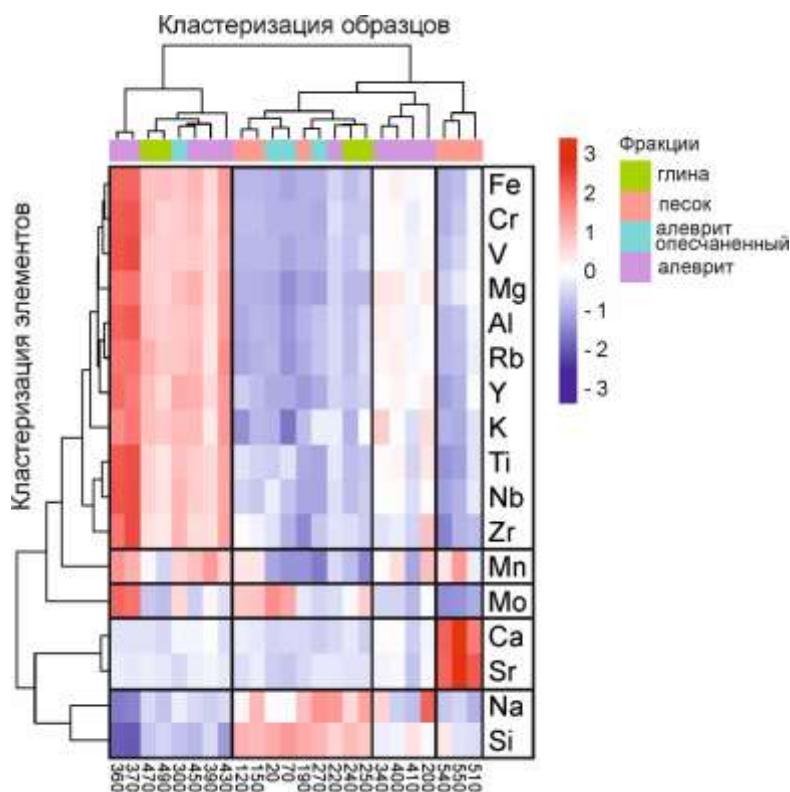


Рисунок 106. Кластеризация образцов и элементов из скв. DM-1 (пос. Дамчик, на территории Дамчикского участка Астраханского заповедника).

Элементы, связанные с глинистыми минералами-носителями (Юдович, Кетрис; 2011), тяготеют к алевритам и глинам в нижней части разреза: Fe, Mn, Rb, Ni. Однако в прослоях алевритов с глубин 4,1-4,0; 3,4 и 2,0 м содержание этих элементов уменьшается до средних по разрезу значений.

Обращает на себя внимание связь Mg с Al, Sr, Y, Ti, Rb. По-видимому, это свидетельствует о наличии биотита, для которого Sr, Y, Ti, Rb – характерные примеси. Также для Al и Rb типично нахождение других слюдах, глинистых минералах, калиевых полевых шпатах (о чём также свидетельствует корреляция Al и K).

Существенное обогащение Ca и Sr закономерно отмечается в карбонатных песках. По геохимическим свойствам Sr является аналогом Ca, поэтому данные элементы демонстрируют высокую степень корреляции по разрезу (Юдович, Кетрис; 2011). Также Ca демонстрирует связь с Mn. По данным Я.Э. Юдовича и М.П. Кетриса (2014), это может свидетельствовать о карбонатной форме нахождения Mn (минерал родохрозит).

В отдельный кластер выделен элемент Mo, накопление которого происходит в восстановительных условиях (Юдович, Кетрис; 2011). Максимальное содержание элемента достигается в алевритах на глубинах 3,6-3,7 м. По диатомеям в данном интервале выявлены слабопроточные условия. Согласно геохимическим исследованиям в лагунно-маршевых и дельтовых ландшафтах Прикаспия (Касимов и др., 2016), окислительно-восстановительный потенциал (Eh) имеет наименьшие значения в слабопроточных ериках. Поэтому

максимальные по разрезу концентрации Мо в интервале 3,6-3,7 м достигаются в восстановительной среде, сформированной в условиях слабопроточного режима водоёмов.

По разрезу Si демонстрирует высокую корреляцию только с Na. По-видимому, это свидетельствует о наличии натриевого полевого шпата. Повышенные содержания Si и Na характерны для интервала 2,5-0 м. Этот вывод подтверждается фоновыми материалами, согласно которым в минералогическом составе голоценовых русловых отложений дельты Волги около 90% составляет кварц, 7% – полевошпат (Акуз и др., 1961).

Кластеры образцов по распределению элементов группируются следующим образом:

- в интервале 5,1-5,4 м наблюдаются повышенные доли Ca и Sr, небольшое повышение Mn может быть связано с воздействием восстановительной среды;
- для интервала 4,9-2,7 м в целом характерно обогащение Fe, Mn, Rb, Ni, Al, Sr, Y, Ti, Rb и K что скорее всего связано с наличием слюд, глинистых минералов и калиевых полевых шпатов; на глубине 3,6-3,7 м отмечается существенное повышение доли Mn и Mo, что связано с восстановительными условиями осадконакопления;
- верхняя часть разреза 2,7-0 м отличается существенным обогащением Na и Si на фоне обеднения другими элементами. Источником данных элементов, скорее всего, является натриевый полевой шпат, накапливающийся в условиях более интенсивного терригенного стока.

Сводные результаты по стратиграфии скв. ДМ-1 на основе геохимического и диатомового анализов (Рисунок 107).

*Палеогеографическая интерпретация.* В нижней части дельты (скв. ДМ-1) вскрыты наиболее древние голоценовые отложения, подтверждённые датировками, среди изученных в работе. Даты, полученные с глубины 490 см, соответствуют  $4924 \pm 60$  кал. л.н. Самый нижний горизонт скв. ДМ-1 на глубине 5,7-5,1 м, выделяющийся по диатомеям и геохимии, – белёные карбонатные пески – в осадках Дамчикского участка в нижней дельте выделяются рядом авторов (Overeem et al., 2003; Янина, 2008). Данные радиоуглеродного датирования авторов оценивают время формирования осадка более чем в 6 тыс. лет, что не противоречит нашим данным, однако они замечают, что нельзя точно установить, являются ли раковины моллюсков – основной материал для датирования – *in situ* (Overeem et al., 2003). Согласно опубликованным данным, эти осадки накапливались в спокойных гидродинамических условиях в межгрядовых понижениях и при периодическом затоплении. Такие межгрядовые лагуны отсутствуют на современной территории Дамчикского участка в нижней дельте, но их аналогами могут служить междугрядовые

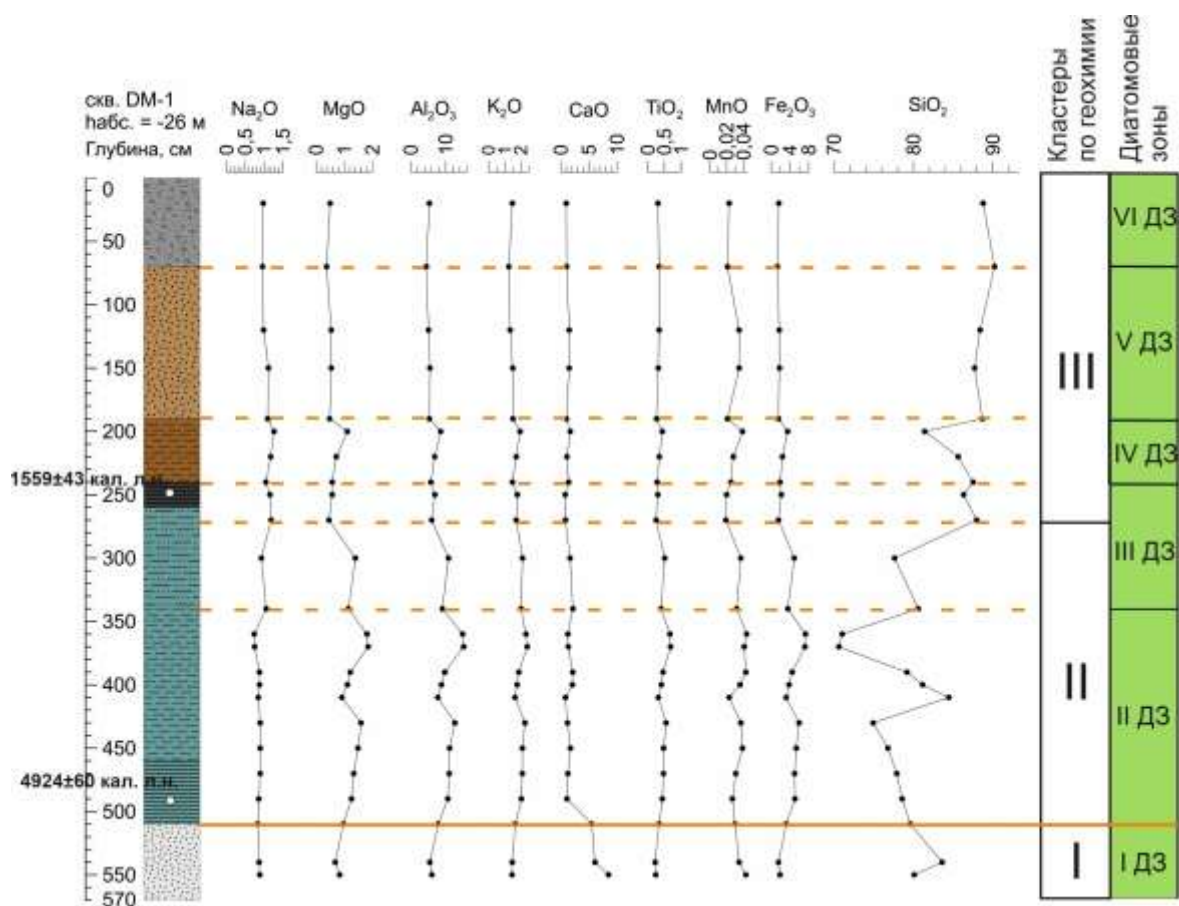


Рисунок 107. Сопоставление результатов диатомового и геохимического анализов и результаты радиоуглеродного датирования образцов из скв. DM-1 (пос. Дамчик, на территории Дамчикского участка Астраханского заповедника). Пунктирными линиями обозначены границы, выявленные на основе результатов 1 анализа (дополнительно выделен интервал 3,7-3,6 м по геохимии), сплошными – по результатам нескольких анализов. Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 97.

понижения к западу от дельты (район западных подступных ильменей), которые ежегодно затапливаются Волгой. Обогащение карбонатами может быть связано с интенсивным испарением паводковых вод в межгрядовых понижениях. Определенную роль может играть и постседиментационное почвообразование по типу известковых кор выветривания, поскольку в данных отложениях иногда обнаруживаются известковые конкреции (Overeem et al., 2003). По результатам геохимического анализа, в этом интервале наряду с повышенной долей Ca и Sr наблюдается небольшое повышение Mn, что может быть связано с воздействием восстановительной среды, которая формируется в лагунных условиях. Согласно более поздним комплексным исследованиям в этом районе (Richards et al., 2014), скважина D-11 заложена недалеко от скв. DM-1, изученной в этой работе (Рисунок 108).



Согласно результатам радиоуглеродного датирования и диатомового анализа, вышележащая толща глин в интервале 5,10-4,65 м формировалась около  $4924 \pm 60$  кал. л.н. в слабопроточных условиях, что предполагает некоторый подъём уровня моря относительно предыдущей фазы. Вышележащие отложения 4,65-3,4 м также сформировались в слабопроточных условиях. Для интервала 3,6-3,7 м по геохимии выявлено повышенное содержание Мо, что может быть связано с восстановительными обстановками. В интервале 3,4-2,6 м выявлены обстановки постепенного обособления ильменя, сменяющиеся собственно ильменными условиями на глубине 2,6-2,4 м. По данным I. Overeem с соавторами (2003), схожие мощные толщи (около 1,9 м) тёмных глинистых отложений были выявлены в скважинах на территории Дамчикского участка, приуроченных к палеопонижениям. Согласно исследованию, толщи обогащены раковинами пресноводных моллюсков, имеют лагунный генезис. Датировки этих отложений в нескольких скважинах составили от  $5040 \pm 50$  кал. л. н. до как минимум 4700 и 3500 кал. л.н. Таким образом, есть основания предполагать лагунный генезис толщи в скв. DM-1 в интервале 5,1-2,6 м в условиях сильного распреснения, время формирования отложений приблизительно от 5000 кал. л.н. до 3500 кал. л. н. Реконструкции по диатомеям пресноводных условий слабопроточных обстановок и условий постепенного обособления ильменя в целом не противоречат данным выводам. Согласно кривой колебания влагообеспеченности, построенной по палинологическим данным из разрезов Солёной Займище Нижней Волги, суббореальный период (5000-2500 л.н.) содержал два довольно длительных эпизода роста увлажнения и господства лесостепной зональной растительности (Болиховская, 2019; Рисунок 109). Вероятно, это способствовало накоплению мощной толщи осадков распреснённой лагуны в скв. DM-1, и можно расширить этот временной интервал от  $5040 \pm 50$  кал. л. н. (по: Overeem et al., 2003) и  $4924 \pm 60$  (по нашим данным) до примерно 2600 кал. л.н. (по: Болиховская, 2019). Этому временному интервалу отвечает туралинская трансгрессия (по: Варущенко и др., 1987), датируемая в интервале  $3540 \pm 120$  и  $3000 \pm 120$  л.н., или уллучаевская трансгрессии Каспия, выделенная Г.И. Рычаговым (2019) примерно от 2500 до 3500 л.н.

Ильменные обстановки, выявленные на глубине 2,6-2,4 м, в верхней части интервала имеют датировку  $1559 \pm 43$  кал. л. н., согласно палинологическим данным, в это время отмечается кратковременный эпизод относительного увеличения тепло- и влагообеспеченности (Болиховская, 2019). Вероятно, обособление ильменя происходило на фоне отступления уровня моря после трансгрессивной стадии, однако относительно высокая влагообеспеченность позволила ильменным обстановкам сохраниться на некоторое время (Рисунок 109).



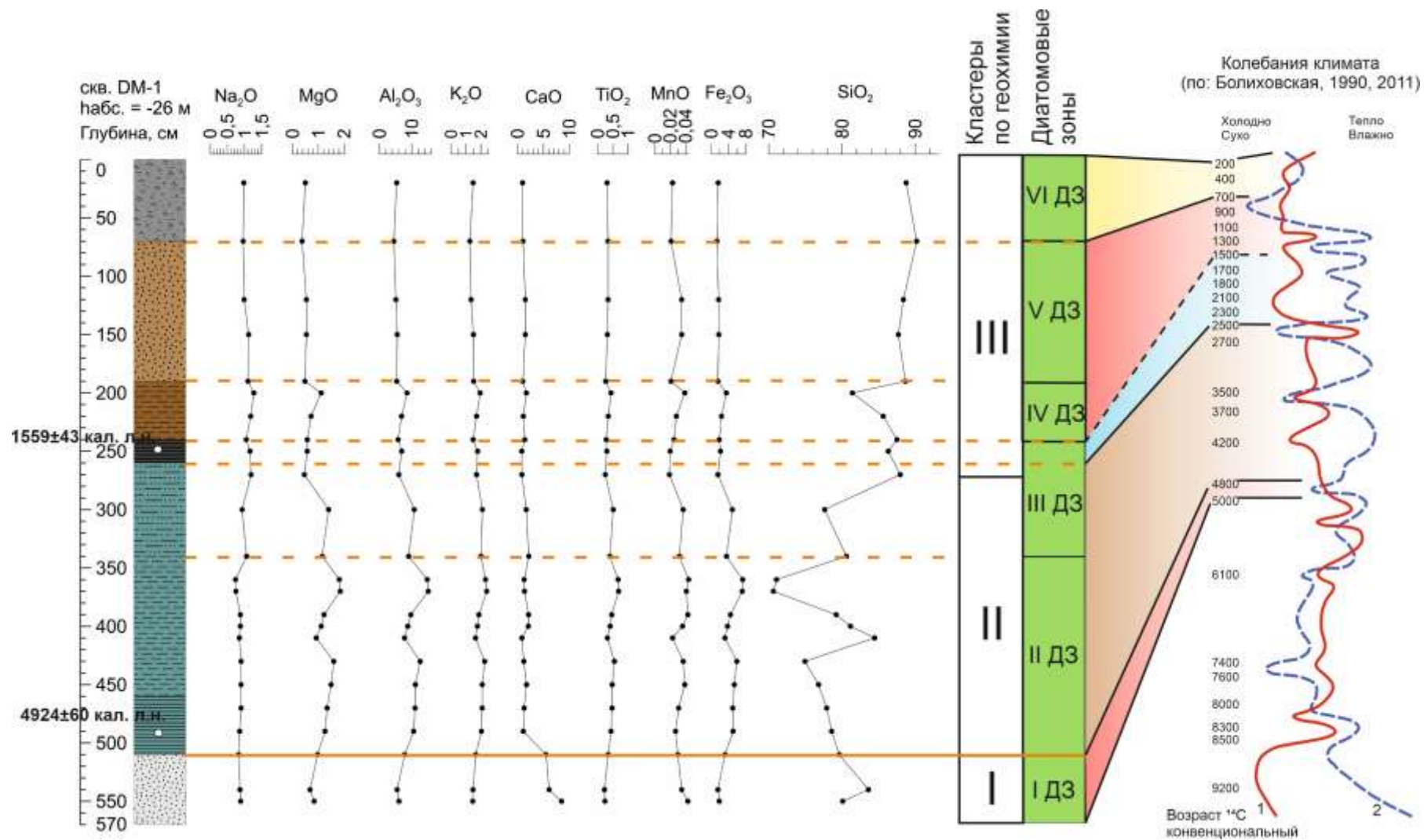


Рисунок 109. Корреляции событий, реконструированных в скв. DM-1 (пос. Дамчик, на территории Дамчикского участка Астраханского заповедника), с климатическими реконструкциями на основе палинологического анализа материалов из разрезов Нижней Волги (по: Болиховская, 1990; 2011). Цифрами обозначены кривые колебания: 1 – теплообеспеченности, 2 – влагообеспеченности.

В вышележащей толще 2,40-1,90 м в скв. ДМ-1 по диатомеям реконструированы слабопроточные условия, вероятно, связанные с более интенсивным врезанием водотоков в связи с отступанием уровня моря. Геохимические маркёры (обогащение Са и Na в интервале 2,7-0 см) позволяют предположить увеличение интенсивности терригенного стока.

Фомирование толщи песков в скв. ДМ-1 на глубине 1,9-0,9 м отличается крайне низким содержанием створок диатомей и, вероятно, отвечает дербентской регрессии Каспия (1500-1000 л.н., см. п. 2.2). Это не противоречит нашим данным, согласно которым регрессия имела место позднее 1569±39 кал. л. н. Наиболее поздний этап осадконакопления – мелкий пресный водоём, выявленный на глубине 0,9-0 м – вероятно, связан с обстановками полоев, близкими к современным.

### **Естественные обнажения в долинах дельтовых протоков.**

По сравнению со скважинными материалами, в разрезах 1 и 2 отмечается более частая смена литологических разностей (см. п. «Описание района и литологические характеристики изученных осадков») и диатомовых сообществ, наряду с повышенным содержанием остатков диатомовых водорослей в осадках. Учитывая малую мощность разрезов 1 и 2 (90 и 75 см соответственно) вероятнее всего, выявленные экостратиграфические зоны по диатомеям характеризуют смену локальных факторов осадконакопления, отражающих различные этапы развития водотоков.

**Разрез 1.** *Результаты диатомового анализа, сравнение с результатами статистических методов.* В разрезе 1 диатомеи обнаружены во всех 16-ти изученных образцах. Выявлено 126 видов и внутривидовых таксонов диатомей, что демонстрирует довольно богатое видовое разнообразие. По отношению к солёности вод по системе галобности практически все обнаруженные виды относятся к олигогалолам, обитающим в пресных водах с солёностью до 5 ‰. Обнаружена только 1 створка типичного морского вида, характерного для современной альгофлоры Северного Каспия – *Thalassiosira eccentrica*. Учитывая, что разрез расположен примерно в 70 км от внешней границы дельты с Северным Каспием, можно предположить распространение этого вида вверх по протокам. Таксоны, встречающиеся по всему разрезу – планктонные виды *Aulacoseira granulata* и *A. ambigua* (Рисунок 110).

По отношению к рН вод доминантные виды являются индифферентами. Бентосные виды, преобладающие в условиях застойных водоёмов со спокойным гидрологическим режимом, представлены единичными экземплярами родов *Epithemia* и *Eunotia*, что говорит о преимущественно проточных условиях осадконакопления. Типичные субдоминанты в

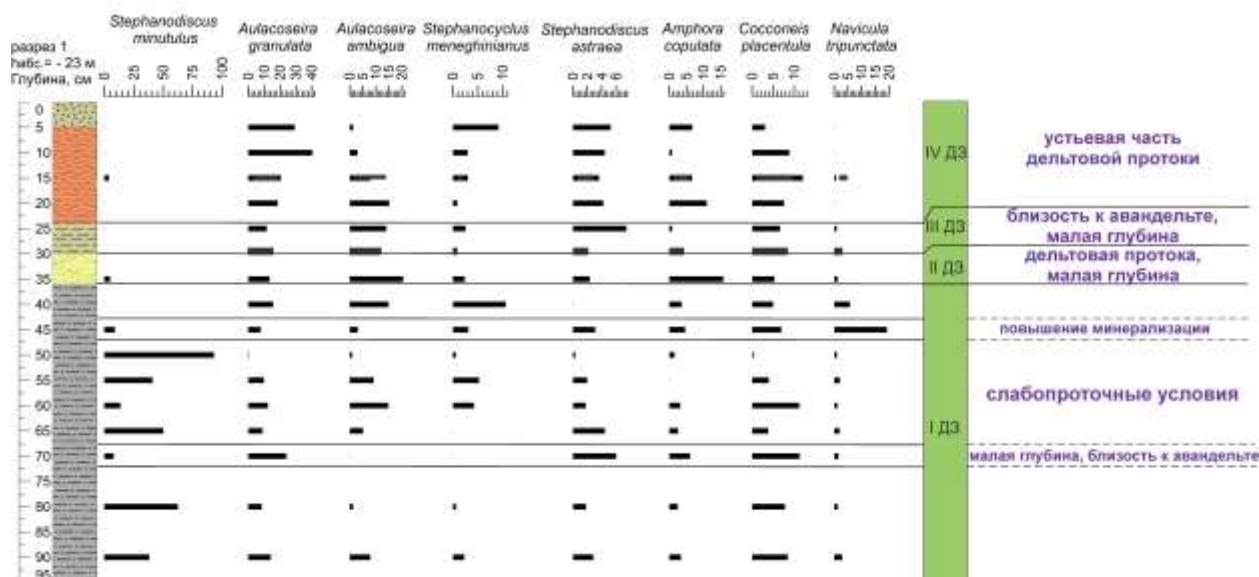


Рисунок 110. Процентное соотношение наиболее обильных видов и изменение концентрации створок диатомей по разрезу 1 на левобережье р. Полдневая в юго-западном секторе дельты Волги в районе Дамчикского участка Астраханского заповедника. Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 100.

этом разрезе – виды-алкалифилы, предпочитающие щелочные воды: *Stephanocyclus meneghinianus* (планктонный) и бентосные *Amphora copulata*, *Cocconeis placentula*, широко распространённые в поверхностном слое донных отложений современных водоёмах дельты.

Методом PCA проанализирована совокупная выборка образцов из современных водоёмов и из разрезов 1 и 2 (Рисунок 111). Первые две компоненты объясняют 31,3% дисперсии признаков, что позволяет выявить лишь общие тренды в распределении видов диатомовых водорослей в образцах. Также представлены результаты метода неметрического многомерного шкалирования (NMDS) для совокупной выборки образцов донных отложений из поверхностного слоя современных водоёмов и образцов из отложений, представленных в разрезах 1 и 2 (Рисунок 112). Концентрация створок на 1 г сухого вещества рассчитана для всех образцов (Таблица 9).

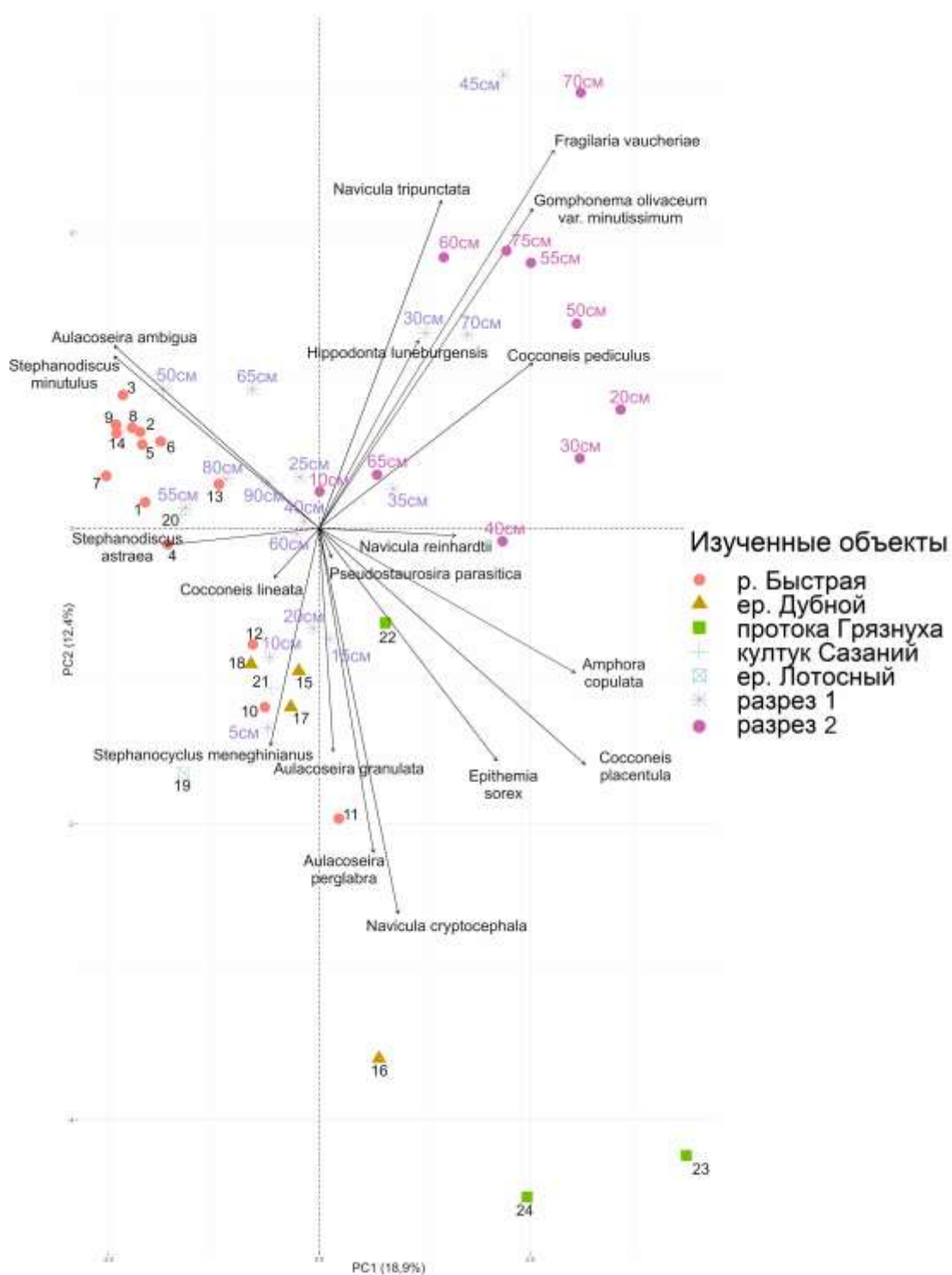


Рисунок 111. График факторных нагрузок и ординация исследованных образцов в осях значимых главных компонент для образцов из разрезов 1 и 2 в юго-западном секторе дельты Волги в районе Дамчикского участка Астраханского заповедника и современных водоёмов дельты. Расшифровка нумерации образцов из современных водоёмов указана в таблице 2 (см. п. 4.2).

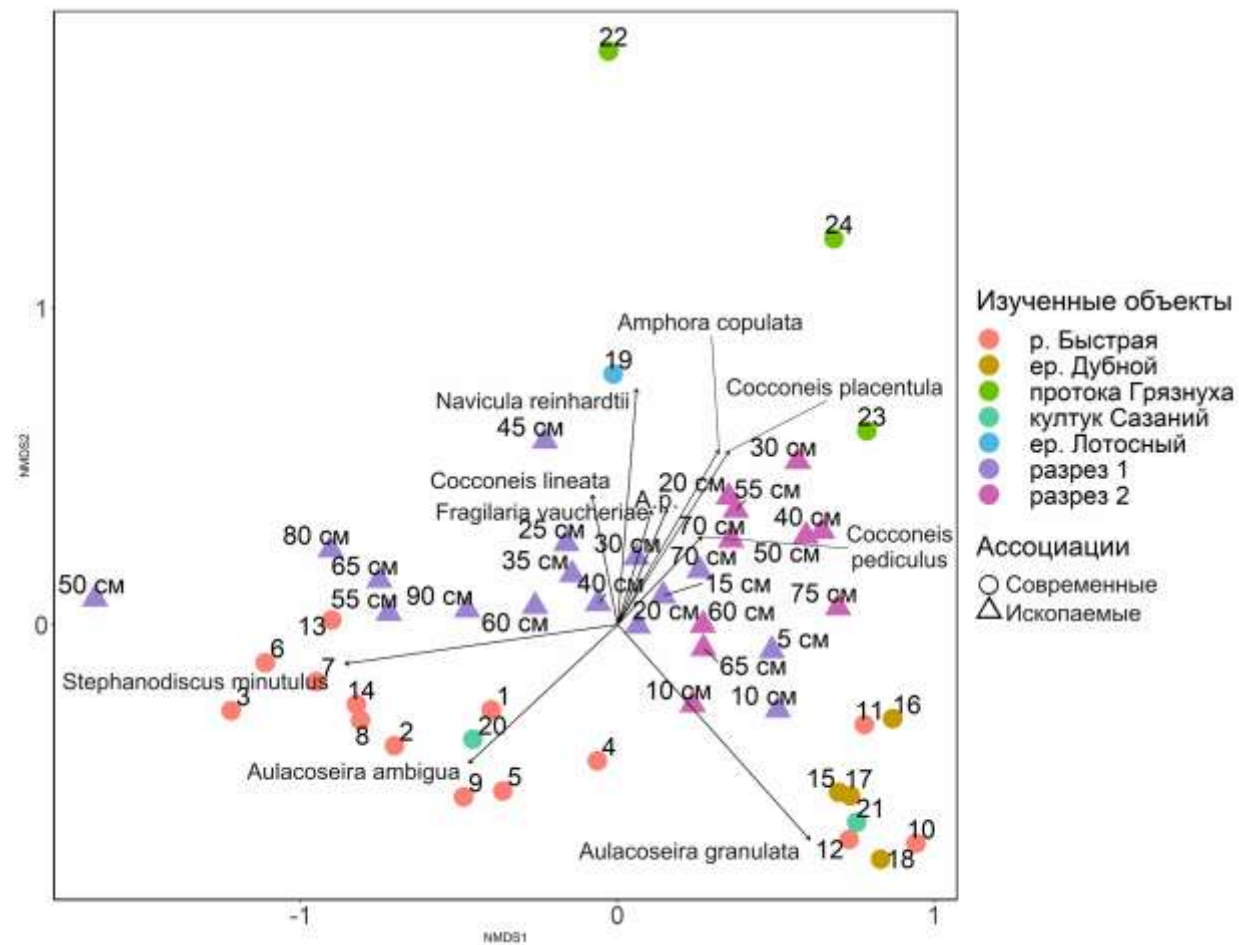


Рисунок 112. График ординации образцов из разрезов 1 и 2 в юго-западном секторе дельты Волги в районе Дамчикского участка Астраханского заповедника и современных водоёмов дельты по результатам NMDS. Сокращение А.р. соответствует названию таксона *Aulacoseira pfaffiana*.

Расшифровка нумерации образцов из современных водоёмов указана в таблице 2.

Таблица 9. Концентрация створок диатомей по разрезу 1.

Глубина, см	Количество створок, тыс./г сух. в-ва	Диатомовая зона
5	410	IV
10	519	
15	49	
20	55	
25	143	III
30	162	
35	44	II
40	32	I
45	249	
50	2007	
55	203	
60	142	
65	212	
70	86	

На основе результатов диатомового анализа с опорой на литологические данные в разрезе 1 выделено четыре диатомовые зоны, которые характеризуют смену условий осадконакопления в большей степени под влиянием локальных факторов. (Рисунок 110).

**I ДЗ (95-40 см)** выделена в толще чередующихся алевритов и более опесчаненных прослоев по высокой доле *Stephanodiscus minutulus*, бентосному таксону *Navicula tripunctata* среди сопутствующих видов и довольно частой смене соотношения планктон/бентос (см. ниже). Оба вида предпочитают эвтрофные воды, *N. tripunctata* – водоёмы с высоким уровнем минерализации (Куликовский и др., 2016). В эту зону отнесены 9 образцов с глубин: 90, 80, 70, 65, 60, 55, 50, 45 и 40 см. Концентрация створок увеличивается в центральной части интервала, наибольшее значение – в образце 50 см (2 млн/г; Таблица 9). В этом же интервале наблюдается максимальная доля *S. minutulus* (83,9%), на глубине 40 см данный вид сменяют иные планктонные таксоны: *Aulacoseira ambigua*, *A. granulata* и *Stephanocyclus meneghinianus*, которые также характерны и для поверхностных проб из современных водоёмов дельты (р. Быстрая, ер. Дубной, култук Сазаний и ер. Лотосный). Доля *Stephanocyclus meneghinianus* (11%) – наибольшая по разрезу, он может встречаться в почвенных и наземных субстратах (Баринова и др., 2006), поэтому повышение его численности может свидетельствовать об обмелении протоки или более интенсивному зарастанию высшими водными растениями. Доля планктонных видов колеблется в пределах 50-91%. Чередование образцов с большей/меньшей долей планктона отражает чередование режимов осадконакопления – более/менее проточного. Видовой состав ассоциаций на глубине 70 см свидетельствует о близости к авандельте: наблюдается повышенная доля видов-обрастателей *Amphora copulata* и *Cocconeis placentula*. На глубине 45 см по повышенной доле *N. tripunctata* (20%) отмечается увеличение минерализации



водоёма, вероятно, за счёт поступления морских вод. Несмотря на высокую долю планктона в отдельных интервалах, гранулометрический состав отложений свидетельствует скорее о слабoproточном режиме. Высокая доля планктона довольно типична для пресноводных эвтрофных водоёмов, поэтому не всегда напрямую отражает глубину (см. п. 3.2). Таким образом, осадконакопление происходило в пресноводных слабoproточных условиях.

По результатам PCA (Рисунок 111) подтверждается близость перечисленных образцов к современным диатомовым ассоциациям из р. Быстрая за исключением образцов с глубин 70 и 45 см, в которых повышается доля бентосных таксонов. Наиболее обильными являются *Cocconeis placentula* и *Navicula tripunctata* соответственно. По результатам NDMS (Рисунок 112) образцы из этой зоны также приближены к группе *S. minutulus* из р. Быстрая, подтверждается некоторое отличие образцов 45 см (тяготеет к современным ассоциациям из ер. Лotosного) и 70 см (тяготеет к ассоциациям из северной части протоки Грязнуха). Однако для обоснования отличий данных образцов необходим анализ экологии преобладающих видов и литологического состава осадков.

**II ДЗ (35 см)** выделена в косослоистых песках по отсутствию ярко доминирующих таксонов. В неё входит образец 35 см с довольно низкой концентрацией створок диатомей – 44 тыс./г. Наибольшая доля – у планктонных видов *Aulacoseira granulata* (13%), *A. ambigua* (20%) и у вида-обрастателя *Amphora copulata* (16% – наибольшая доля по разрезу). Судя по литологическому составу, осадок накапливался в дельтовой протоке, сравнительно невысокая доля планктона и наличие перифитонных видов, распространённых в современных водоёмах дельты (*A. copulata*, *Cocconeis placentula*) свидетельствуют о малой глубине. Сравнительно низкая концентрация створок согласуется с песчаным составом осадков, так как диатомей тяготеют к осадкам алевритовой размерности.

По результатам PCA (см. Рисунок 111) данный образец несколько удалён от кластеров современных диатомовых ассоциаций из дельтовых протоков и располагается в правой части графика, к которой тяготеют образцы с более высокой долей бентоса. Однако это не подтверждается результатами NMDS: образец 35 см находится вблизи кластера I ДЗ и современных ассоциаций из р. Быстрая, вероятно, за счёт схожих доминирующих видов рода *Aulacoseira* (см. Рисунок 112).

**III ДЗ (30-25 см)** выделена в прослое алевритов по более высокой доле бентосных видов и обрастателей (в особенности – *Cocconeis placentula* до 8% и *Amphora copulata* до 4%) на фоне отсутствия ярко выраженного доминанта: *Aulacoseira granulata* (15%), *A. ambigua* (12%). В неё входят образцы 30 и 25 см, концентрация створок увеличивается примерно в 4 раза – до 162 тыс./г, что связано в первую очередь с гранулометрическим составом осадка, так как размерность диатомей соответствует крупному алевриту (см. п.

3.2). Видовой состав диатомей наряду с алевроитистым составом осадков может говорить о мелководных условиях осадконакопления со спокойным гидродинамическим режимом вблизи авандельты.

По результатам статистического анализа NMDS и PCA выявлена близость образца 30 см к таковому с глубины 70 см, так как они схожи по видовому составу и в них отсутствуют выраженные доминанты (см. Рисунок 111, Рисунок 112).

**IV ДЗ (25-0 см)** выделена в различных по литологии слоях (алевриты, чередование мелкозернистых косослоистых песков и алевритов, мелкозернистые пески) и характеризуется преобладанием планктонных видов *Aulacoseira granulata* (18-40%) и *Aulacoseira ambigua* (1-15%). В данную зону отнесены образцы 20, 15, 10 и 5 см. Концентрация створок увеличивается на порядок при смене литологического состава: от 49 тыс./г в косослоистых песках и алевритах до 519 тыс./г в алевритах. Субдоминантами являются бентосные виды *Amphora copulata* (до 11%), *Cocconeis placentula* (3-12%). Содержание планктонных видов более стабильно по разрезу, чем в I ДЗ, однако невелико и находится в пределах 50-60%. Вероятнее всего, осадок накапливался в устьевой части дельтовой протоки, высокая доля бентосных видов и обрастателей может быть связана с зарастанием узкой протоки высшими водными растениями.

По результатам PCA анализа данные образцы близки кластеру *Aulacoseira granulata* из р. Быстрая, ер. Дубного и култука Сазаньего, который выявлен в устьевых частях проток или на участках с падением скоростей течения. Эта тенденция также прослеживается по результатам NMDS (см. Рисунок 111, Рисунок 112).

*Результаты гранулометрического анализа.* Распределение частиц по разрезу (Рисунок 113).

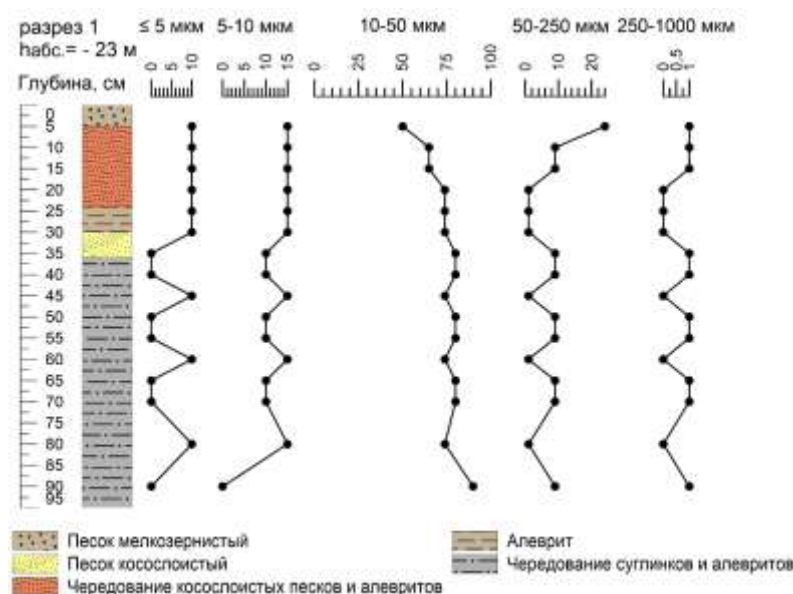


Рисунок 113. Схематическое изображение разреза 1 на левобережье р. Полдневая в юго-западном секторе дельты Волги в районе Дамчикского участка Астраханского заповедника и распределение по нему гранулометрических фракций. Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 100.

По результатам гранулометрического анализа в разрезе 1 выделено 3 группы образцов, характеризующих разную динамичность сред осадконакопления. В 1 группе (95-35 см) отмечается чередование слоёв опесчаненных алевритов (80-90% – крупный алеврит, 10% – мелкозернистый песок, 1% – крупно-среднезернистый песок) с прослоями алевритов (74% – крупный, 15% – средний, около 10% – мелкий алеврит и глина). Такое распределение частиц в целом характеризует нестабильный слабопроточный режим, который формируется, например, при меандрировании водотоков. Повышенное содержание планктонных диатомей в основном совпадает с более опесчаненными прослоями, характеризующими стадии с более проточным режимом (Рисунок 114).

Ко 2-й группе (35-15 см) отнесены образцы с преобладанием алевритов (65-74% – крупный, 15% – средний, около 10% – мелкий алеврит и глина). На данном этапе осадконакопления сформировались устойчивые слабопроточные условия.

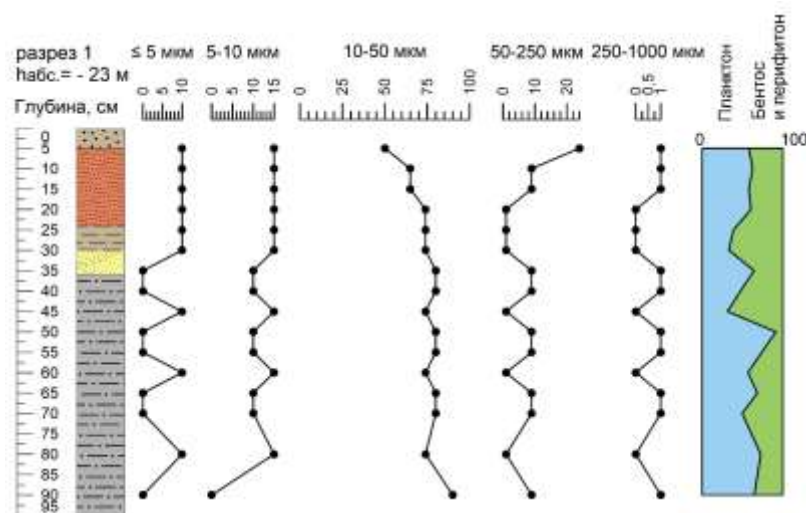


Рисунок 114. Распределение гранулометрических фракций и соотношение планктон/бентос по разрезу 1 на левобережье р. Полдневая в юго-западном секторе дельты Волги в районе Дамчикского участка Астраханского заповедника. Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 100.

В 3 группе (15-5 см) находятся 3 образца, отличающиеся повышенной долей мелкозернистого песка (8-24%) на фоне преобладания алевритов (50-65% – крупный, 15% – средний, около 10% – мелкий алеврит и глина), что характеризует переходные условия к типичным обстановкам дельтовых протоков. Сопоставление результатов диатомового и гранулометрического анализов представлено ниже (Рисунок 115).

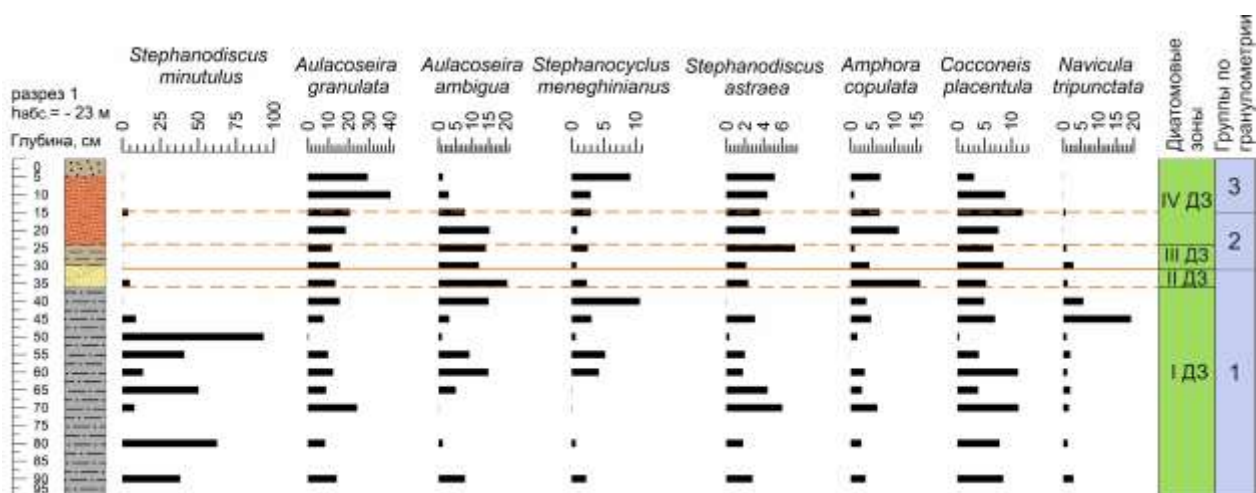


Рисунок 115. Сопоставление результатов диатомового и гранулометрического анализов образцов из разреза 1 на левобережье р. Полдневая в юго-западном секторе дельты Волги в районе Дамчикского участка Астраханского заповедника. Пунктирной линией обозначены границы, выделенные на основе одного анализа, сплошной – на основе двух анализов. Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 100.

**Разрез 2.** Результаты диатомового анализа, сравнение с результатами статистических методов. В разрезе 2 определено 109 видов и разновидностей диатомей, что несколько уступает видовому разнообразию разреза 1. Створки диатомей из отложений, вскрытых в разрезе 2 отличаются гораздо худшей сохранностью, что может быть связано с процессами почвообразования. Преобладающие виды, так же как в разрезе 1, представлены пресноводными планктонными таксонами: *A. ambigua*, *A. granulata*, *A. cf. granulata* (створки плохой сохранности, по морфологии схожие с *A. granulata*; Рисунок 116).

Для целей статистического анализа и более корректного отображения сходства ископаемых и современных ассоциаций доли видов *A. granulata* и *A. cf. granulata* суммировались.

Субдоминантные виды по отношению к pH являются алкалифилами: *Amphora copulata* (планктонный) и бентосные *C. pediculus*, *C. placentula*, *Gomphonema olivaceum var. minutissimum*. Судя по систематическому составу диатомовых ассоциаций, литологии и современному положению разреза 2 (старичное понижение, см. Рисунок 101), застойные условия осадконакопления в основании разреза кратковременно сменились обстановками дельтовой протоки за счёт перераспределения стока в ходе саморазвития р. Быстрая. Также разрез располагается ближе всего к морю среди изученных объектов (в 55 км от внешней границы дельты), что могло оказать влияние на состав диатомовых ассоциаций. В разрезе условно выявлено три диатомовые зоны, которые характеризуют смену условий

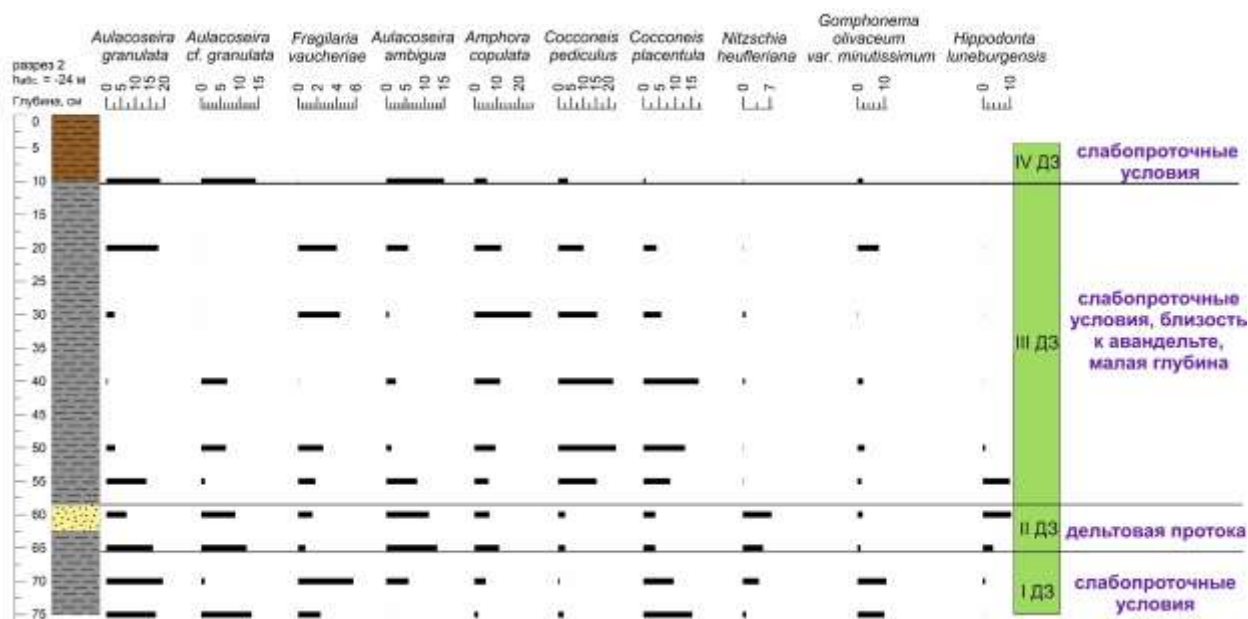


Рисунок 116. Процентное соотношение наиболее обильных видов и изменение концентрации створок диатомей по разрезу 2 на правом берегу р. Быстрая на территории Дамчикского участка Астраханского заповедника. Условные обозначения литологического состава осадков – см.

Рисунок 102.

осадконакопления в основном под влиянием локальных факторов. Концентрация створок на 1 г сухого вещества рассчитана для всех образцов (Таблица 10).

Таблица 10. Концентрация створок диатомей по разрезу 2.

Глубина, см	Количество створок, тыс./г сух. в-ва	Диатомовая зона
10	18	IV
20	20	III
30	18	
40	21	
50	26	
55	22	II
60	45	
65	31	
70	31	I
75	30	

По сравнению с разрезом 1, концентрация створок в образцах разреза 2 существенно ниже, однако данный параметр в разрезе 2 мало изменчив, что может свидетельствовать о меньшем контрасте условий осадконакопления.

**I ДЗ (75-70 см)** выделена в толще алевроитов с примесью мелкозернистого песка (до 20%) по повышенной доле эпифита *Cocconeis placentula* (10-15%) и бентосного *Gomphonema olivaceum* var. *minutissimum* (до 10%), а также по отсутствию ярко

выраженного доминанта. В неё входят образцы 75 и 70 см, концентрация створок диатомовых водорослей, несмотря на размерность осадков, довольно низкая – в пределах 30 тыс./г. Преобладающий вид – планктонный *Aulacoseira granulata*, в совокупности с повреждёнными створками его доля составляет 20-35%. Суммарное содержание планктонных таксонов составляет 30-40%. Видовой состав диатомовых ассоциаций и литологический состав отложений свидетельствуют о слабопроточном режиме осадконакопления.

По результатам PCA данные образцы близки к образцам 45, 30 и 70 см из разреза 1, в которых повышена доля бентоса и перифитона (см. Рисунок 111). Результатами NMDS подтверждается только сходство с образцом 70 см из разреза 1 (см. Рисунок 112). В общих чертах близость данных слабопроточных обстановок из разрезов 1 и 2, выявленных на основе диатомового анализа, подтверждается результатами статистических методов, то только для образцов с повышенной долей бентоса и перифитона.

**II ДЗ (70-60 см)** выделена в слое опесчаненных алевроитов и прослое мелкозернистых песков по смене преобладающих видов и повышению суммарной доли планктона (38-48%). В неё входят образцы 65 и 60 см, концентрация створок незначительно увеличивается в ходе осадконакопления с 31 до 45 тыс./г (наибольшее значение по разрезу). Доминируют виды рода *Aulacoseira*: *A. granulata* (суммарно со створками плохой сохранности – 18-28%) и *A. ambigua* (11-13%). Также отмечается повышенная доля обрастателя *Amphora copulata* (7-11%) и бентосного вида *Hippodonta luneburgensis* (4-10%), который обитает в пресных и солоноватых водах, богатых кальцием (Куликовский и др., 2016). Вероятнее всего, осадок накапливался в русле дельтовой протоки, невысокая доля планктона свидетельствует о малой глубине. Появление *Hippodonta luneburgensis*, по-видимому, свидетельствует об обогащении вод кальцием, что может объясняется поступлением морских вод или интенсивным испарением.

По результатам NMDS данные образцы приближены к кластеру IV ДЗ из разреза 1 и тяготеют к современным ассоциациям из р. Быстрая, ер. Дубного и култука Сазаньего (устьевые части протоков или участки с падением скоростей течения, см. Рисунок 112). Это несколько отличается от графика ординации на основе PCA (см. Рисунок 111), который подтверждает только близость образца 65 см к названным ассоциациям. По-видимому, на результаты PCA очень сильно влияет повышение доли вида *Hippodonta luneburgensis* отсутствующего в изученных поверхностных пробах.

**III ДЗ (60-10 см)** выделена в толще алевроитов с опесчаненными прослоями по высокой доле обрастателей рода *Cocconeis*: *C. placentula* (5-17%), *C. pediculus* (11-23%), субдоминант – *Amphora copulata* (6-25%). В данную зону объединены образцы 55, 50, 40,



30 и 20 см, концентрация створок составляет в пределах 20-25 тыс./г. В них доля планктонных видов рода *Aulacoseira* существенно уменьшается: *A. granulata* (4-18%), *A. ambigua* (1-8%). Повышенное содержание бентосных и эпифитных видов, преобладающих в этой зоне, в поверхностных осадках дельты отмечается в протоке Грязнуха, наиболее близкой к авандельте. Вероятно, высокая доля перифитона связана с малоглубинными условиями осадконакопления, что подтверждается довольно низкой суммарной долей планктона (15-36%). Таким образом, осадок формировался в слабопроточных условиях с малой глубиной водоёма вблизи авандельты. Сходство данных образцов с таковым из протоки Грязнуха подтверждается результатами NMDS (см. Рисунок 112). По результатам PCA эти образцы приближены к ассоциациям из I и II ДЗ разреза 2, по-видимому, за счёт близкого распределения преобладающих видов *C. placentula* и *A. copulata* (см. Рисунок 111).

**IV ДЗ (10-0 см)** выделена в слое алевритов по преобладанию планктонных видов *A. granulata* (33%), *A. ambigua* (18,9%) и повышению суммарной доли планктонных диатомей (50%, наивысшая доля по разрезу). В неё входит один образец 10 см, концентрация створок – 18 тыс./г, наименьшая по разрезу, несмотря на алевритистый состав осадков. Исходя из современного геоморфологического положения разреза 2 (старичное понижение, сток по которому возобновляется только во время половодья) и литологического состава осадков, можно предположить слабопроточные условия осадконакопления, близкие к современным.

По результатам статистических анализов PCA и NMDS данный образец находится ближе всего к группе *A. granulata* из р. Быстрая, култука Сазаньего и ер. Дубного, которая характеризует участки проток с пониженными скоростями течения (см. п. 4.2), что в целом согласуется с результатами диатомового анализа.

*Результаты гранулометрического анализа.* Распределение частиц по разрезу (Рисунок 117), соотношение планктонных и бентосных диатомей – Рисунок 118.

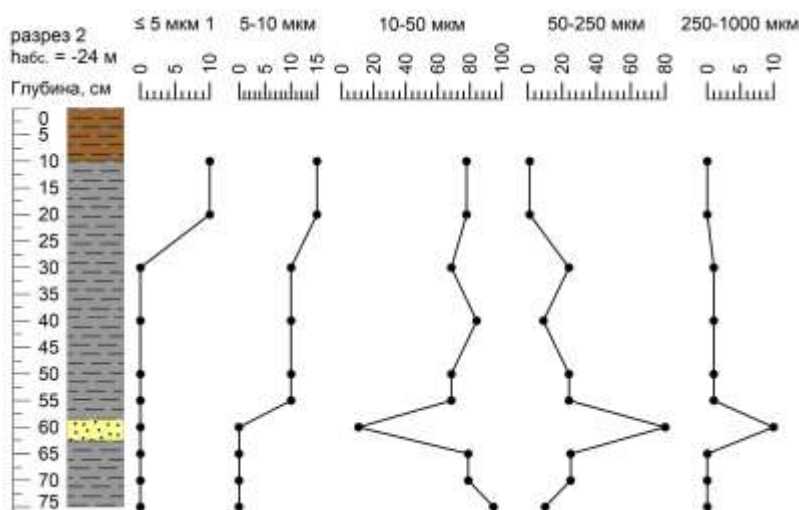


Рисунок 117. Схематическое изображение разреза 2 на правом берегу р. Быстрая на территории Дамчикского участка Астраханского заповедника и распределение по нему гранулометрических фракций. Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 102.

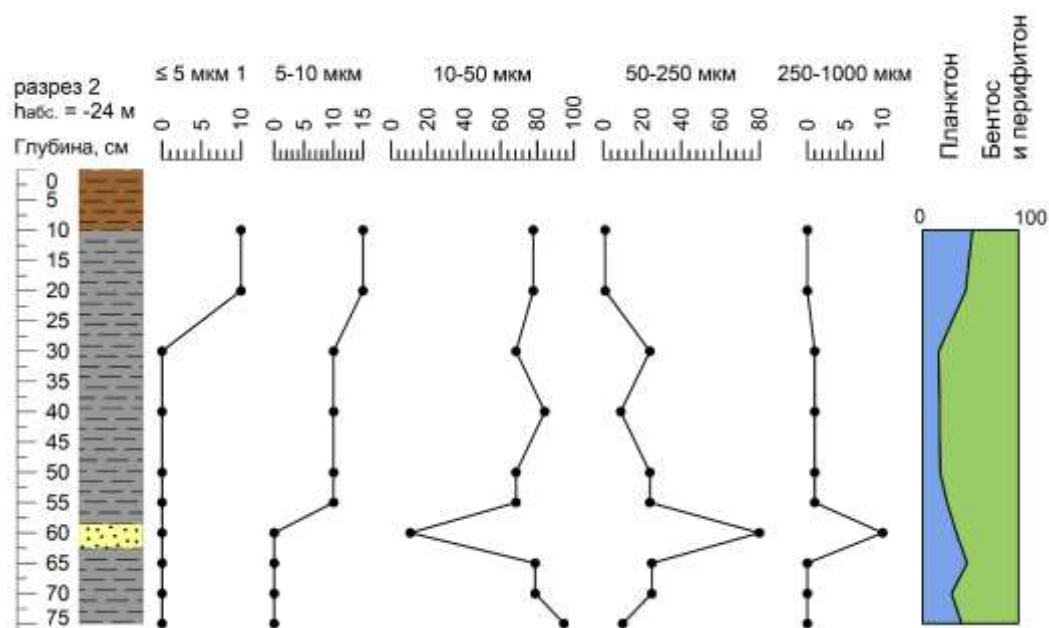


Рисунок 118. Распределение гранулометрических фракций и соотношение планктон/бентос по разрезу 2 на правобережье р. Быстрая на территории Дамчикского участка Астраханского заповедника. Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 102.

В целом образцы отличаются лучшей сортировкой по сравнению с таковыми из разреза 1. По результатам гранулометрического анализа в разрезе 2 выделено 4 группы образцов, характеризующих разную динамичность сред осадконакопления. В 1 группу выделены образцы из интервала 75-65 см, в составе частиц преобладает крупный алеврит (75-90%), мелкозернистый песок составляет от 10 до 25%, его доля увеличивается вверх по разрезу. Условия осадконакопления приближены к слабопроточным обстановкам, сменившимся на более проточный режим с течением времени, о чём свидетельствует увеличение доли мелкозернистого песка.

Во 2 группу выделен образец с глубины 60 см, он выделен из небольшого песчаного прослоя: в составе частиц преобладает мелкозернистый песок (80%), крупно-среднезернистые пески занимают 10%, крупный алеврит – также 10%. Это свидетельствует о преобладании условий дельтовой протоки, наличие крупного материала, возможно, говорит о более интенсивном врезании протоки.

В 3 группе (55-20 см) выявлен смешанный состав частиц: преобладает крупный алеврит (65-80%), мелкозернистый песок составляет от 9 до 24%, также появляется средний алеврит (10-15%), средне-крупнозернистые пески практически отсутствуют (1%).

В 4 группе (20-0 см) преобладают алевриты: 74% – крупный, 15% – средний, 10% – мелкий алеврит и глина. Доля мелкозернистых песков составляет 1%. Состав частиц

свидетельствует о переходе к наиболее спокойной по разрезу гидродинамической обстановке.

Судя по результатам гранулометрического анализа, в разрезе наблюдается 2 цикла осадконакопления: 1 – переход от слабопроточных условий к обстановкам дельтовой протоки, более высокоэнергетической среде (1 и 2 группы), 2 – обратный тренд, переход от слабопроточных условий к ещё более спокойному гидродинамическому режиму (3 и 4 группы). Судя по резкой смене гранулометрического состава, при переходе от 2 к 3 группе имел место кратковременный перерыв в осадконакоплении или резкое кратковременное врезание протоки.

Сопоставление результатов диатомового и гранулометрического анализов представлено ниже (Рисунок 119).

*Палеогеографическая интерпретация.* В естественных обнажениях в долинах дельтовых проток запечатлены более детальные смены условий осадконакопления, на которые в большей степени влияли локальные факторы развития водотоков. На основе сопоставления конфигурации современных проток в дельте Волги и проток на карте из Атласа Каспийского моря А.Е. Колодкина, в 1809-1814 гг. определено приблизительное местоположение разрезов 1 и 2 относительно ситуации на начало XIX в (Рисунок 120).

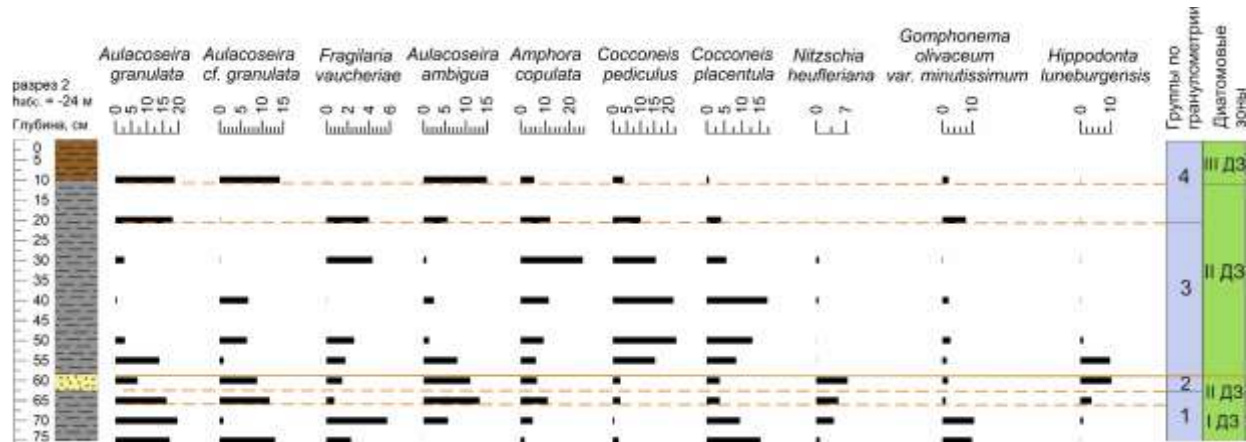


Рисунок 119. Сопоставление результатов диатомового и гранулометрического анализов по разрезу 2 на правом берегу р. Быстрая на территории Дамчикского участка Астраханского заповедника. Пунктирной линией обозначены границы, выделенные на основе одного анализа, сплошной – на основе двух анализов. Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 102.

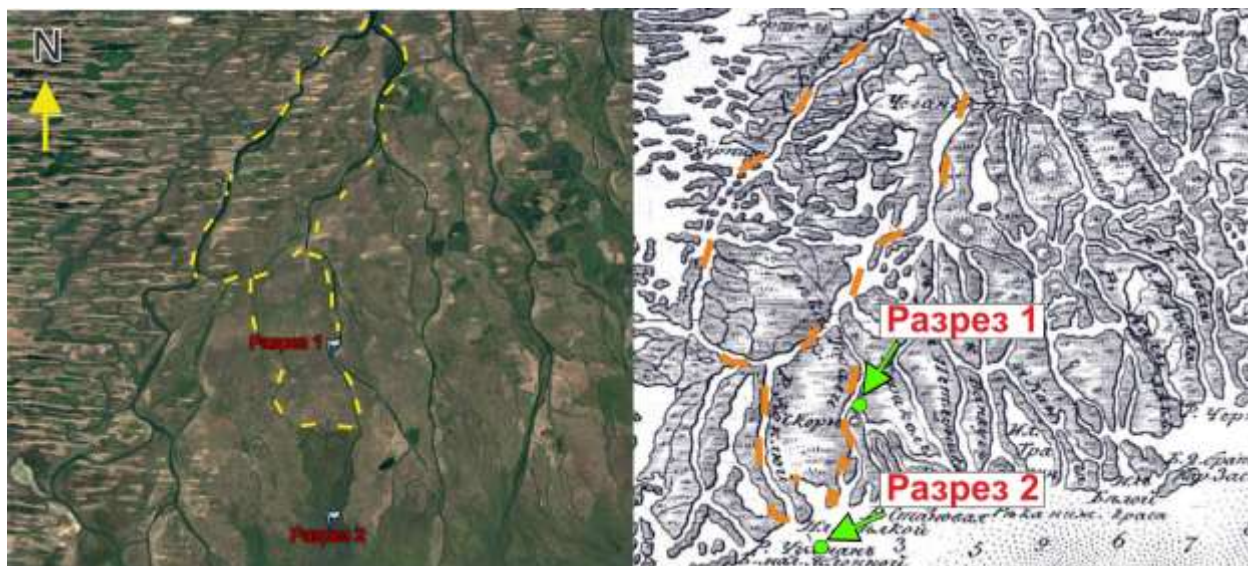


Рисунок 120. Местоположение изученных разрезов 1 и 2 в юго-западном секторе дельты Волги в районе Дамчикского участка Астраханского заповедника относительно современной ситуации (слева) и ситуации на начало XIX в. (справа). Пунктиром указаны протоки, на основе которых проводилось сопоставление карт за разное время (по: Геопортал РГО [сайт]. URL: <https://geoportal.rgo.ru/>)

В начале XIX в. разрез 2 располагался на морском краю дельты, в то время как на осадконакопление разреза 1 в большей степени влияла конфигурация дельтовых протоков.

В разрезе 1 на глубине 95-35 см по диатомеям реконструированы нестабильные слабопроточные условия с эпизодом обмеления водотока и повышения минерализации вод за счёт влияния моря. По данным В.А. Николаева (1962), активное нарастание дельты в районе разреза 1 происходило в интервале 1810-1853 г. Вероятно, до этого времени осадок накапливался в распреснённых слабопроточных условиях вблизи авандельты, что подтверждается местоположением разреза на исторической карте (Рисунок 120).

Интенсивный эпизод выдвижения дельты отмечается на глубине 35 см и соответствует прослою косослоистых песков, в которых реконструированы условия дельтовой протоки с малой глубиной. В интервале 30-25 см выделяется прослой алевритов, в котором реконструированы слабопроточные условия, близкие к авандельтовым, и малая глубина водотока. Вероятно, осадконакопление связано со временем до 1900-1927 г., когда уровень Каспийского моря снижался постепенно с некоторыми осцилляциями (см. Рисунок 23).

Согласно плану дельты р. Волги, составленному в экспедиции под руководством В.И. Мейснера в 1914 г., по сравнению с данными на начало XIX в., наблюдается значительный прирост дельты и, вероятно, уменьшение водности протоки вблизи разреза



1, что согласуется с реконструкциями малой глубины водотока (Рисунок 121). Резкое падение уровня моря после 1927 года привело к очередному эпизоду выдвижения дельты и накоплению слоёв с чередованием косослоистых песков и алевроитов, близких по составу диатомовых водорослей к устьевой части дельтовой протоки.

Для разреза 2 в целом характерны обстановки осадконакопления с более спокойным гидродинамическим режимом, по сравнению с разрезом 1, ввиду более близкого расположения к авандельте и современного геоморфологического положения (старичное понижение). В интервале 75-65 см в толще суглинков по диатомеям выявлены слабопроточные условия. Они резко сменяются песчаным прослоем на глубине 60 см, который соответствует условиям дельтовых проток с высоким содержанием кальция в воде. По литературным данным, наиболее интенсивный прирост дельты в районе разреза 2 относится к периоду резкого падения уровня Каспия за XX в. – с 1927 по 1977 гг. (см. Рисунок 22).



Рисунок 121. Местоположение изученных разрезов 1 и 2 в юго-западном секторе дельты Волги в районе Дамчикского участка Астраханского заповедника относительно современной ситуации (слева) и ситуации на начало XX в. (справа). Пунктиром указаны участки дельты, на основе которых проводилось сопоставление карт за разное время (по: Геопортал «Это место» [сайт]. URL: <http://www.etomesto.ru/>).

Это подтверждается историческими картами, согласно которым современная территория в районе разреза 1 в период с 1809-1814 по 1914 г. располагалась в авандельте, что привело к накоплению толщи суглинков. Последующее резкое снижение уровня Каспия отразилось в разрезе в виде накопления песчаного прослоя. В таком случае повышение содержания кальция в водах, вероятно, может объясняться интенсивным испарением. Согласно фондовым материалам, в 1954 г. граница южного края дельты находилась в

районе разреза 2 (Акуз и др., 1961). В интервале 60-10 см происходит дальнейшее развитие слабопроточных условий, близких к авандельте по составу диатомовых ассоциаций и отличающихся малой глубиной водотока. Вероятно, менее резкое отступление уровня моря и дальнейший подъём после 1977 г. повлияли на установление более спокойного гидродинамического режима. В интервале 10-0 см осадки накапливаются в слабопроточных условиях, близких к современным.

Подобные эпизоды активного выдвижения дельты выявлены в верхних частях разрезов скважин С1 и ББ9 из центральной дельты, мощность соответствующих интервалов составила 0,6 и 1,15 м.

#### **4.3.4. Северо-восточный участок шельфа Северного Каспия**

##### **Описание района и литологические характеристики изученных осадков**

Скважина Zb-1 из северо-восточного участка шельфа Северного Каспия пробурена в 2011 г. в ходе инженерно-геотехнических изысканий на площадке строительства поисково-разведочных скважин на нефтеносной структуре Жамбыл (Каз Мунай Газ [сайт]. Официальный сайт компании Каз Мунай Газ. URL: <https://www.kmg.kz/ru/investors/reporting/>). К этой структуре приурочено одноимённое нефтеносное месторождение, оно располагается на участке континентального шельфа Республики Казахстан вблизи границы с континентальным шельфом России. Место бурения скважины находится приблизительно в 20 км к юго-востоку от современной надводной границы дельты Волги (Рисунок 122).

По данным на 2012 год, глубина моря в месте бурения составляет 4-5 м. С учётом снижения уровня моря, современные отметки глубин в районе бурения скважины оцениваются в 2-3 м. Согласно геоморфологической схеме дна Каспийского моря, скважина расположена в пределах равнины прибрежной отмели (Леонтьев и др., 1977). Ввиду того, что равнина неоднократно осушалась в связи с изменениями уровня моря в голоцене, на её поверхности распространены понижения («бороздины»), маркирующие участки древних речных долин, которые располагаются в створе крупных рек и, как правило, отличаются глубинами на 3-4 м большими, чем окружающее пространство (Леонтьев и др., 1977). Судя по местоположению скважины и отметкам глубин, она располагается вне бороздины (Рисунок 122). В таком случае главнейшим фактором, влияющим на рельефообразование и характер отложений на исследуемом участке равнины, является волнение. Оно участвует в создании аккумулятивных форм (островов и банок), сложенных преимущественно оолитовыми песками с битой и целой ракушкой (Леонтьев и др., 1977). Основной материал для данных аккумулятивных форм привносится реками, впадающими в Северный Каспий.





Рисунок 122. Местоположение скв. Zb-1 в пределах разведочной площади Жамбыл на северо-восточном участке шельфа Северного Каспия на подложке спутниковых снимков Sentinel-2 от 17.08.2024.

Согласно исследованиям маргинального фильтра Волги (Лукашин и др., 2019), вблизи морского края дельты (до изохалины 2 епс) в районе исследуемой скважины следует ожидать массовое осаждение взвешенных частиц. Характерной размерностью для взвешенных частиц проток дельты являются мелкозернистые пески. Таким образом, вблизи скв. Zb-1 следует ожидать накопление песчаного материала и песка с раковинным детритом, который обычно приурочен к аккумулятивным формам (островам и банкам) на поверхности шельфа.

Тем не менее, литературные данные о строении северокаспийских островов свидетельствуют о развитии мелководных лагун или заливов со внутренней стороны островов серповидной формы, что способствует накоплению осадков тонкой фракции (Леонтьев, 1957). Также следует учитывать, что для северной мелководной части Каспия большое влияние на характер отложений прибрежной зоны оказывают сгонно-нагонные явления (см. п. 1.1). О.К. Леонтьев (1957) отмечает вдоль берегов широкие марши, сложенные алевритово-илистым материалом – «ветровые осушки». Обобщая литературные данные, можно предположить условия накопления алевритистого материала в районе заложения скв. Zb-1: внутренние части аккумулятивных островов и банок или прибрежные районы в зоне развития сгонно-нагонных явлений.

Автором изучены голоценовые отложения, вскрытые скв. Zb-1, мощностью 5,8 м. Выделение данных отложений обосновано литологически в ходе проведения буровых работ. Голоценовые отложения, приуроченные к новокаспийской трансгрессии, представлены в разрезе преимущественно песками с небольшим прослоем алевроита на глубине 3,5-3,6 м. Согласно инженерно-геотехническому отчёту, ниже 5,8 м залегают мощные толщи глин, относящиеся к хвалынскому времени (см. п. 1.2.1). Помимо литологических особенностей, голоценовый возраст отложений подтверждается материалами отчёта о биостратиграфических исследованиях осадков скважин участка Жамбыл (Северный Каспий), верхние 5 м керны соответствуют голоценовому этапу новокаспийской трансгрессии. Для интервалов 4,6-4,8 м и 1,0-1,2 м проведён палинологический анализ. В пыльцевых спектрах из этих интервалов доминирует пыльца трав, реконструированы степные ландшафты, характерные для территории дельты Волги и Нижнего Поволжья в голоцене (Richards et al., 2014).

Из разреза скв. Zb-1 для целей диатомового анализа отобрано 5 образцов, приуроченных к литологическим слоям песков с раковинным детритом (5,8-5,6 м, 4,0-3,6 м и 3,0-3,5 м), прослою алевроита (3,6-3,5 м) и песков с прослоями алевроита в верхней части керна (0,2-1,4 м, Рисунок 123).

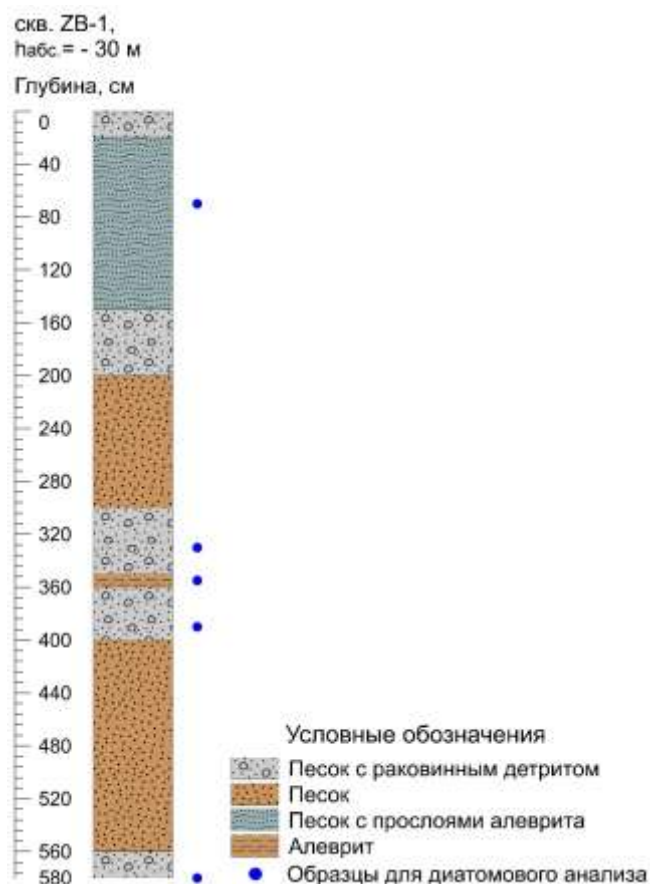


Рисунок 123. Схематический разрез скв. Zb-1 на северо-восточном участке Северного Каспия в районе нефтеносной структуры Жамбыл.

## Результаты исследований и палеогеографическая интерпретация

Результаты диатомового анализа, сравнение с результатами статистических методов. Осадки скважины Zb-1 довольно скудно охарактеризованы остатками диатомовой флоры. В карбонатных песках на глубине 3,70-3,80 м выявлены единичные створки пресноводных диатомей *Aulacoseira granulata* и *Cocconeis placentula*, однако необходимое для реконструкций количество створок диатомей обнаружено только в одном образце, осадки которого представлены алевроитом. Вероятно, более высокая концентрация створок диатомей объясняется гранулометрическим составом осадка. Из исследуемого керна удалось выделить одну диатомовую зону в интервале 3,5-3,6 м, содержащую 40 таксонов диатомей, преимущественно пресноводных. Только два выявленных вида относятся к морским – *Coscinodiscus stellaris* и *C. radiatus*, однако их численность крайне низкая (3 и 1% соответственно, Рисунок 124).

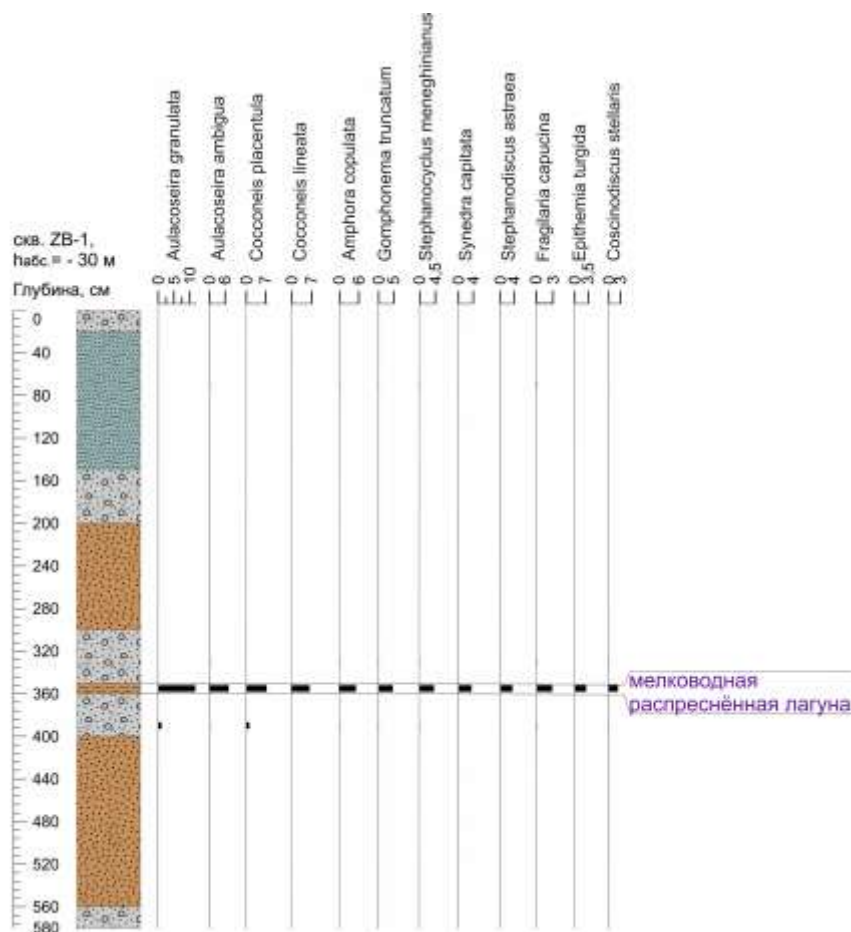


Рисунок 124. Условия формирования отложений, вскрытых скв. Жамбыл (северо-восточный участок шельфа Северного Каспия), по данным диатомового анализа. Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 123.

I ДЗ (3,5-3,6 м) выделена в прослое алевроита, ярко выраженные доминанты отсутствуют. Преобладают пресноводные планктонные виды *Aulacoseira granulata* (11,7%) и *A. ambigua* (7%). Около 12,8% приходится на бентосные виды рода *Cocconeis*: *C. placentula* и *C. lineata*, также встречающиеся в перифитоне. Перечисленные виды широко распространены в изученных современных диатомовых ассоциациях. Диатомеи рода

*Cocconeis* достигают максимальной численности в мелководной протоке Грязнуха вблизи авандельты, диатомеи рода *Aulacoseira* – в р. Быстрая, пр. Мартышка, ер. Дубном и култуке Сазаньем, расположенных севернее пр. Грязнуха (см. п. 4.2). Существенное отличие видового состава этой зоны от изученных поверхностных проб из современных водоёмов – наличие створок (и обломков) морских видов: каспийского умеренно-тепловодного *Coscinodiscus stellaris* (Прошкина-Лавренко, Макарова, 1968) и *Coscinodiscus radiatus*, также типичного для Каспия. Следует отметить, что в выделенной зоне наиболее массовые пресноводные таксоны *Aulacoseira granulata*, *A. ambigua*, *Cocconeis placentula*, *C. lineata* и *Amphora copulata* по отношению к солёности классифицируются как индифференты, которые достигают наибольшего развития в диапазоне солёности 0,2-0,3‰, но также могут присутствовать и в слабо солоноватоводных водах (до 0,5 ‰, см. п. 3.2). Исходя из видового состава ассоциации, солёностных предпочтений видов и низкой численности морских диатомей, можно сделать вывод об условиях сильного распреснения морского бассейна, которые в целом характерны для этого района, ввиду близости к дельте Волги. Алевритистый состав осадков свидетельствует об условиях с низкой гидродинамикой. Содержание планктонных диатомей довольно низкое – 35%, что скорее всего говорит о малой глубине бассейна вблизи бурения скважины. Кроме того, в составе бентоса отмечается наличие диатомей рода *Epithemia*: *E. turgida*, *E. porcellus*, *E. sorex* (суммарно 7%), которые типичны для озёр и болот. Приведённые данные в целом свидетельствуют о лагунных условиях осадконакопления.

*Палеогеографическая интерпретация.* Согласно геоморфологическим исследованиям (см. выше), в мелководной части шельфа алевритистые осадки могут накапливаться во внутренних частях аккумулятивных островов или на прибрежной «ветровой осушке». Выявленный состав диатомовых ассоциаций не согласуется с субаэральными условиями прибрежных областей. Исходя из приведённых данных и малой мощности алевритистого прослоя можно предположить осадконакопление в мелкой распреснённой лагуне во внутренней части аккумулятивного острова. Выше- и нижележащие слои представлены песками с раковинным детритом – типичного материала для подобных островов, который накапливался в результате активной волновой деятельности при более высоком уровне моря. Таким образом, данная диатомовая зона в прослое алевритов связана с осадконакоплением в мелководной распреснённой лагуне и маркирует кратковременное понижение уровня моря в новокаспийское время. Судя по характеру осадков в верхней части скважины, которые отвечают условиям, близким к современным, можно предположить, что уровень моря на момент формирования осадка, соответствующего выделенной ДЗ, был ниже современного. Близость условий

осадконакопления осадков из верхних 0,2 м керна к современным подтверждается по результатам малакофаунистического анализа, выполненного Т.А. Яниной: в данных осадках содержатся моллюски, характерные для района Каспийского бассейна с сильным местным опреснением.

Исходя из результатов диатомового анализа с привлечением комплексных исследований, на глубине 3,5-3,6 м отчётливо выделяется этап осадконакопления в условиях мелководной распреснённой лагуны, что говорит о кратковременном регрессивном этапе в ходе новокаспийской трансгрессии.

Для иллюстрации возможных различий диатомовых ассоциаций методом РСА проанализирована совокупная выборка образцов из современных водоёмов и из отложений, вскрытых скважинами Zb-1 и Рыбачья на шельфе Северного Каспия. Первые две компоненты объясняют 36,6% общей выборки, что позволяет выявить лишь наиболее общие тренды в видовом составе образцов. Для этой же совокупной выборки представлены результаты метода неметрического многомерного шкалирования (Рисунок 125).

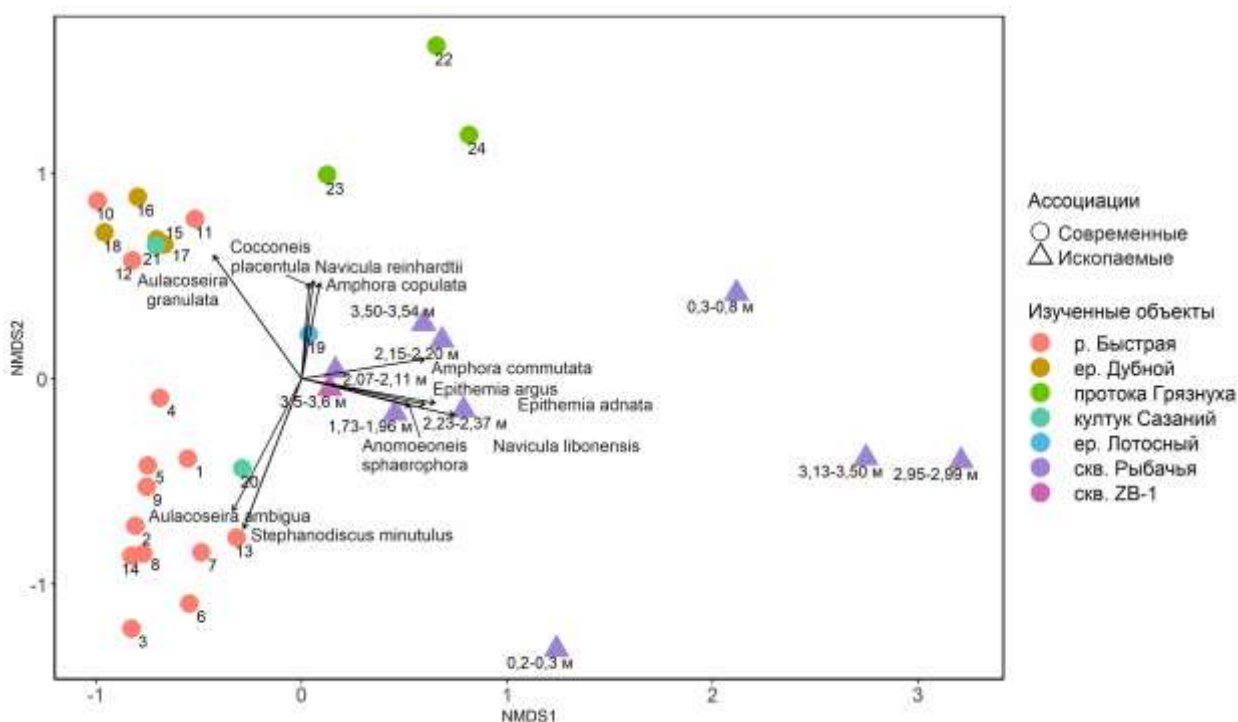


Рисунок 125. График ординации образцов из скважин Zb-1 и Рыбачья на шельфе Северного Каспия и современных водоёмов дельты Волги по результатам NMDS. Расшифровка нумерации образцов из современных водоёмов указана в таблице 2

Практически все образцы из скважин на шельфе Северного Каспия располагаются в другой части графика относительно кластера ассоциаций из поверхностных проб в дельте Волги. По результатам РСА данный образец приближен к ассоциациям из северной

расширенной части мелководной протоки Грязнуха (Рисунок 126), по результатам NMDS – к ассоциациям из ер. Лotosного (Рисунок 125). Данными методами подтверждается, что осадок формировался в сильно опреснённых условиях. Однако для корректных палеорекопструкций необходимо использовать полный список видов и их экологических предпочтений. В частности, в наборе данных для скв. Zb-1 не учтены морские виды рода *Coscinodiscus*, ввиду их низкой численности.

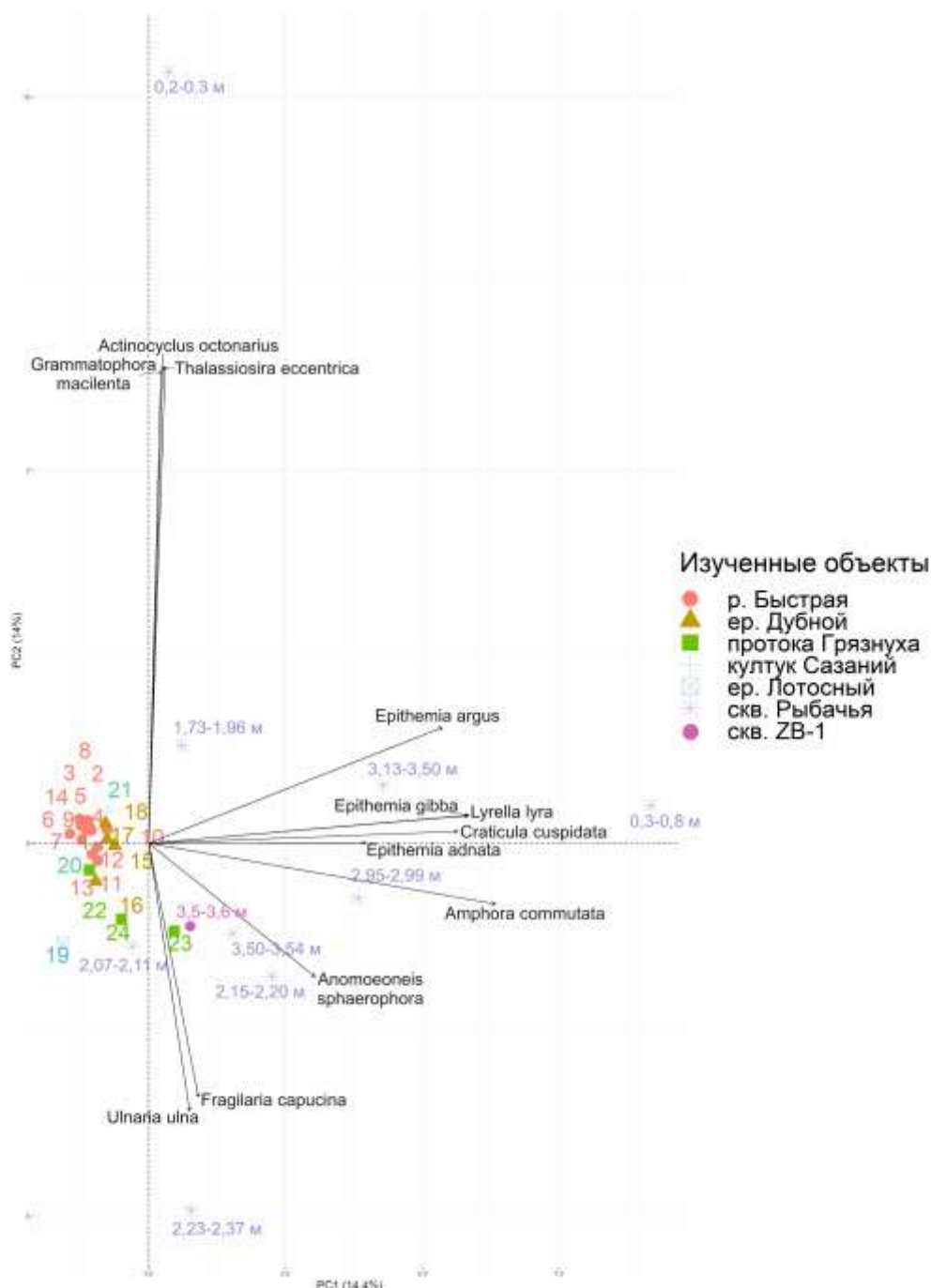


Рисунок 126. График факторных нагрузок и ординация исследованных образцов в осях значимых главных компонент для материалов из современных водоёмов и скважин Zb-1 и Рыбачья на шельфе Северного Каспия. Расшифровка нумерации образцов из современных водоёмов указана в таблице 2 (см. п. 4.2).



#### 4.3.5. Юго-западный участок шельфа Северного Каспия<sup>8</sup>

##### Описание района и литологические характеристики изученных осадков

В работе использован керн из скважины Рыбачья, пробуренной в 2014 г. на юго-западном участке шельфа Северного Каспия. Керн скважины получен в ходе инженерно-геологических исследований ООО Моринжгеология в пределах акватории лицензионного участка «Северо-Каспийская площадь». Место бурения скважины находится приблизительно в 35 км к юго-востоку от о. Чистая Банка у юго-западной границы дельты Волги (Рисунок 127).



Рисунок 127. Местоположение скв. Рыбачья на юго-западном участке шельфа Северного Каспия на подложке спутниковых снимков Sentinel-2 от 17.08.2024 и 18.08.2024.

Глубина моря в районе бурения составила 8 м, расчётные отметки современных глубин в этой области соответствуют приблизительно 6-6,5 м. Согласно

<sup>8</sup> При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично и в соавторстве, в которых, согласно положению о присуждении учёных степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

**Лысенко Е.И.**, Ткач А.А., Макшаев Р.Р., Янина Т.А., Зенина М.А. Палеоэкологические условия в предельтовом районе Северного Каспия в голоцене // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2024. Т. 79. № 1. Р. 61-77.

Berdnikova A., **Lysenko E.**, Makshaev R., Zenina M., Yanina T. Multidisciplinary Study of the Rybachya Core in the North Caspian Sea during the Holocene // Diversity. 2023. 15, №150.

геоморфологической схеме дна Каспийского моря, скважина Рыбачья, как и скв. Zb-1, расположена в пределах равнины прибрежной отмели (Леонтьев и др., 1977). Основные факторы формирования рельефа дна схожи с описанными выше в п. 4.3.4.

По современным данным сейсмоакустического профилирования, в районе заложения скв. Рыбачья прослеживаются следующие формы рельефа дна Северного Каспия: субширотные линейные впадины, напоминающие ильмени современной дельты Волги, шириной 300-500 м и глубиной от 6-8 до 12-13 м (Безродных и др., 2017; Bezrodnykh, Sorokin, 2016; Рисунок 128).

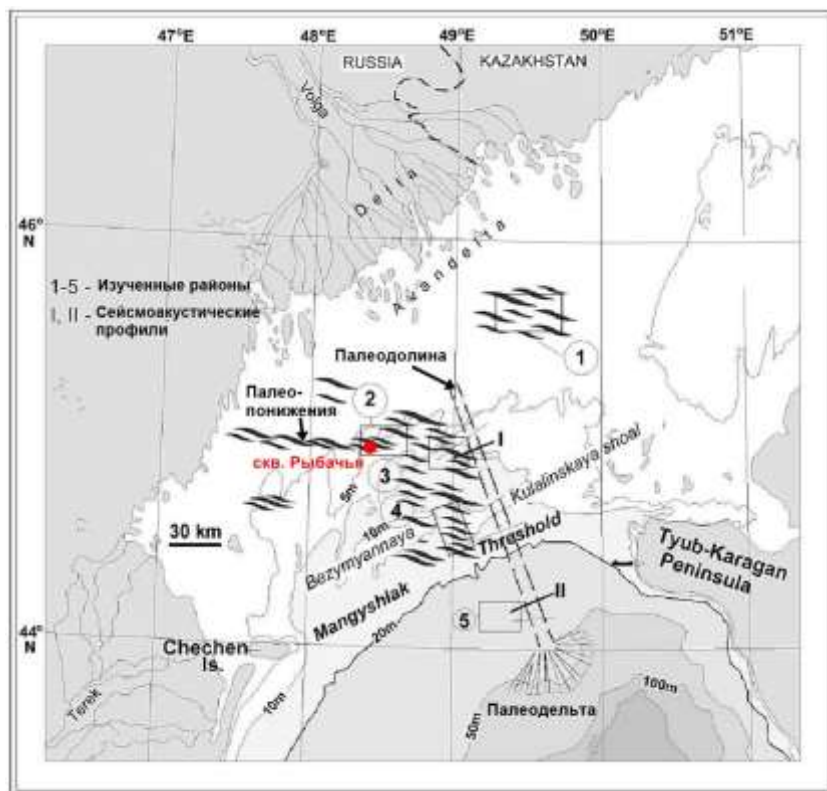


Рисунок 128. Местоположение скв. Рыбачья на юго-западном участке шельфа Северного Каспия относительно палеопонижений, выявленных на сейсмоакустических профилях (по: Bezrodnykh, Sorokin, 2016).

Авторы связывают возникновение данных палеоврезов с размывом морских отложений в ходе выдвижения дельты во время мангышлакской регрессии. Таким образом, есть основание предполагать заложение скважины в пределах выявленных палеопонижений. Это может отразиться на литологическом составе новокаспийских осадков, которые в пределах плоской поверхности шельфа по большей части представлены песками. Выделенная по литологическим признакам часть керна, содержащая четвертичные отложения, любезно предоставлена сотрудниками ООО Моринжгеология. Общая длина керна составляет 9,5 м. Основание скважины (9,5-3,5 м) представлено тонкозернистыми песками, которые сменяются небольшим прослоем карбонатных песков выше по разрезу (3,6-3,13 м). С 3,13 до 2,4 м наблюдается прослой алеврита, выше он

сменяется толщей алевроитов с прослоями песков в разном соотношении (2,4-1,1 м). На глубине 1,1-0,3 м осадок представлен алевроитами с растительными остатками, верхние 0,3 м скважины (по аналогии со скв. Zb) – песками с раковинным детритом. Границы между литологическими слоями чёткие, по-видимому, наблюдались некоторые перерывы в осадконакоплении. В работе использованы литологически обоснованные голоценовые отложения мощностью 6,40 м (Рисунок 129).

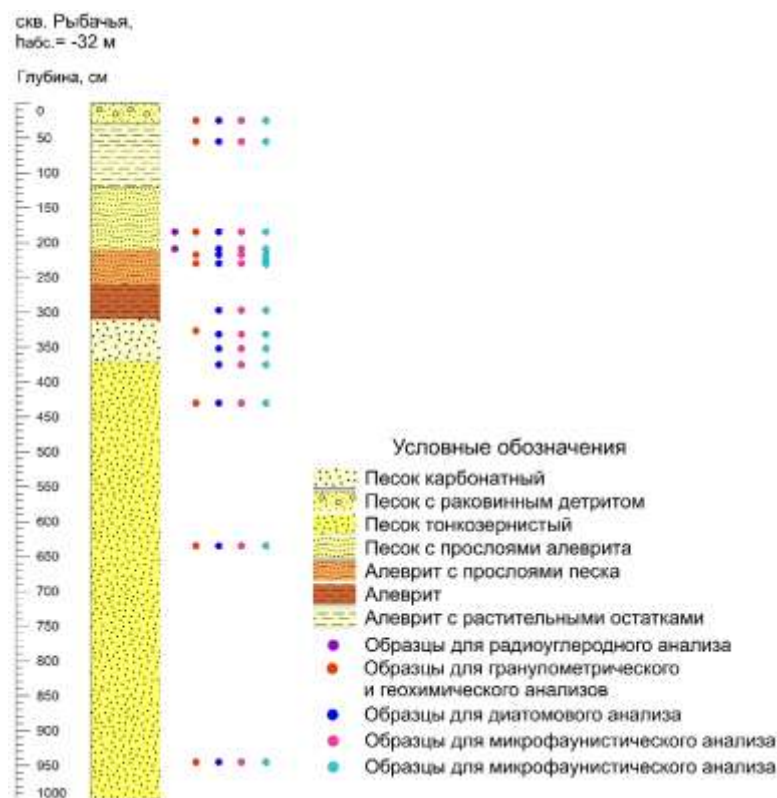


Рисунок 129. Схематический разрез скважины Рыбачья, на юго-западном участке шельфа Северного Каспия в районе нефтеносной структуры Рыбачья.

В скв. Рыбачья был также проанализирован подстилающий горизонт (ниже 6,4 м) для наиболее точного определения стратиграфического положения изучаемых отложений. Изучение керна скв. Рыбачья – пример комплексного (сопряженного анализа), в котором автор выполнял диатомовый анализ и участвовал в подготовке образцов и интерпретации результатов гранулометрического анализа (Лысенко и др., 2024; Berdnikova et al., 2023). Из разреза скв. Рыбачья для целей диатомового анализа отобрано 13 образцов, гранулометрического и геохимического – по 9 образцов из идентичных интервалов, для микрофаунистического – 13 образцов, малакофаунистический анализ выполнен по 14 образцам.

### Результаты исследований и палеогеографическая интерпретация

*Результаты диатомового анализа, сравнение с результатами статистических методов.* В осадках керна выявлено 95 видов диатомей, подавляющее большинство из них относятся к пресноводным, реже – к солоноватоводным (Рисунок 130). Диатомеи обнаружены в девяти образцах из верхних 350 см осадков. Типично морские виды

обнаружены в верхней части керна. На основе данных о таксономическом разнообразии, преобладающих видах, концентрации створок диатомовых водорослей (млн створок/г сухого вещества) и экологических предпочтениях видов, в разрезе было выявлено пять диатомовых зон (Рисунок 130). Для каждой зоны реконструированы условия осадконакопления, которые представлены как пресноводными обстановками мелких заливов и дельтовых протоков, так и лагунными и морскими обстановками. Диатомовые зоны

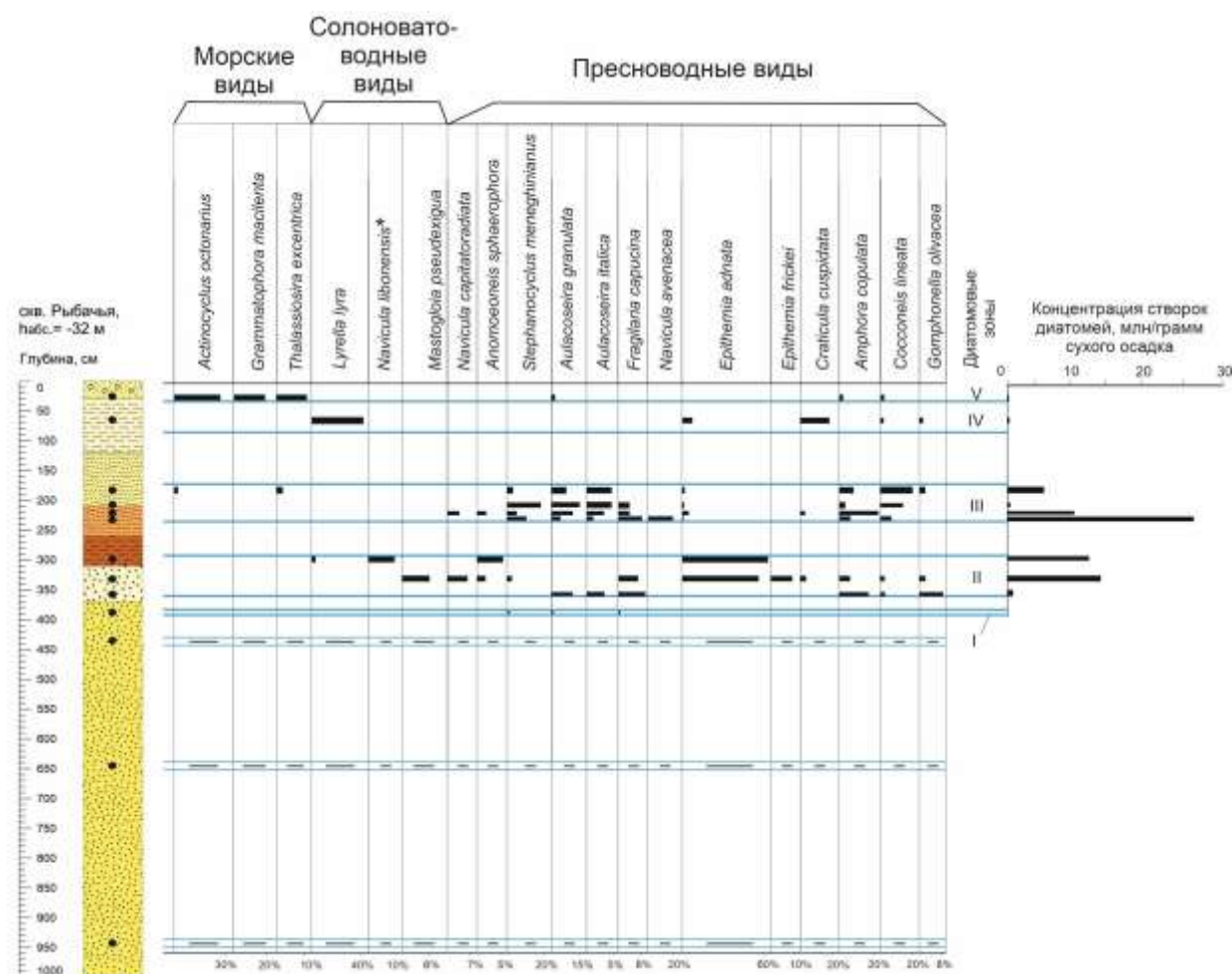


Рисунок 130. Схематический разрез скважины Рыбачья на юго-западном участке шельфа Северного Каспия, распределение по нему наиболее обильных видов диатомей и концентрация их створок. Прочерками обозначены немые отложения. \**Navicula libonensis* отнесена к солоноватоводным видам условно, так как обитает в водах, богатых минеральными веществами (по: Лысенко и др., 2024). Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок

129.

очень сильно отличаются по параметру концентрации створок диатомей, значения которого изменяются по разрезу от 0,34 до 25,2 млн ств./г. Ниже 3,90 м диатомей в образцах не обнаружены.

**I ДЗ (3,90-3,80 м)** выделена в верхней части толщи мелкозернистых песков, за исключением которой эти пески совершенно лишены диатомей. Зона выделена на основе

присутствия единичных створок пресноводных видов: *Fragilaria capucina*, *Aulacoseira granulata*, *Cocconeis placentula*, *Stephanocyclus meneghinianus*, *Stephanodiscus astraea*, *Ulnaria capitata*. Количество обнаруженных экземпляров диатомей не позволяет произвести корректный расчёт концентрации створок и детальные палеореконструкции. Исходя из единичных находок пресноводных видов, можно предположить, что состав диатомового комплекса соответствует пресноводным условиям. Низкая концентрация створок диатомей связана с малой долей алеврита в осадке (11-13%, см. ниже – результаты гранулометрического анализа).

**II ДЗ (3,50-2,99 м)** выделена в толщах карбонатных песков с алевритистым матриксом и алевритов на основе высокой доли бентосных и перифитонных видов (*Epithemia adnata*, *E. frickei*, *Amphora copulata*, *F. capucina*, *Gomphonella olivacea*), которая увеличивается вверх по разрезу от 85% до 100%. В карбонатных песках концентрация створок закономерно ниже (1,8 млн ств./г) ввиду того, что размерность диатомей соответствует крупному алевриту. В прослое алевритов выше по разрезу концентрация створок увеличивается до 13,2 млн ств./г. В эту зону входят образцы 3,50-3,54; 3,13-3,50 и 2,95-2,99 м. Нижняя часть интервала характеризуется наибольшим видовым разнообразием среди всех изученных образцов (40 таксонов), преобладанием пресноводных бентосных алкалифильных видов *Amphora copulata* (16%), *F. capucina* (8%) и *Gomphonella olivacea* (8%). Первые два вида также часто встречаются в обрастаниях. Для основания зоны также характерно присутствие планктонных диатомей *Aulacoseira granulata* (7%) и *A. italica* (2,5%). Выше по разрезу, начиная с глубины 3,13 м в верхней части толщи карбонатных песков, резко увеличивается доля пресноводных бентосных видов рода *Epithemia* (до 60%), среди которых нередко встречаются частично растворённые створки. Выше 3,13 м вид *Epithemia adnata* является абсолютным доминантом. Перечисленные таксоны и их процентное соотношение позволяет предположить обстановку распреснённой лагуны. В интервале 3,13-3,50 м, помимо пресноводных видов, встречается солоноватоводный бентосный таксон *Mastogloia pseudoexigua* (6%) и бентосный *Navicula capitatoradiata* (7%), который предпочитает пресноводные эвтрофные и мезотрофные водоёмы с высокой минерализацией (Куликовский и др., 2016). Вероятно, на данном осадконакопления присутствовало незначительное повышение солёности вод. На поздних этапах осадконакопления меняется сопутствующий вид – появляется бентосный *Navicula libonensis* (11%), который обитает в эвтрофных водоёмах, богатых минеральными веществами (Куликовский и др., 2016).

Начало формирования осадка диатомовой зоны, исходя из более высокой доли планктонных видов, отвечает более проточным условиям с повышенной щёлочностью вод.



Судя по увеличению численности бентосных видов вверх по разрезу, водоём постепенно приобретал более спокойный гидродинамический режим. Появление солоноватоводного вида *Mastogloia pseudoexigua* небольшой численности свидетельствует о незначительном повышении солёности. Высокая доля растворённых створок диатомей рода *Epithemia*, увеличение содержания алкалифилов и алкалибионтов и уменьшение видового разнообразия диатомей (с 38 до 9 в верхнем горизонте) может говорить об увеличении pH среды (до щелочных значений) и уменьшении сохранности створок. Вероятнее всего, осадок формировался в сильно опреснённой мелкой лагуне (с эпизодом небольшого повышения солёности), на участке, удалённом от прибойной зоны.

На графиках по результатам статистических методов PCA и NDMS, построенных для иллюстрации возможных сходств и различий диатомовых ассоциаций из современных водоёмов и из отложений, вскрытых скважинами Zb-1 и Рыбачья на шельфе Северного Каспия, сходство образцов 3,13-3,50 и 2,95-2,99 м подтверждается близким расположением друг к другу (Рисунок 126, Рисунок 125). Однако третий образец 3,50-3,54 м из основания толщи нельзя объединить в единый кластер с другими образцами из этой зоны. На графиках он приближен к современным ассоциациям из ер. Лотосного и протоки Грязнуха, вероятно, за счёт более высокой доли пресноводных планктонных видов. Следует отметить, что в образцах 3,13-3,50 и 2,95-2,99 м присутствуют ярко выраженные доминанты, что также искажает статистические построения.

**III ДЗ (2,37-1,73 м)** выделяется в толще алевритов, постепенно переходящих в мелкозернистый песок с примесью алеврита вверх по разрезу. Зона выявлена на основе иного состава доминирующих видов и наибольшей средней концентрации створок диатомей, которая изменяется от 1,0 до 25,2 млн ств./г. Пониженные значения концентрации створок приурочены к более опесчаненным прослоям. В зону входят четыре образца: 2,23-2,37 м; 2,15-2,20 м; 2,07-2,11 м и 1,73-1,96 м. Состав преобладающих пресноводных диатомей в образцах этой диатомовой зоны соответствует авандельтовым комплексам (проток, ильменей): *Amphora copulata* (5-24%), *Stephanocyclus meneghinianus* (5-17%), *Aulacoseira granulata* (5-15%), *Aulacoseira italica* (5-6%), *Cocconeis lineata* (3-20%). На глубине 2,23-2,37 м доминирует ацидофильный бентосный вид *Navicula avenacea* (19%), что может свидетельствовать о застойных условиях и активных процессах разложения органики, способствующих формированию кислой среды. В этом же интервале наблюдается максимальная концентрация створок диатомей, что говорит о наиболее благоприятных условиях для их развития. Наибольшая доля планктонных видов зафиксирована в интервале 2,07-2,11 м (38,8% при средних значениях 14-18%), характеризует более проточную стадию развития пресного водоёма. Таким образом,



формирование осадков этой диатомовой зоны происходило в условиях вблизи авандельты при её некотором выдвижении в результате регрессии Северного Каспия.

На графиках по результатам NDMS сходство образцов подтверждается их близким расположением друг к другу, по данным PCA образцы, наоборот, не формируют единого кластера (Рисунок 126, Рисунок 125). По результатам метода неметрического шкалирования, образцы данной зоны тяготеют к современным ассоциациям из ер. Лотосного, образцу 3,5-3,6 м скважины Zb-1 и образцу 3,50-3,54 м из описываемой скважины Рыбачья, для которых реконструированы обстановки осадконакопления в условиях распреснения. Оба статистических метода подтверждают наибольшую схожесть образца 2,07-2,11 м с современными ассоциациями. Так как в современных ассоциациях (кроме пр. Грязнуха) существенно преобладают пресноводные планктонные виды, близость образца 2,07-2,11 м к современному кластеру на графиках, вероятно, достигается за счёт более высокой доли планктонных видов относительно других образцов из этой диатомовой зоны.

**IV ДЗ (0,8-0,3 м)** выделяется в толще алевроитов с примесью глин и характеризуется преобладанием солоноватоводного бентосного вида *Lyrella lyra* (43%), массовое присутствие которого обнаруживается только в этом интервале. Концентрация створок диатомей сократилась до 0,8 млн ств./г. В эту зону входит образец 0,3-0,8 м. Субдоминантом является бентосный индифферентный алкальфилльный вид *Craticula cuspidata* (14%), около 7% створок приходится на бентосный солоноватоводный эвригалинный вид *Amphora commutata*. Также встречаются частично растворённые створки диатомей рода *Epithemia*. Судя по преобладанию створок бентосных диатомей и гранулометрическому составу осадка, его формирование происходило в мелком солоноватоводном водоёме с низкой гидродинамикой. Повышенное содержание створок алкальфилльных диатомей и низкая сохранность некоторых створок может свидетельствовать о щелочной реакции вод.

На графиках ординации по результатам статистических методов PCA и NMDS (Рисунок 126, Рисунок 125) положение образца из данной зоны изолированное, что говорит о сильных отличиях видового состава от остальных образцов как из скважин на шельфе Северного Каспия, так и из поверхностных осадков современных водоёмов.

**V ДЗ (0,3-0,2 м)** выделяется в песке с раковинным детритом по наименьшей концентрации створок (0,3 млн ств./г) и повышенному содержанию типичных для Каспия морских планктонных видов: *Actinocyclus octonarius* (30%, доминант) и его разновидность *Actinocyclus octonarius* var. *tenellus* (4%), *Thalassiosira eccentrica* (9%), *A. curvatulus* и *Coscinodiscus perforatus* (по 2%). Субдоминантом в данном интервале является морской

бентосный вид *Grammatophora macilenta* (17%), приспособившийся к существованию в сильно опреснённых водах Северного Каспия. К этой зоне отнесён один образец 0,2-0,3 м. Видовой состав доминант существенно отличается от изученных современных ассоциаций высокой численностью морских видов. Судя по преобладанию планктонных диатомей (56%) и экологическим предпочтениям преобладающих видов, осадконакопление происходило в солонатоводно-морском бассейне с активной гидродинамикой.

После публикации работы Р.М. Гогорева и Г.В. Ковалевой (Gogorev, Kovaleva, 2024), препарат подвергся пересмотру. Некоторые единичные створки *Thalassiosira eccentrica*, ошибочно определённые ранее, были повторно определены как *Shionodiscus caspicus*. Данный вид является обитателем Каспийских вод, встречается в современном бассейне, поэтому пересмотр видового названия для некоторых створок не привёл к изменениям выводов по реконструкциям условий осадконакопления. В работе (Berdnikova et al., 2023) микрофотография 2 на рис. 5, обозначенная как *Thalassiosira eccentrica*, также является створкой *Shionodiscus caspicus*.

Отличие данного образца подтверждается и по результатам статистических методов. Он занимает изолированное положение на графиках ординации по результатам PCA и NMDS – на большом расстоянии от остальных изученных образцов (Рисунок 126, Рисунок 125).

*Результаты гранулометрического анализа.* В отложениях скважины Рыбачья выделено пять групп образцов на основе распределения гранулометрических показателей (Рисунок 131).

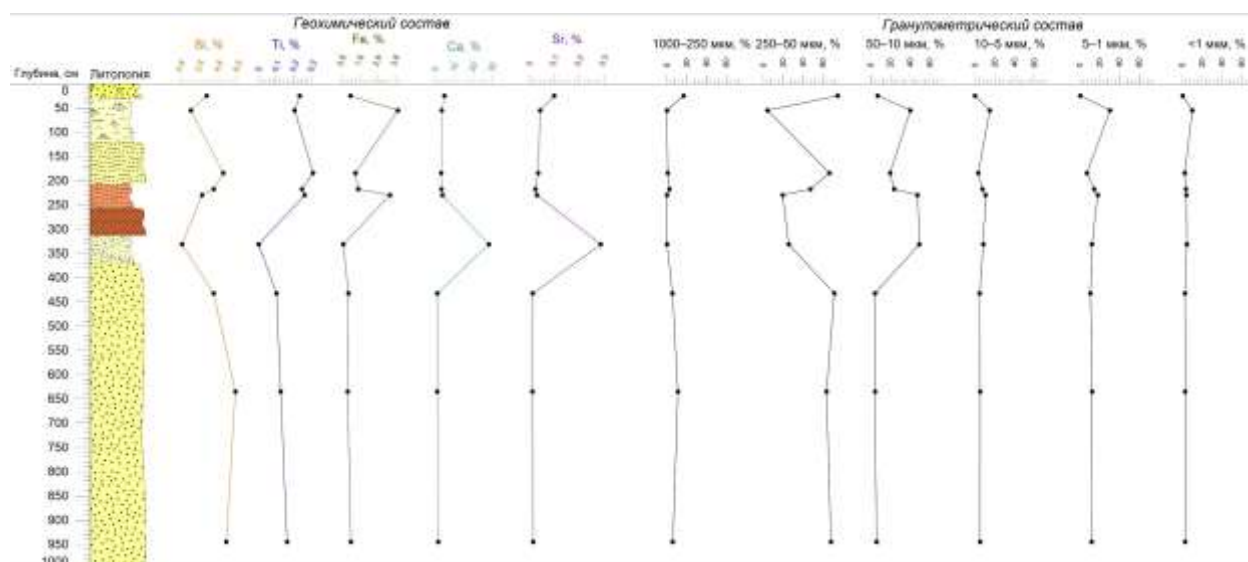


Рисунок 131. Результаты гранулометрического и геохимического анализов в скв. Рыбачья на юго-западном участке шельфа Северного Каспия (рис. Р.Р. Макшаева). Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 129.

Первая группа приурочена к основанию скважины и включает в себя образцы из интервалов 9,40–9,50 м, 6,3–6,40 м, и 4,20–4,40 м. Для этой группы характерно бимодальное распределение размерностей частиц. Преобладают мелкозернистые пески (60-70%), в то время как размерности алеврита в среднем не превышают значений 11-13%. Кумулятивные кривые и график распределения размерности частиц для указанных образцов практически совпадают. Это говорит о формировании осадков в схожих высокоэнергетических средах (например, деятельность волн) с дополнительным источником мелкого алеврита.

Вторая группа представлена образцами из интервалов 3,13–3,50 м и 2,23–2,37 м. Для неё характерно бимодальное распределение с преобладанием более тонких размерностей: крупного алеврита (48%), среднего алеврита (15%) и мелкого алеврита (10%). Следовательно, осадки этой группы формировались в водоёме с более спокойным режимом, чем отложения в основании скважины.

В третью группу объединены образцы из интервалов 2,15–2,20 и 1,73–1,96 м, которые, наряду с образцами первой группы из основания скважины, содержат значительное количество мелкозернистого песка. Доля мелкозернистых песков увеличивается вверх по разрезу от 48 до 67%. Пик мелкозернистого песка на кривой распределения частиц менее симметричный по сравнению с образцами первой группы из-за примеси крупного алеврита (до 24%). Вероятнее всего, условия осадконакопления соответствуют переходной обстановке от застойного водного режима к осадконакоплению в более высокодинамичной водной среде.

К четвёртой группе отнесён один образец из интервала 0,30–0,80 м, так как его график распределения частиц резко отличается от остальных образцов. Он характеризуется бимодальным распределением с двумя пиками, близкими по размерности частиц: крупный алеврит (40%) и мелкий алеврит (31%). Содержание среднего алеврита не превышает 15%. Также для этого интервала характерна наибольшая доля глинистой фракции – 10%. Таким образом, можно с уверенностью реконструировать застойную водную обстановку осадконакопления.

Пятая группа также представлена одним образцом из интервала 0,20–0,30 м и в целом сопоставима со второй группой по преобладанию мелкозернистых песков (83%), свидетельствующих о высокоэнергетической обстановке. Однако в этом интервале встречаются также средне- и крупнозернистые пески (до 16% в сумме), в то время как фракции мелкого алеврита и глин практически отсутствуют (0,6 и 0,2%) соответственно. Это говорит о лучшей сортировке осадка, которая может являться результатом более интенсивного воздействия волн, чем в обстановке первой группы, выделенной в основании скважины.

*Результаты геохимического анализа.* Геохимический анализ выполнен Р.Р. Макшаевым: «Полученные содержания элементов Si, Ca, Sr, Fe и Ti представлены ниже (Рисунок 131). В геохимическом составе образцов керна преобладают элементы Si, Fe и Ca. Для стратиграфии позднего плейстоцена и голоцена Прикаспийского региона также важно учитывать совместное распределение Fe, Al и Ti. Согласно ряду исследований (Лобачева и др., 2021), повышенное содержание Fe, Al и Ti характерно для нижнехвалынских отложений, особенно если оно наблюдается в глинистых и алевритовых фракциях. По обобщенным данным бурения в Дербентской и Южно-Каспийской котловинах, в голоценовых отложениях концентрация Fe варьирует в пределах 0,9–5,07% (Kozina et al., 2022). В изученной скважине наблюдаются повышенные содержания Fe и Ti: концентрация Fe составляет от 1,1 до 3,79%; для Ti – от 0,23 до 0,31%. Кроме того, повышение концентрации Fe тяготеет к интервалам с преобладанием (более 80%) алевритовых и глинистых фракций: 2,23–2,37 и 0,30–0,80 м. Эти факты в совокупности могут свидетельствовать о раннехвалынском возрасте отложений. Для нижней части скважины, представленной преимущественно мелкозернистыми песками, характерно повышение содержания Si, что может быть связано с интенсивным терригенным стоком. Резкое повышение концентрации Ca (до ~28%) наблюдается в карбонатных песках в интервале 3,13–3,50 м» (Лысенко и др., 2024, с. 67).

В целом по разрезу Si демонстрирует высокую корреляцию с Zr, что может быть связано с его интенсивным терригенным привносом. Накопление Zr в высокоэнергетических обстановках, например, в нижней части разреза, как правило, связано с устойчивостью минерала циркона, который характерен для тяжелой фракции нижнехвалынских отложений, (Макшаев, 2019; Рисунок 132). Высокое содержание Ti и Fe в осадках также отражается на тепловой карте (Рисунок 133). По результатам геохимического анализа образцы группируются следующим образом:

- в интервале 9,50–4,25 м наблюдается повышенное содержание Si и Zr, что может быть связано с терригенным привносом циркона и его устойчивостью в высокоэнергетических обстановках. Также отмечается повышенное содержание Ti и Fe в целом по разрезу, что наряду с наличием циркона может говорить о раннехвалынском возрасте отложений;
- в карбонатных песках на глубине 3,13–3,50 м наблюдается закономерное обогащение Ca и Sr (геохимический аналог Ca). Повышенное содержание S наряду с обогащением Fe может быть связано с присутствием минерала пирита. Значительное повышение концентрации пирита в осадках наблюдаются при смене режимов с морского

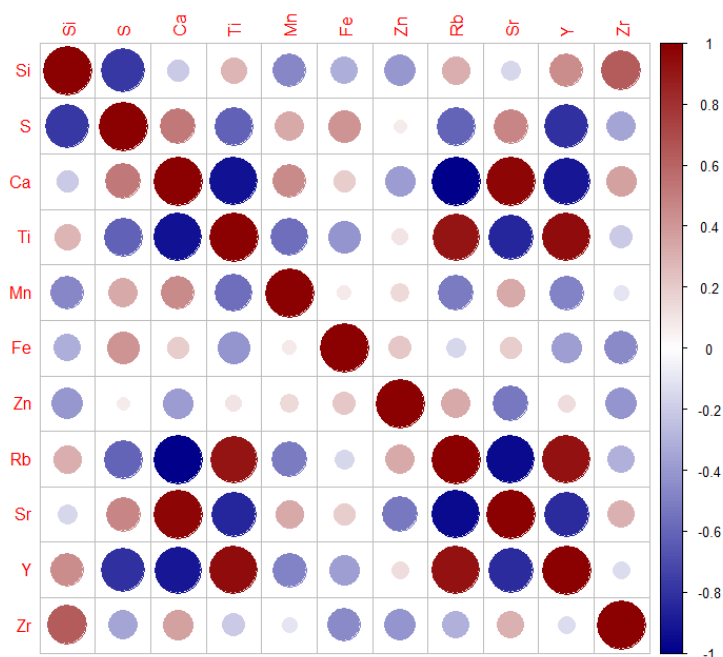


Рисунок 132. Корреляционная матрица элементов из скв. Рыбачья на юго-западном участке шельфа Северного Каспия.

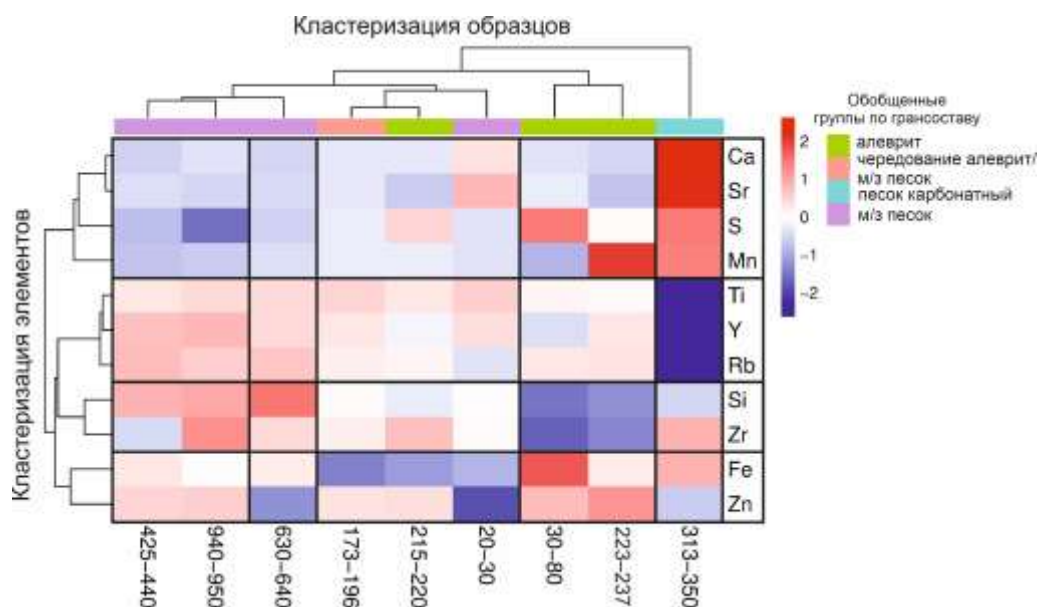


Рисунок 133. Кластеризация образцов и элементов из скв. Рыбачья на юго-западном участке шельфа Северного Каспия.

на пресноводный (Моров, 2016), вероятно, за счёт интенсивного осаждения органики на границе река-море (см. п. 3.2).

- образцы 2,23-2,37 м и 0,3-0,8 м, представленные алевритами, отличаются интенсивным накоплением Fe, что также характерно для нижнехвалынских отложений, и Zn. В целом по разрезу наблюдается корреляция Zn с Fe, Rb, Ti, Mn и Y, что связано с наличием глинистых минералов, например, биотита. На глубине 0,3-0,8 м наблюдается обогащение S и Fe, что связано с образованием минерала пирита. Как было сказано выше,

высокие концентрации пирита маркируют условия перехода от морских обстановок к пресноводным. Его наличие подтверждается данными сканирующей электронной микроскопии, в образце 0,3-0,8 м были обнаружены характерные фрамбоидальные формы пирита, которые обычно приурочены к осадкам, содержащим органическое вещество (Астафьева и др., 2005, Рисунок 134), которое активно осаждается в зоне маргинального фильтра.

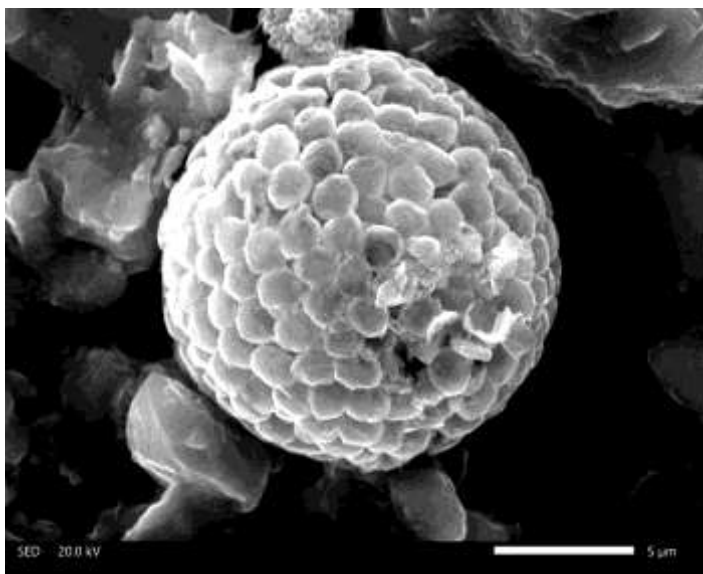


Рисунок 134. Фрамбоидальная форма минерала пирита, обнаруженная в образце 0,3-0,8 м из скв. Рыбачья на юго-западном участке шельфа Северного Каспия. Фотография со сканирующего электронного микроскопа.

- образцы из интервалов 1,73-2,20 и 0,2-0,3 м не отличаются существенным обогащением/обеднением элементами, а также представлены разными гранулометрическими фракциями. Вероятно, они представляют собой «переходные» обстановки в геохимическом плане между высокоэнергетической средой в нижней части разреза, близкой по составу к нижнехвалынским отложениям, и спокойными гидродинамическими обстановками с более интенсивным накоплением Fe и Zn.

*Результаты малакофаунистического анализа.* Малакофаунистический анализ выполнен Т.А. Яниной: «Малакофауна в осадках керна представлена немногочисленными (16) видами, предпочитающими бассейны, характеризующиеся разным гидрологическим и гидрохимическим режимом (Рисунок 135). Руководящие для биостратиграфического расчленения осадков виды рода *Didacna* Eichwald (за исключением одного неопределимого обломка) отсутствуют.

Образцы из нижней песчаной толщи (ниже 3,70 м) не содержат раковин моллюсков. Встречается лишь единичный неопределимый детрит. В осадках залегающего выше слоя (образец из интервала 3,50–3,13 м) преобладают *Theodoxus pallasi*, сравнительно редки *Dreissena polymorpha* и *Lymnaea stagnalis*. Малакофаунистическое сообщество включает представителей пресноводной фауны, приспособившейся к обитанию в опресненных каспийских водах (*T. pallasi* и *D. polymorpha*), и озерный вид *L. stagnalis*.



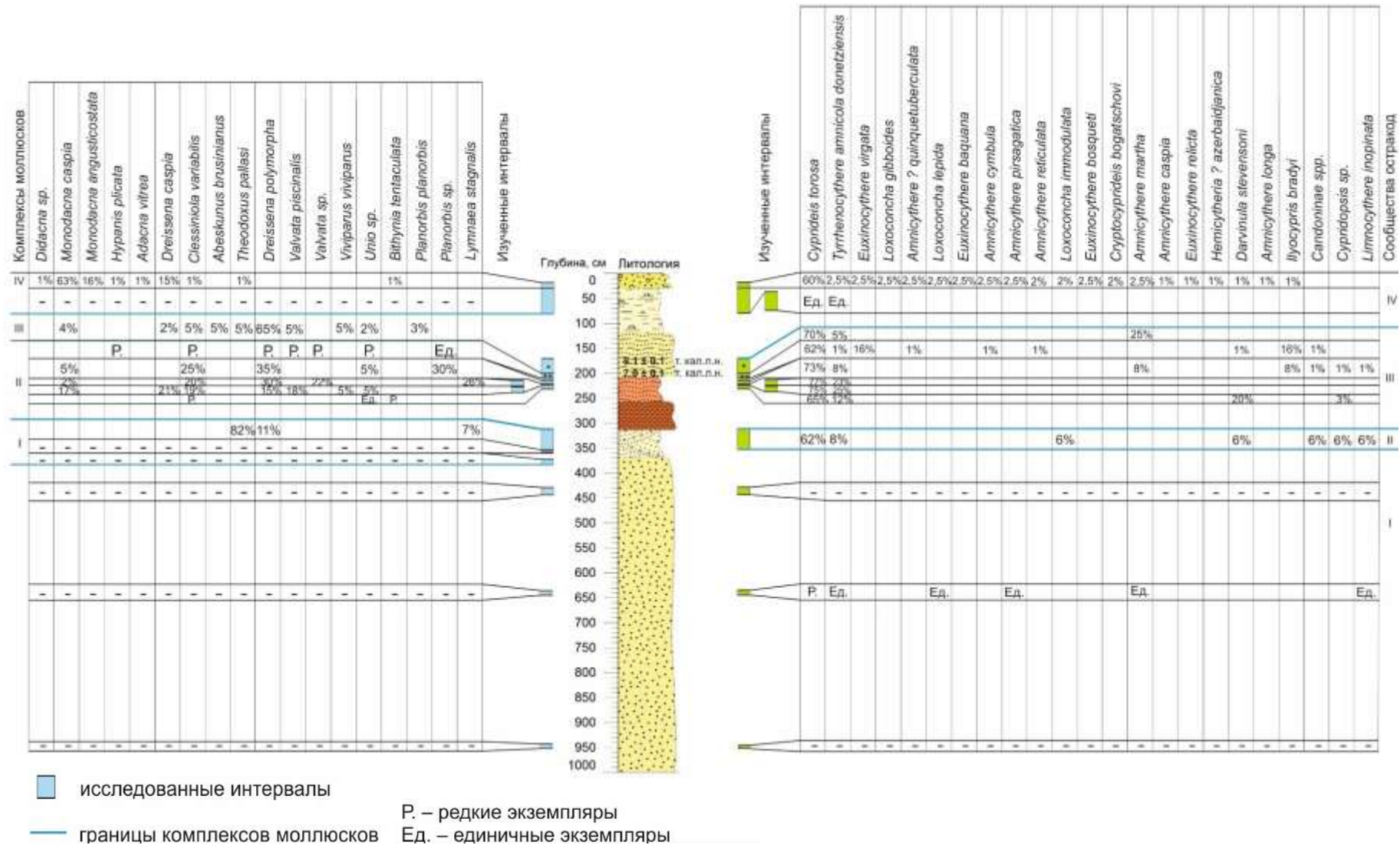


Рисунок 135. Результаты малакофаунистического анализа (слева) и анализа остракод (справа) в скв. Рыбачья на юго-западном участке шельфа Северного Каспия. Прочерками обозначено отсутствие фаунистических остатков. Условные обозначения литологического состава осадков – см. Рисунок 129.

В образце из интервала 2,34–2,25 м многочисленны *Monodacna caspia* и *D. polymorpha*, встречаются *Dreissena caspia*, *Clessiniola variabilis*, *Unio* sp. (мелкие обломки), *Viviparus* sp. (обломки), *Valvata piscinalis*. Малакофаунистическое сообщество представляет собой смесь каспийских слабо солоноватоводных и пресноводных видов. В интервале 2,27–2,23 м содержатся очень редкие раковины *Bithynia tentaculata*, *C. variabilis*, мелкие обломки раковин *Unio*. Сообщество также охарактеризовано каспийскими слабо солоноватоводными и пресноводными видами. В интервале 2,20–2,16 м раковинный материал редкий. Это представители каспийских слабо солоноватоводных и пресноводных видов *Monodacna caspia*, *Clessiniola variabilis*, *Dreissena polymorpha*, *Unio* sp. (мелкие обломки) и *Planorbis* sp. (обломок). Образец из интервала 2,22–2,14 м включает многочисленные раковины *D. polymorpha*, единичные *C. variabilis*, *Lymnaea stagnalis*, *M. caspia*, обломок *Valvata* sp. Сообщество представлено пресноводными и слабо солоноватоводными видами с преобладанием пресноводных; один вид (*L. stagnalis*) лимнофильный.

В интервале 2,11–2,07 м содержатся редкие целые и мелкие обломки раковин *Dreissena polymorpha*, *Hypanis plicata*, *Valvata piscinalis*, *Clessiniola variabilis*, *Unio* sp., *Valvata* sp., *Planorbis* sp. Преобладают пресноводные виды. Интервал 1,96–1,73 м охарактеризован *Viviparus viviparus*, *V. piscinalis*, *Planorbis planorbis*, *Unio* sp. (обломок), *D. polymorpha*, *Dreissena caspia*, *Monodacna caspia*, *C. variabilis*, *Theodoxus pallasii*, *Abescunia bruciana*. В малакофаунистическом сообществе преобладают пресноводные виды, в примеси каспийские виды, приспособившиеся к обитанию в значительно опресненных водах. В интервале 0,80–0,30 м содержится лишь единичный неопределимый детрит. Осадки интервала 0,30–0,20 м включают *M. caspia* (раковины вида преобладают), *Monodacna angusticostata* (многочисленные), *D. caspia* (многочисленные), редкие раковины *Hypanis plicata*, *Bithynia tentaculata*, *T. pallasii*, *Adacna vitrea*, *C. variabilis*, *Didacna* sp. (мелкие обломки). В сообществе господствуют каспийские слабо солоноватоводные виды.

В составе малакофауны из изученных образцов керна по экологической принадлежности установленных сообществ выделяются четыре комплекса. 1) Комплекс в интервале 3,54–3,13 м, отвечающий опресненным каспийским условиям со значительным влиянием пресных вод. Присутствие лимнофильного вида *Lymnaea stagnalis* позволяет предположить озерный значительно опресненный дельтовый водоем в условиях снижения уровня моря. 2) Комплекс в интервале 2,34–2,14 м, представленный смесью каспийских слабо солоноватоводных и пресноводных видов. Внутри выделенного интервала в составе комплекса наблюдаются незначительные колебания в сторону увеличения или уменьшения количества пресноводных видов, отражающие незначительную внутреннюю динамику

бассейна. 3) Комплекс в интервале 2,11–1,73 м, отличается преобладанием пресноводных видов, в примеси каспийские виды, приспособившиеся к обитанию в значительно опресненных водах. 4) Комплекс в интервале 0,30–0,20 м, характеризующийся преобладанием каспийских слабо солоноватоводных видов, является характерным для современного Северного Каспия» (Лысенко и др., 2024, с. 67).

*Результаты микрофаунистического анализа.* Микрофаунистический анализ выполнен М.А. Зениной и А.А. Ткач: «Суммарно в образцах керна скважины нами выявлено 23 вида остракод (Рисунок 135). По типу среды обитания их можно разделить на две основные группы – пресноводные (4 вида) и каспийские или солоноватоводные (19 видов). Ниже 6,4 м остракоды в образцах не обнаружены. Микрофаунистический состав остракод позволяет выделить четыре этапа смены сообществ, каждый из которых соотносится со сменой природных условий в течение голоцена.

Сообщество I описано на глубинах 6,40–6,30 м. Оно характеризуется преобладанием видов *Cyprideis torosa* и *Tyrrhenocythere amnicoladonetzensis*. В целом, микрофаунистический состав напоминает современный состав Каспия, он формировался в морских условиях, однако соленость, вероятно, была ниже, чем в настоящее время. Сохранность остракод *Limnocythere inopinata* связана с высокой скоростью осадконакопления, высокой смертностью и/или хорошей сохранностью створок в условиях повышенных глубин. Следов переотложения не отмечается. Мы предполагаем, что накопление этой толщи происходило в трансгрессивную стадию Каспийского моря.

Вышележащее сообщество II описано в интервале 3,50–2,99 м и представлено комплексом с высоким содержанием пресноводных видов остракод. В указанном интервале встречается лишь два солоноватоводных вида, в целом же, все обнаруженные виды остракод приспособлены к выживанию в широком температурном диапазоне и обитанию в мелководных опресненных водоемах. Такой комплекс типичен для прибрежных зарослей и небольших многолетних водоемов. *Cyprideis torosa* достигает здесь максимальной численности. Кроме того, здесь широко представлены ювенильные стадии этого вида. А. Дж. Смит и Дж. Х. Хорн (Smith, Horne, 2002) отмечают, что это может указывать на переходное состояние от морских к пресноводным условиям. Кроме того, на пресноводные условия явно указывает присутствие многочисленных *Darvinula stevensoni*, вида толерантного к низкой солености и опреснению, а также *Candona* spp., современные формы которой являются обитателями опресненных водоемов. Мы предполагаем накопление рассмотренной толщи в условиях опресненного водоема застойного типа во время регрессивного состояния Каспийского моря.

Выше, на глубине 2,50 м, сообщество II сменяется сообществом III, которое, в целом, можно охарактеризовать как солоноватоводное с примесью пресноводных видов. Соленость, как и глубина бассейна, существовавшего в этом месте во время накопления толщи в интервале 1,73–2,50 м, были ниже, чем в современном Каспийском море. На фоне общего преобладания солоноватоводных видов отмечается периодическое повышение содержания раковин таких пресноводных видов остракод как *Ilyocypris bradyi* и *D. stevensoni*. Такой состав микрофауны остракод может свидетельствовать о сложной внутренней динамике в ходе трансгрессивного этапа.

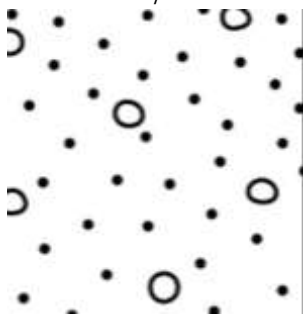
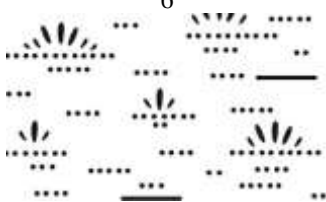
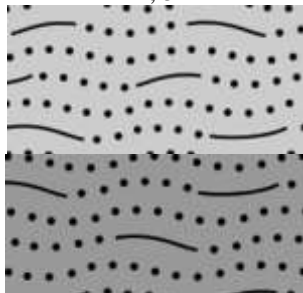
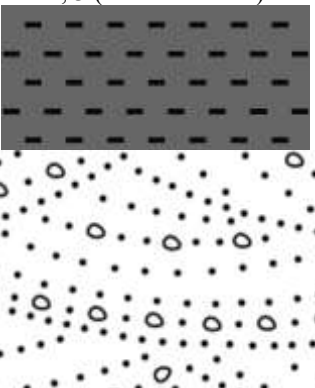
Сообщество IV описано по донным отложениям Каспийского моря в интервале глубин от 0,20 до 0,30 м. Оно представляет собой типичный для Северного Каспия современный микрофаунистический комплекс видов с преобладанием *C. torosa*, *Tyrrhenocythere amnicoladonetziensis*, более стеногалинных *Cryptocyprideis bogatschovi* (12,5–13,25%), *Euxinocythere baquana* (11,5–13%), *Amnicythere? quinetuberculata* (11,5–13%) и др. Редкие *I. bradyi*, *D. stevensoni* или *Amnicythere longa* и *Amnicythere cymbula*, в настоящее время распространенные в эстуариях Черного моря на глубинах до 5 м, указывают на значительное речное влияние и близость дельты Волги к району исследований» (Лысенко и др., 2024, с. 71).

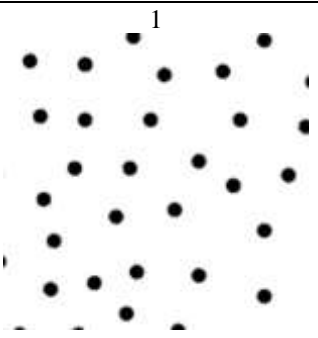
*Результаты радиоуглеродного датирования.* Полученные даты соответствуют радиоуглеродным возрастам  $7240 \pm 110$  л. н. в интервале глубин 1,73–1,96 м и  $6140 \pm 110$  л. н. в интервале 2,07–2,11 м. Калиброванные с помощью кривой «IntCal 20» даты составляют  $8070 \pm 110$  кал. л. н. и  $7020 \pm 140$  кал. л. н. соответственно.

*Палеогеографическая интерпретация.* Сопоставив стратификацию керна по экозонам, гранулометрии и литологии мы выделили четыре этапа осадконакопления. Каждый этап включает экозоны со сходными условиями (Таблица 11).

Отложения, отнесённые нами к раннехвалынскому этапу, выделяются в основании скважины в интервале 9,5–3,7 м по результатам анализа остракод, гранулометрического и геохимического методов. Отмечается высокое содержание кремния, что может быть связано с дельтовыми и прибрежными фациями трансгрессивного этапа раннехвалынского бассейна. Геохимические маркеры (Fe и Ti) также подтверждают раннехвалынский возраст этих отложений. Гранулометрические данные свидетельствуют о высокоэнергетической среде с дополнительным источником мелкого алеврита. Отсутствие раковин моллюсков подтверждает интенсивную гидродинамику среды осадконакопления. Низкая концентрация диатомей обусловлена высокой скоростью осадконакопления. Комплекс остракод позволяет реконструировать более глубоководный бассейн с меньшей солёностью, чем современный.

Таблица 11. Характеристика основных этапов осадконакопления в скв. Рыбачья на основе комплексного анализа (Лысенко и др., 2024).

Этапы осадконакопления	№ литологического слоя, условное обозначение	Экозоны по биостратиграфии; № групп образцов по гранулометрии	Краткое описание этапа
Четвёртый (0,30–0,00 м)	7 	(4) комплекс моллюсков, IV сообщество остракод, V ДЗ; 5 группа	Заключительный этап новокаспийской трансгрессии. Условия, близкие к современным на шельфе Северного Каспия. Более глубокий и соленый бассейн, чем на третьем этапе, однако отмечается опресняющее влияние стока Волги. Высокоэнергетическая среда осадконакопления.
Третий (0,80–0,30 м)	6 	IV ДЗ; 4 группа	Относительная стабилизация уровня моря. Уровень моря и соленость ниже современного Северного Каспия. Обстановки солонатоводной мелководной лагуны.
Второй (2,99–1,20 м)	4, 5 	(2) и (3) комплексы моллюсков, III сообщество остракод, III ДЗ; 2 и 3 группы	Повышение уровня моря, заполнение палеопонижения около 8070±110 кал. л.н. – 7020±140 кал. л.н. на фоне длительного потепления и увлажнения. Пресный или слегка солонатоводный водоем (динамичность соленостных условий); в целом переход от более спокойных обстановок к более динамичным.
Первый (3,54–2,99 м)	2, 3 (нижняя часть) 	(1) комплекс моллюсков, II сообщество остракод, II ДЗ; 2 группа	Отступление моря во время осцилляции его уровня. Изоляция палеопонижения. Условия небольшого многолетнего пресного водоема с эпизодом небольшого повышения солёности; более мелководные и более пресные, чем условия на шельфе современного Северного Каспия.

Размыв верхнехвалынских отложений во время мангышлакской регрессии, формирование палеопонижения.			
Начальный (9,50–3,70 м)		I ДЗ, I сообщество остракод; 1 группа	Трансгрессионный этап раннехвалынского бассейна. Бассейн с большей глубиной и меньшей соленостью, чем современный Северный Каспий. Высокоэнергетическая среда осадконакопления, прибрежные фации.

Это несколько расходится с результатами изучения малакофауны Т.А. Яниной (2009; 2013), согласно которым солёность раннехвалынского бассейна была немного выше современной – на 3-4 ‰. Отсутствие малакофаунистических остатков в нашем материале, которое объясняется высокой интенсивностью гидродинамических условий осадконакопления, не позволило задействовать данный метод. Однако по стратиграфическому положению и гранулометрическому составу осадков изученный нами интервал относится скорее к раннехвалынскому возрасту. Так, результаты комплексного изучения инженерно-геологических скважин на шельфе Северного Каспия свидетельствуют о двухчленном строении нижнехвалынских отложений: нижняя часть залегает на глубине 21-17 м от поверхности дна, представлена чередованием чистой ракуши, раковинного материала разной крупности с песчаным либо глинистым заполнителем; верхняя часть залегает на глубине от 2 до 17 м от поверхности дна, представлена в основании глинистыми осадками, выше по разрезу – глинами, включающими прослой песка разной мощности (Сорокин и др., 2023; Bezrodnykh et al., 2015). Вероятно, выявленная нами в скв. Рыбачья на глубине 9,5–3,7 м толща песков соответствует верхней части нижнехвалынских отложений, для которых характерны прослой песка, поскольку обильных включений раковин моллюсков не выявлено. Положение в разрезе также свидетельствует в пользу этого предположения.

Верхнехвалынские отложения не выявлены нашими методами. Мы предполагаем, что отложения выше 3,7 м формировались в обстановках, нетипичных для морского бассейна. Похолодание и континентализация климата (Болиховская, 2019) положили начало регрессивному тренду в Каспийском море в раннем голоцене – мангышлакской регрессии. По данным некоторых авторов (Bezrodnykh, Sorokin, 2016), позднехвалынские отложения могли быть размывы в ходе эрозионной деятельности водотоков во время мангышлакской регрессии, в результате чего возникло палеопонижение. Согласно современным исследованиям, во время мангышлакской регрессии происходило активное



эоловое перевевание морских и аллювиальных осадков на осушенном шельфе, что привело к формированию бэровских бугров и разделяющих их палеопонижений (Лобачева и др., 2025). Выявленное нами палеопонижение постепенно заполнялось осадками, обстановки которых реконструируются по биостратиграфии. Таким образом, голоценовые осадки накапливались в понижении поверх раннехвалынской толщи с размывом позднехвалынских отложений. Как правило, мощность голоценовых отложений не превышает 2 м в пределах шельфа Каспийского моря (Безродных и др., 2017; Чеховская и др., 2018). Наши данные по результатам изучения моллюсков, диатомовых водорослей и остракод позволили реконструировать условия среды, не типичные для морского шельфа, в голоценовых отложениях повышенной мощности – около 3,5 м. Это подтверждает предположение, согласно которому скважина Рыбачья была заложена в пределах широко распространенных в Северном Каспии палеопонижений, описанных Ю.П. Безродных и В.М. Сорокиным (Bezrodnykh, Sorokin, 2016).

За подъемом уровня моря (в рамках осцилляции) в раннем голоцене последовало его падение и изоляция палеопонижения, в результате чего на первом этапе осадконакопления на глубине 3,54–2,99 м реконструируются пресноводные обстановки. По нашим данным, отложения первого этапа осадконакопления древнее 8–7 кал. л. н. и формировались после мангышлакской регрессии. Наличие видов моллюсков, приспособленных к обитанию в опресненных каспийских водах, высокая численность пресноводных бентосных диатомей, а также присутствие пресноводных и эвригалинных видов остракод предполагают обстановки опресненного водоема озёрного типа во время начальной стадии осадконакопления в палеопонижении. *Cyprideis torosa* достигает максимальной численности в условиях крайне изменчивой солености вод, характерной для перехода от морских условий к пресноводным. Современные формы *Candoninae spp.* считаются обитателями опресненных водоемов. В интервале 3,13–3,50 см по диатомеям выделяется эпизод незначительного повышения солёности: появление солоноватоводного вида *Mastogloia pseudoexigua* и высокая численность *Navicula capitatoradiata*, предпочитающего высокоминерализованные воды. Обогащение осадков S и Fe в интервале 3,13–3,50 см свидетельствует о присутствии пирита, который широко распространён в лагунных условиях, в особенности – солоноватоводных, и способен заполнять створки диатомей (Минюк, 2021), достигающие довольно высокой концентрации на этой глубине. Также повышение концентрации пирита связано с распреснением, переходом от морских обстановок к пресноводным (Моров, 2016), ввиду активного осаднения органики в системе маргинального фильтра на границе река/море. Литологические характеристики осадка на раннем этапе осадконакопления (карбонатные пески) указывают на мелководные условия.

Повышенные концентрации Ca и Sr могут свидетельствовать как о повышении солености и температуры в Каспийском бассейне, так и об увеличении речного стока. По данным биостратиграфических методов происходило увеличения стока рек, что привело к опреснению водоема.

Иными словами, реконструированы отложения не максимума трансгрессии, а водоема, сформировавшегося при отступлении моря. Обособление палеопонижения сопровождалось процессом заполнения депрессии пресными водами. После перехода от морских условий к пресноводным спокойные обстановки небольшого многолетнего водоема способствовали накоплению карбонатов. Для участка в Северном Каспии вблизи скважины Рыбачья (Чеховская и др., 2018) были получены схожие результаты: сопоставимые отложения формировались в более мелководных и опресненных условиях, чем современные. По результатам палинологического анализа разрезов Солёное Займище в Нижнем Поволжье в позднебореальное время на фоне начала раннеголоценовой трансгрессии Каспия выделяется непродолжительное похолодание и усиление континентализации климата, датируемое около 9350-8900 кал. л.н. Вероятно, выявленные нами обстановки мелкого пресноводного водоёма в скв. Рыбачья на глубине 3,54–2,99 м могли соответствовать данному кратковременному климатическому ритму (Рисунок 136). На основе геохимических маркеров пресноводные сообщества в алевроитистых отложениях с высокими значениями Fe и Ti могут быть интерпретированы как позднихвалынские. Однако высокая концентрация Fe и Ti в отложениях второго этапа осадконакопления связана с унаследованностью геохимического состава размытых верхнихвалынских отложений. По литературным данным, заполнение палеопонижений в Северном Каспии происходило в интервале от 11500 до 8000 кал. л. н. (Безроздных и др., 2014). Радиоуглеродные даты, полученные нами, моложе ранее опубликованных. Мы предполагаем более длительный процесс заполнения палеопонижений, начавшийся одновременно с потеплением и увлажнением климата Каспийского региона в период с 8900 до 8400 кал. л. н. (радиоуглеродный возраст 8000-7600 л.н.), выявленным Н.С. Болиховской (2011) на основе палинологических данных. Также этот период соответствует начальной или первой раннеголоценовой трансгрессии Каспия. Сопоставление датировок, полученных разными авторами, с палинологическими данными, выполненное Н.С. Болиховской (2011, 2019), свидетельствует о наиболее вероятном времени раннеголоценовой трансгрессии Каспия в интервале  $8000 \pm 150$  и  $7530 \pm 160$  л.н. (Варущенко и др., 1987) или около 8000-7000 л.н. (Рычагов, 2019).

На втором этапе осадконакопления на глубине 2,99–1,20 м нами реконструировано повышение уровня Каспийского моря. Датировки этих событий составляют

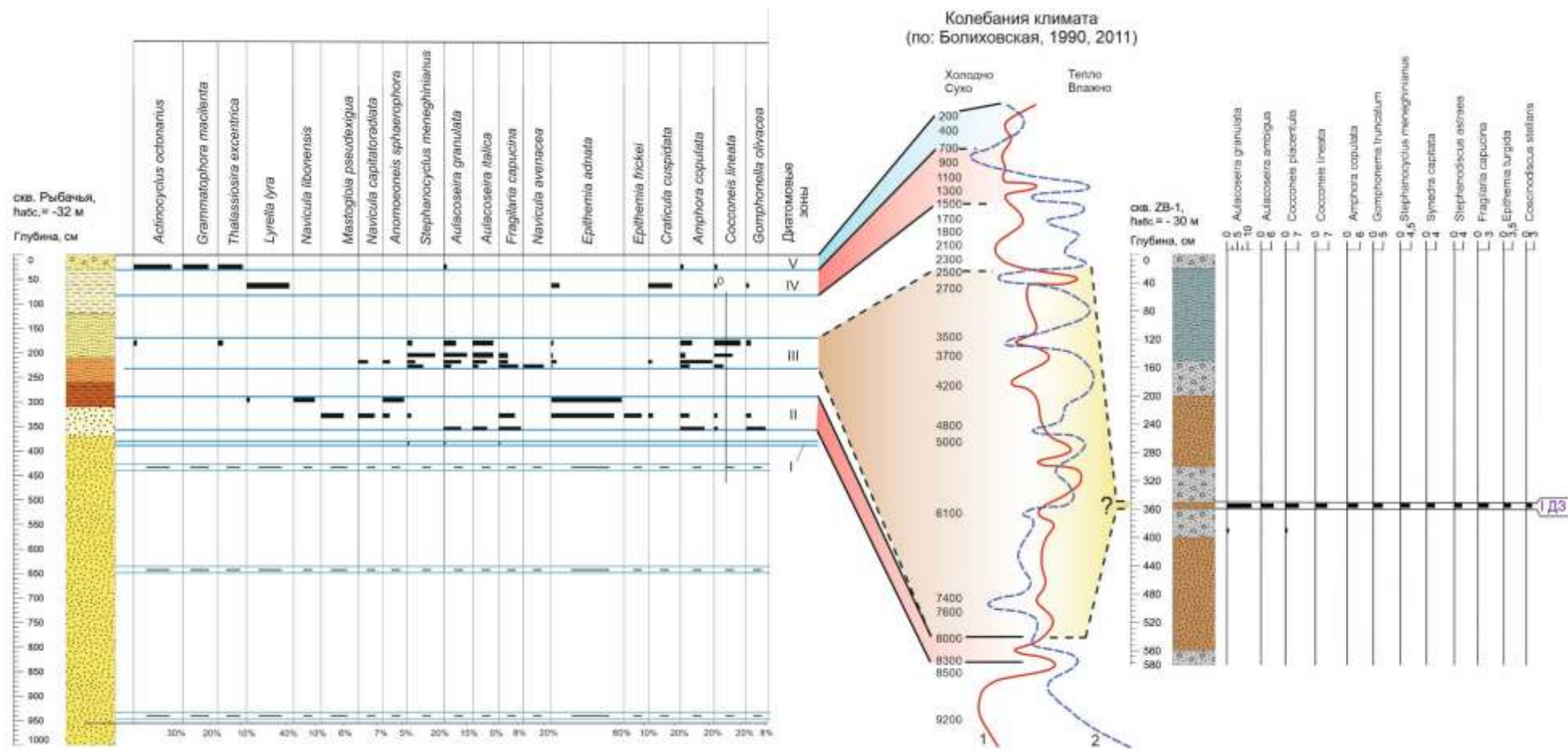


Рисунок 136. Корреляции событий, реконструированных в скв. Рыбачья и Zb-1 (шельф Северного Каспия), с климатическими реконструкциями на основе палинологического анализа материалов из разрезов Нижней Волги (по: Болиховская, 1990; 2011). I ДЗ, выделенная в скв. Zb-1, соответствует одному из регрессивных эпизодов новокаспийской трансгрессии. Цифрами обозначены кривые колебания: 1 – теплообеспеченности, 2 – влагообеспеченности.

8070±110 кал. л. н. и 7020±140 кал. л. н., соответствуют ранненовокаспийскому времени. Гранулометрический состав демонстрирует смену алевритистых отложений, сформировавшихся в более застойных условиях, мелкозернистыми песками с примесью алеврита, что соответствует переходной обстановке осадконакопления от спокойного водного режима к более динамичному. Комплекс моллюсков содержит обилие солоноватоводных и пресноводных видов.

Присутствие солоноватоводных остракод с примесью пресноводных видов и относительно высокая доля солоноватоводных диатомей свидетельствуют о сложной внутренней гидродинамике во время трансгрессивной стадии Каспия. Похожая динамика ранее реконструирована в близлежащем районе (Чеховская и др., 2018). На основе геохимических маркеров пресноводные сообщества в алевритистых отложениях с высокими значениями Fe и Ti могут быть интерпретированы как позднихвалынские. Однако высокая концентрация Fe и Ti в отложениях второго этапа осадконакопления связана с унаследованностью геохимического состава размытых верхнехвалынских отложений. По литературным данным, заполнение палеопонижений в Северном Каспии происходило в интервале от 11500 до 8000 кал. л. н. (Безродных и др., 2014). Радиоуглеродные даты, полученные нами, моложе ранее опубликованных. Мы предполагаем более длительный процесс заполнения палеопонижений, начавшийся одновременно с потеплением и увлажнением климата Каспийского региона в период с 8900 до 8400 кал. л. н. (радиоуглеродный возраст 8000-7600 л.н.), выявленным Н.С. Болиховской (2011) на основе палинологических данных. Также этот период соответствует начальной или первой раннеголоценовой трансгрессии Каспия. Сопоставление датировок, полученных разными авторами, с палинологическими данными, выполненное Н.С. Болиховской (2011, 2019), свидетельствует о наиболее вероятном времени раннеголоценовой трансгрессии Каспия в интервале 8000±150 и 7530±160 л.н. (Варущенко и др., 1987) или около 8000-7000 л.н. (Рычагов, 2019).

В осадках, вскрытых скважиной Рыбачья, нам не удалось выявить регрессивные события, разделявшие этапы новокаспийской трансгрессии. Следовательно, нам не удалось подтвердить или опровергнуть взаимосвязь активизации эрозионных процессов с регрессивными этапами Каспия в новокаспийское время. Тем не менее, мы предполагаем, что наблюдаемые нами изменения комплексов фауны моллюсков, остракод и диатомей в интервале 0,00–3,54 м характеризуют колебания уровня моря в новокаспийское время, датруемые:

1) 5600–3700 и 3080–2300 кал. л. н. (по: Безродных и др., 2018) или 5940±100 и 5390±110 л.н.

2)  $3540 \pm 120$  и  $3000 \pm 120$  л.н. (по: Варущенко и др., 1987) или  $\approx 3500-2500$  л.н. (по: Рычагов, 2019).

В осадках скв. Zb-1 на северо-восточном участке шельфа Северного Каспия, напротив, реконструировано только регрессивное событие. Мощность голоценовых отложений так же, как и в скв. Рыбачья, превышает их нормальную мощность в этом районе (2 м, см. выше). На глубине 3,5-3,6 м выявлены условия сильно распреснённой мелководной лагуны, что, вероятно, отвечает непродолжительной регрессивной стадии Каспия. Ввиду отсутствия датировок, довольно сложно выполнить стратиграфическую привязку интервала. Литологический состав нижележащих голоценовых отложений (песок с раковинным детритом) свидетельствует о более высоком подъёме уровня моря на начальных этапах осадконакопления. Таким образом, выделенный регрессивный этап, по-видимому, относится к новокаспийскому времени. Можно предположить формирование отложений во время одного из регрессивных эпизодов в рамках новокаспийской трансгрессии, который следовал за подъёмом уровня моря (Рисунок 132).

Ввиду отсутствия фаунистических остатков третий этап осадконакопления в скв. Рыбачья на глубине 0,8–0,3 м охарактеризован только диатомовым анализом. Этот этап характеризуется преобладанием бентосных видов диатомей, что в комплексе с высокой долей алкальфильных и солоноватоводных видов свидетельствует о застойной среде осадконакопления, соответствующей солоноватоводной лагуне. Резкая граница слоя с нижележащим интерпретирована как перерыв в осадконакоплении. Результаты гранулометрического анализа указывают на обстановки бассейна лагунного типа с низкой гидродинамикой. Повышенная доля Fe, тяготеющая к отложениям третьего этапа и характерная для верхнехвалынских толщ, в данном случае связана с лагунными условиями осадконакопления. Наличие фрамбоидального пирита и в целом обогащение осадков характерными для пирита элементами (Fe, S) свидетельствует о лагунных условиях с интенсивным накоплением органического вещества. Подобные обстановки могли сформироваться при относительной стабилизации уровня моря. При этом уровень моря и солёность, судя по видовому составу диатомовых водорослей, были ниже, чем в современном Северном Каспии. Наиболее глубокая регрессия Каспия в позднем голоцене – дербентская, разными авторами отмечается понижение уровня моря от -32 до -42 м (Зубаков и др., 1974; Леонтьев и др., 1976; Варущенко и др., 1980; Hoogendoorn et al., 2005). Однако по нашим данным нельзя однозначно отнести этот интервал ко времени дербентской регрессии. По видовому составу диатомовых водорослей он значительно отличается от современных ассоциаций дельтовых проток. Алевитистый состав осадков также не соответствует фациям выдвижения дельты, нахождение которых в разрезе было

бы ожидаемо при столь значительном снижении уровня моря. Возможно, заполнение палеопонижения мангышлакского времени во время второго этапа осадконакопления в скв. Рыбачья было неполным. В таком случае геоморфологическое положение обусловило формирование спокойных гидродинамических обстановок лагуны в палеопонижении во время дербентской регрессии Каспия.

Четвертый этап осадконакопления – 0,2-0,3 м соответствует современной обстановке на шельфе Северного Каспия. Для этого интервала также характерны сравнительно высокие содержания Fe и Ti. В комплексе моллюсков преобладают каспийские слабосоленоватоводные таксоны, характерные для современного Северного Каспия. Сообщество остракод указывает на условия мелководья и содержит многочисленные эвригалинные виды, устойчивые к пониженной солености, отражающие влияние стока реки Волги в этом районе. Появление типичных морских планктонных видов в комплексе диатомей отражает влияние подъема уровня моря и соответствует наиболее поздней трансгрессивной стадии Каспийского моря. По данным изучения колонок на шельфе Северного Каспия, наиболее поздняя трансгрессия датируется в интервале 1519–1719 — 0 кал. л. н. По данным изучения отложений в дельте Волги и Нижнем Поволжье – после дербентской регрессии, т.е. позднее 1550-700 л.н. В другой работе (Чеховская и др., 2018) условия осадконакопления во время этого этапа трансгрессии в близлежащем районе описываются как достаточно стабильные, близкие к современным по глубине моря и солености.



## Глава 5. Палеогеографические события дельты Волги и предельтового пространства

Корреляция событий, реконструированных в изученных разрезах и скважинах, представлена в таблице 12. Выявленные события расположены снизу вверх в хронологическом порядке от самых древних до современных и отделяются друг от друга двойной линией. В столбце «Время» датировки палеогеографических событий, полученные в ходе наших исследований, указаны прямым шрифтом, датировки из опубликованных данных других авторов указаны курсивом. Столбец «Краткое описание этапа» содержит краткое описание реконструкций, полученных автором в ходе данной работы, на основе собственных результатов и сопоставления с опубликованными данными. Таблица содержит две логические части. В первой (нижней) рассматриваются палеогеографические события от раннехвалынского до дербентского времени включительно. Они сопоставляются с палинологическими реконструкциями климатической обстановки и зональной растительности, выполненными Н.С. Болиховской (2011, 2019). Для раннехвалынского этапа также опубликованы подробные палинологические реконструкции (Bolikhovskaya, Makshaev, 2020). Однако точное время формирования исследованной толщи отложений в основании скв. Рыбачья в рамках длительного раннехвалынского этапа остаётся неясным, поэтому для этого этапа сравнение с палинологическими данными не проводилось. Изученные объекты (скважины и разрезы), в которых реконструированы данные события, сгруппированы по местоположению: шельф Северного Каспия и дельта Волги. Объекты из дельты в рамках описания одного события располагаются снизу вверх от самых южных (из нижней части дельты) к северным (из привершинной части). Заливка ячеек обозначает соответствие событий следующим стадиям Каспийского моря:

Регрессивная	Трансгрессивная	Осцилляции (непродолжительный подъём уровня)
--------------	-----------------	--

Вторая часть таблицы (верхняя) содержит более подробные данные об изменениях в дельте за последние  $\approx 200$  лет, основанные на изучении объектов, расположенных в дельте Волги. Они сопоставляются с информацией о стадиях роста дельты и динамике уровня Каспийского моря за последние 200 лет (Колодкин, 1826; Мейснер, 1915; Байдин, 1962; Николаев, 1962; Михайлов, 1993; Нижняя Волга, 2002; Рычагов, 2019). Изученные объекты (скважины и разрезы), в которых реконструированы данные события, сгруппированы по местоположению: нижняя, средняя и привершинная часть дельты. Внутри каждого события эти районы также расположены снизу вверх по географическому положению от самых южных к северным. Заливка ячеек обозначает соответствие событий следующим стадиям Каспийского моря и развития дельты:

Регрессивная, выдвижение дельты	Относительная стабилизация положения дельты
---------------------------------	---

Таблица 12. Основные события голоцена дельты Волги и преддельтового пространства Каспия по изученным данным.

Время	Название скважины или разреза	Интервал керна	Краткое описание этапа	Стадии роста дельты и динамика уровня Каспийского моря за последние 200 лет (по: Колодкин, 1826; Мейснер, 1915; Байдин, 1962; Николаев, 1962; Михайлов, 1993; Нижняя Волга, 2002; Рычагов, 2019)
<i>≈ с 1870-х гг. – н. вр.</i>	<b>Центральная часть дельты</b>			С 1935 г. – относительная стабилизация положения нижней границы дельты. Подъём уровня моря в 1978-1996 гг. не оказывает существенного влияния на очертания морского края дельты. Продолжается прирост территории дельты за счёт стока наносов.
	С1	0,4-0 м	Слабопроточные условия, переход к субэвральным обстановкам межбугровых понижений.	
<i>≈ с 1970-х гг. – н. вр.</i>	ББ9	0,5-0,2 м	Обстановки мелких эфемерных протоков на поверхности дельтовой равнины.	
<i>≈ с 1935 г. – н. вр.</i>	<b>Нижняя часть дельты</b>			

	разрез 2	60-0 см	Слабопроточные условия, малая глубина водотока, стабилизация условий осадконакопления, постепенный переход к современным обстановкам старичного понижения.	
<i>≈ с 1927-1977 гг.</i>	<b>Нижняя часть дельты</b>			Резкое снижение уровня моря с -26,5 м до -29 м, морской край дельты располагается южнее разреза 2.
	разрез 1	25-0 см	Устьевая часть дельтовой протоки, выдвижение дельты в связи со снижением уровня Каспия, переход к обстановкам мелких протоков на поверхности дельтовой равнины.	
	разрез 2	60 см	Условия дельтовой протоки, выдвижение дельты в связи со снижением уровня Каспия.	
<i>≈ 1900-1927 г.</i>	<b>Нижняя часть дельты</b>			Постепенное снижение уровня моря с некоторыми осцилляциями, к 1914 г. – уменьшение водности протоки вблизи разреза 1.
	разрез 1	30-25 см	Слабопроточные условия, близкие к авандельтовым, малая глубина водотока.	

<i>≈ до 1927 г.</i>	разрез 2	75-65 см	Слабопроточные условия.	Нач. XIX – нач. XX вв. – современная территория вблизи разреза 2 располагалась в авандельте.
<i>≈ 1807-1870 гг.</i>	<b>Центральная часть дельты</b>			Около 1809-1816 гг. вблизи левобережья р. Болда (скв. ББ9) фиксируется залив Ильмень Кабанкуль, основной сток концентрируется к западу от залива (скв. С1). Наиболее активное выдвижение дельты также происходит в западном секторе. Нарастание дельты в восточном секторе относится к 1853 г.
	С1	0,6-0,4 м	Переходные обстановки от дельтовой протоки к слабопроточным условиям.	
<i>≈ с 1853 г.</i>	ББ9	1,15-0,5 м	Слабопроточные условия ильменей, рост дельты.	

<i>≈ 1810-1853 гг.</i>	<b>Нижняя часть дельты</b>			Начало активного прироста дельты в этом районе на фоне снижения уровня Каспия.
	разрез 1	35 см	Условия дельтовой протоки, малая глубина, активный рост дельты.	
<i>≈ до 1810 г.</i>	<b>Нижняя часть дельты</b>			Период до активного выдвигания дельты в начале XIX в., граница акватории Северного Каспия в период 1809-1814 гг. располагалась немного южнее разреза 1.
	разрез 1	95-35 см	Слабопроточные условия вблизи авандельты с двумя эпизодами обмеления водотока.	
<b>Время</b>	<b>Название скважины или разреза</b>	<b>Интервал керна</b>	<b>Краткое описание этапа</b>	<b>Климатические характеристики; зональная растительность (по: Болиховская, 2011, 2019)</b>
<i>≈ 700-800 л.н – н.вр.</i>	<b>Шельф Северного Каспия</b>			Кратковременная стадия потепления и увлажнения климата; полупустыни.
	Рыбачья	0,2-0,3 м	Условия, близкие к современной обстановке на шельфе Северного Каспия, на составе сообщества остракод отражается влияние стока реки Волги. Наиболее поздняя трансгрессивная стадия Каспийского моря.	

Дербентское (? Рисунок 143)	Дельта Волги				Аридизация климата; степи и сухие степи, переход к полупустыням в конце периода. Кратковременный эпизод потепления и увлажнения 1270-1030 кал. л.н., вероятно, отразившийся в непродолжительных подъёмах уровня моря.
	Роу-2016	4,20-2,50 м	Глубокая регрессия моря; аллювиальное осадконакопление при крайне высоких скоростях седиментации.		
	С1	1,6-0,6 м	Глубокая регрессия моря; циклический переход: обстановки дельтовых протоков – высокоэнергетические обстановки (интенсивное врезание водотоков?) – обстановки дельтовых протоков. Осцилляции, выделенные на основе археологических данных.	1400-1300 л.н.	
				1200-950 л.н.	
				950-1000 л.н.	
	ББ9	1,80-1,15 м	Глубокая регрессия моря; переходные условия от ильменей к дельтовым протокам. Осцилляции, выделенные на основе археологических данных.	1400-1300 л.н.	
				1200-950 л.н.	
				950-1000 л.н.	
	DM-1	1,9-0,9 м	Глубокая регрессия моря; обстановки дельтовой протоки, высокая скорость осадконакопления.		



	<b>Шельф Северного Каспия</b>			
	Рыбачья	0,8-0,3 м	Условия солоноватоводной лагуны; формирование спокойных гидродинамических обстановок в палеопонижении.	
<b>Около 2600 кал. л.н. – 1559±43 кал. л. н.</b> (уллучаевская стадия новокаспийской трансгрессии? (Рисунок 141))	<b>Дельта Волги</b>			Многократная смена климатических условий, что особенно отражается на кривой колебания влагообеспеченности; степные ландшафты сменяются полупустынными.
	Рой-2016	4,65-4,20 м	Повышение уровня моря (нестабильное, частые осцилляции). Частая смена условий от типичных дельтовых проток до более застойных обстановок.	
	С1	4,2-1,6 м	Повышение уровня моря, господство ильменных и слабопроточных обстановок	
	ББ9	5,7-1,8 м	Повышение уровня моря, ильменные и слабопроточные обстановки.	
	DM-1	2,6-2,4 м	Обстановки ильменя, обособление которого происходило на фоне отступления уровня моря после трансгрессивной стадии (Рисунок 142).	

4924±60 кал. л.н. – около 2600 кал. л. (Рисунок 140)	Дельта Волги			Два длительных этапа роста влагообеспеченности в суббореальном периоде. Преобладание лесостепей (с хвойно-широколиственными лесами – во время среднесуббореального оптимума). Кратковременные этапы аридизации: 4040-3700 кал. л. н. – с развитием зональной растительности сухих степей и полупустынь и 2780-2600 кал. л. н. – господство степной растительности с дубовыми и мелколиственными лесами.
	Рой-2016	10,0-4,65 м	Обстановки дельтовой протоки.	
	DM-1	5,1-2,6 м	Повышение уровня моря; обстановки распреснённой лагуны и постепенного обособления ильменя.	
5600 кал. л.н. (Рисунок 139)	Дельта Волги			Похолодание и аридизация; лесостепи, сокращение роли широколиственных лесов
	DM-1	5,7-5,1 м	Более низкое стояние уровня моря относительно современного положения; условия пересыхающего мелкого водоёма в межгрядовом понижении.	

	<b>Шельф Северного Каспия</b>			
	Zb-1	3,5-3,6 м	Сильно опреснённая мелкая лагуна, предположительно, во внутренней части аккумулятивных островов на шельфе Северного Каспия.	
<b>Ранненовокаспийское</b> (около 8070±110 кал. л.н. – 7020±140 кал. л.н.)	<b>Дельта Волги</b>			
	Роу-2016	12,5-10,0 м	Обстановка зарастающей дельтовой протоки.	Тепло и относительно сухо (8240-6970 кал. л.н.); степи с хвойно-широколиственными и пойменными лесами
	<b>Шельф Северного Каспия</b>			
	Рыбачья	2,99-1,20 м	Повышение уровня моря, заполнение палеопонижения на фоне длительного потепления и увлажнения. Пресный или слегка солоноватоводный водоем (динамичность соленостных условий); в целом переход от более спокойных обстановок к более динамичным (Рисунок 138).	
<b>9350-8900 кал. л.н.</b>	<b>Шельф Северного Каспия</b>			Непродолжительное похолодание и усиление континентализации климата; степи, сокращение роли широколиственных древостоев
	Рыбачья	3,54–2,99 м	Отступление моря во время осцилляции его уровня. Изоляция палеопонижения. Условия небольшого многолетнего пресного водоема с этапом незначительного повышения солёности. В целом обстановки более мелководные и	

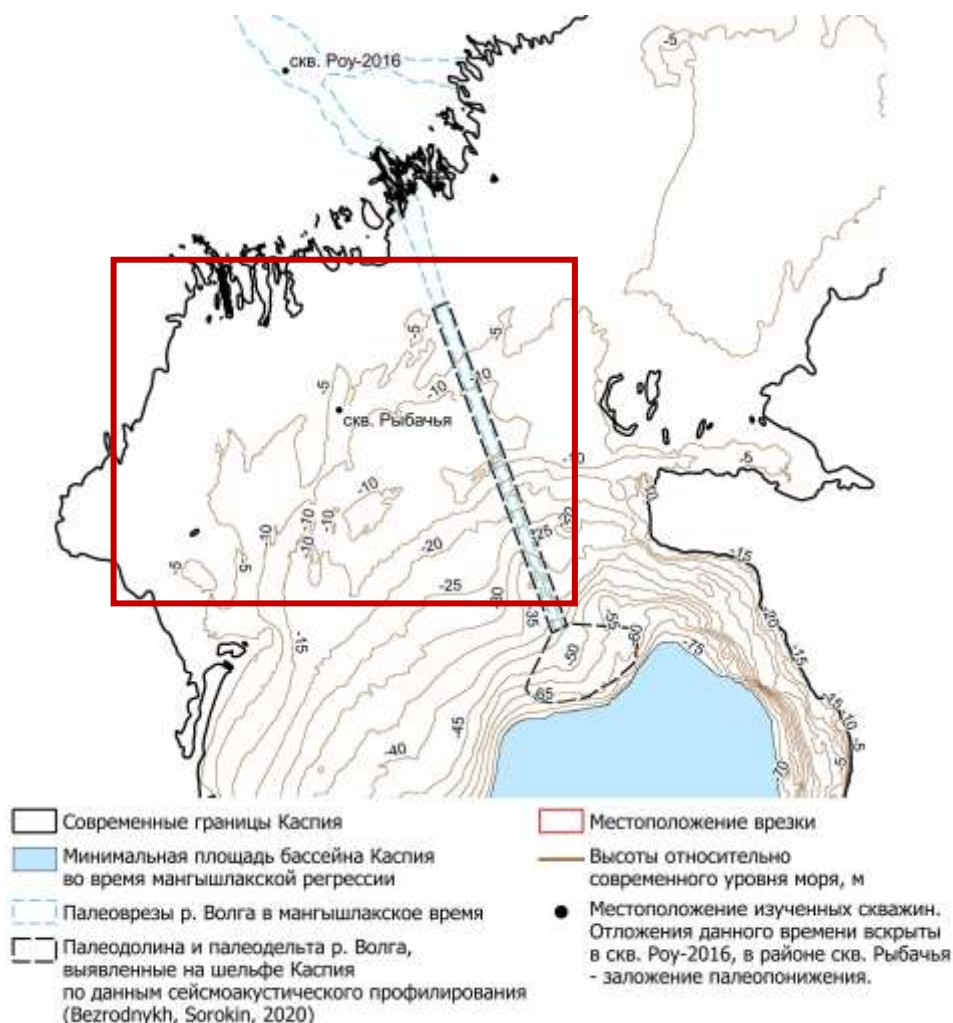
			более пресные, чем на шельфе современного Северного Каспия.	
<b>Мангышлакское,</b> <i>10250-9500 кал. л.н. (Рисунок 137)</i>	<b>Дельта Волги</b>			Похолодание и континентализация климата; степи с участками елово-соснового редколесья
	Рой-2016	15,0-12,5 м	Размыв верхнехвалынских (?) аллювиальных песков, интенсивное врезание водотоков, обстановки дельтовой протоки, высокая скорость седиментации.	
	<b>Шельф Северного Каспия</b>			
	Рыбачья	Стратиграфический перерыв	Активное эоловое перевезание морских и аллювиальных отложений во время глубокой мангышлакской регрессии, формирование бэровских бугров и разделяющих их палеопонижений,	
<b>Раннехвалынское</b>	<b>Шельф Северного Каспия</b>			—
	Рыбачья	9,5-3,7 м	Трансгрессионный этап раннехвалынского бассейна. Бассейн с большей глубиной и меньшей солёностью, чем современный Северный Каспий. Высокоэнергетическая среда осадконакопления, прибрежные фации.	

Обобщения по локальным и региональным ландшафтно-климатическим сигналам в отложениях изученных объектов можно представить следующим образом:

1) Отложения, сформировавшиеся под влиянием локальных условий, вскрыты в разрезах 1 и 2 (район Дамчикского участка Астраханского заповедника), в интервале 0,6-0 м скв. С1 (с. Бараний Бугор), в интервале 1,15-0 м скв. ББ9 (с. Бараний Бугор), в интервале 1,4-0 м в скв. Роу-2016 (пос. Пойменный) и в интервале 0,9-0 м в скв. ДМ-1 (пос. Дамчик).

2) Региональные события, с поправкой на особенности осадконакопления ввиду геоморфологического положения участков, отражаются в отложениях, вскрытых в интервале 4,2-0,6 м скв. С1 (с. Бараний Бугор), в интервале 5,7-1,15 м скв. ББ9 (с. Бараний Бугор), в интервале 15,0-1,4 м скв. Роу-2016 (пос. Пойменный), в интервале 5,7-0,9 м скв. ДМ-1 (пос. Дамчик), в скв. Рыбачья (юго-западный участок шельфа Северного Каспия) и скв. Zb-1 (северо-восточный участок шельфа Северного Каспия).

а)



б)

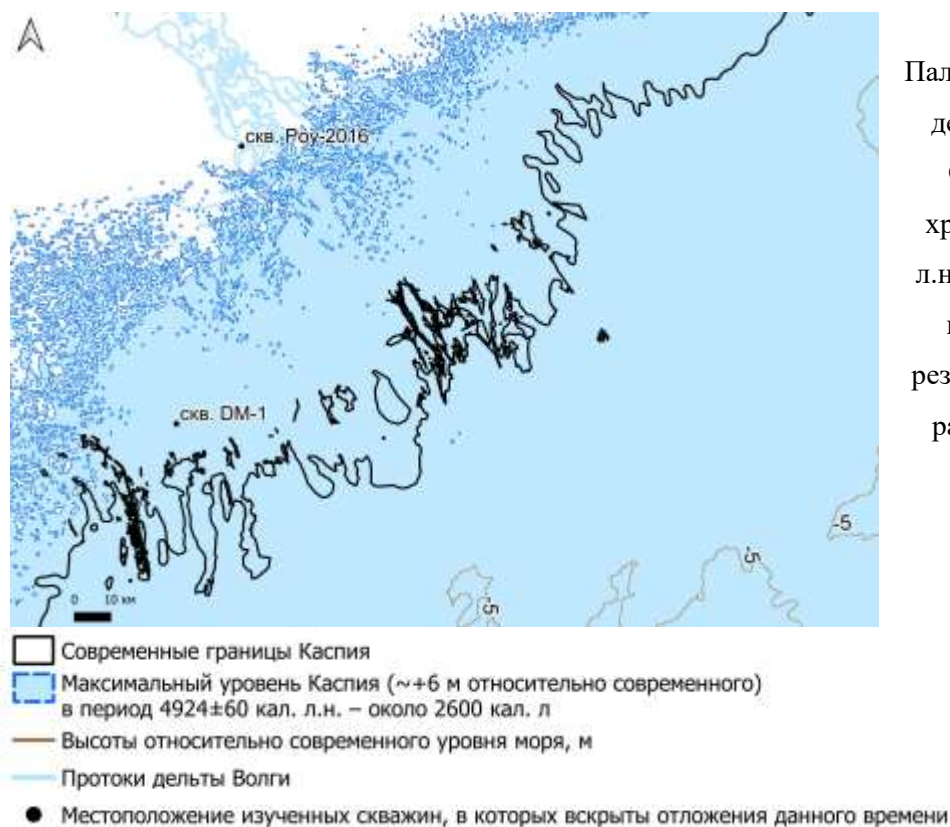


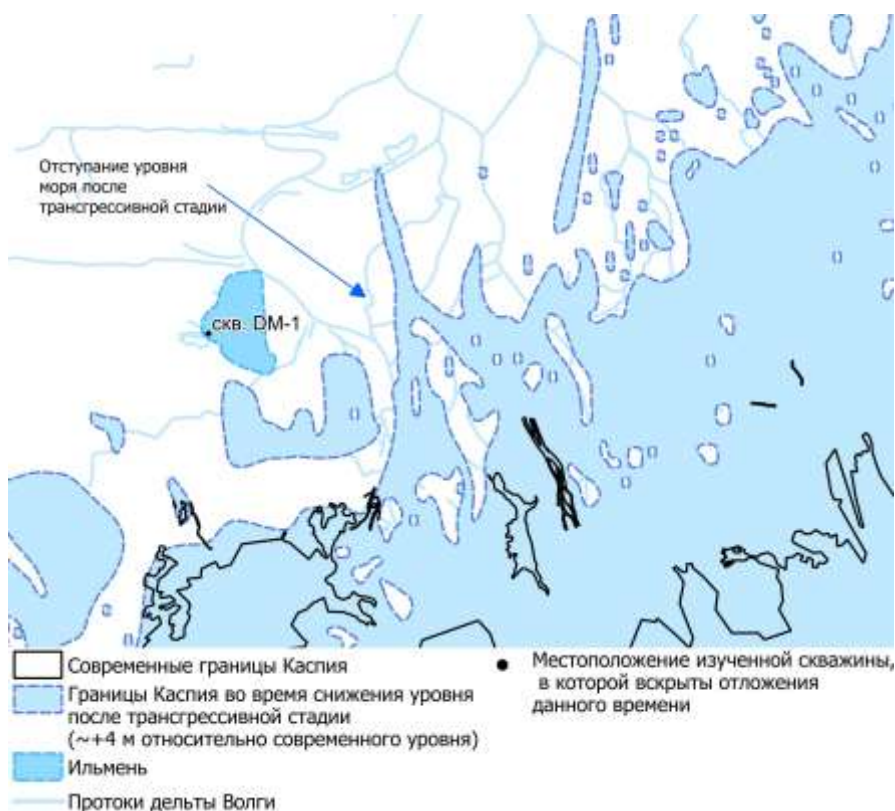
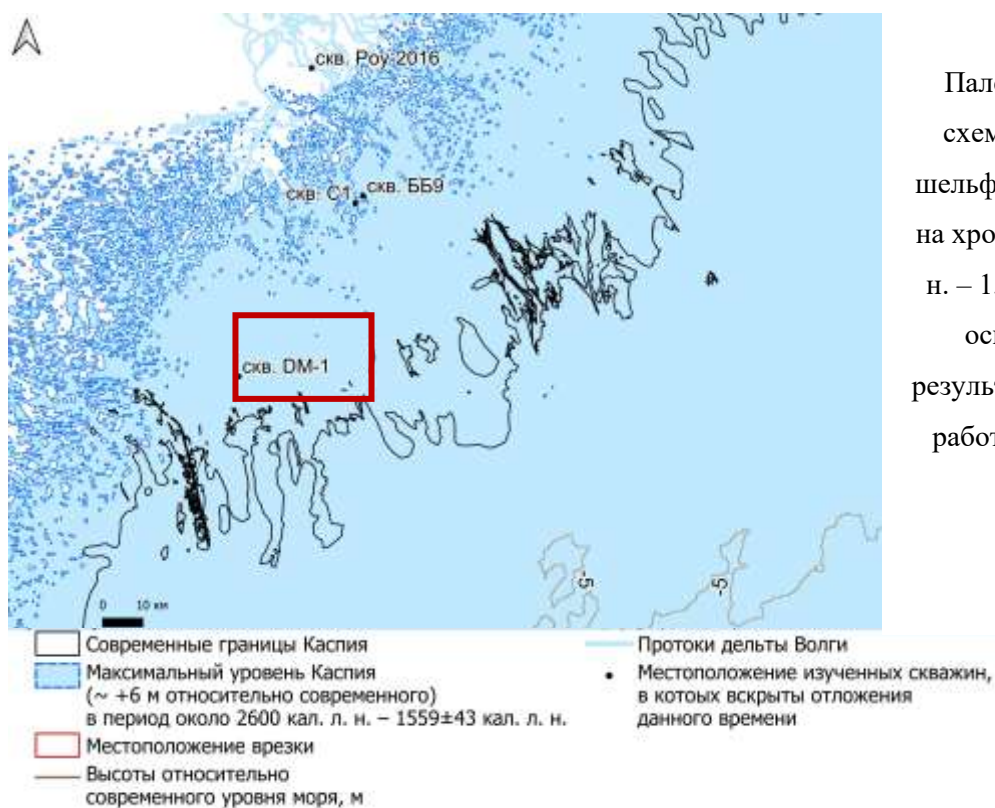
Рисунок 137. Палеогеографическая схема дельты Волги и шельфа Северного Каспия на хроносрез мангышлакской регрессии в начале голоцена на основе обобщения результатов, полученных в работе, и литературных данных: а) для всего района, б) для участка в районе скв. Рыбачья на врезке.

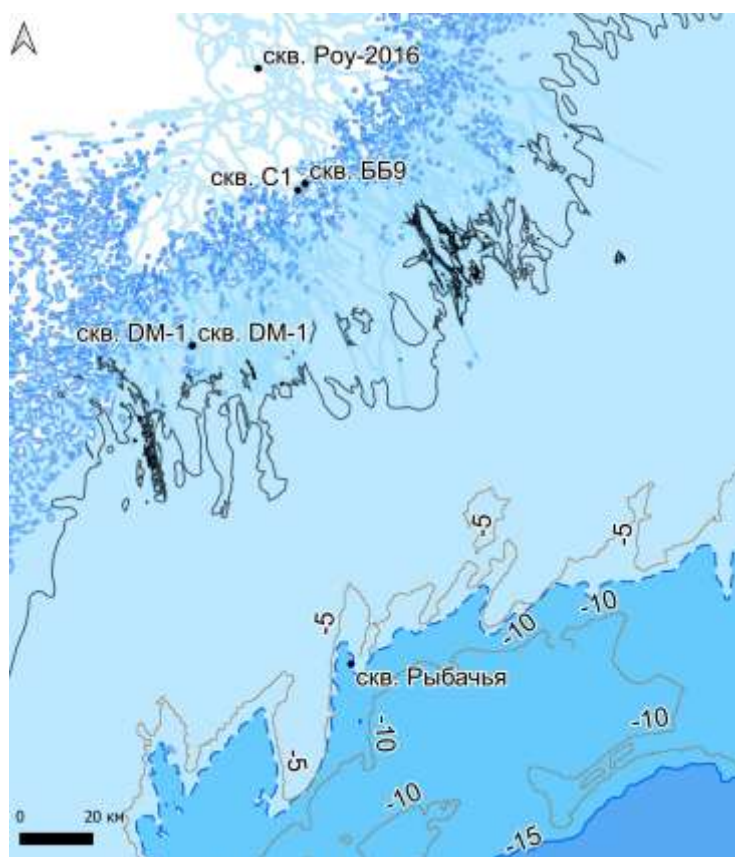


Рисунок 138. Палеогеографическая схема на хроносрез ранненовокаспийской трансгрессии для района скв. Рыбачья на основе обобщения результатов, полученных в работе, и литературных данных. Местоположение врезки – см. Рисунок 137, а).









- Современные границы Каспия
- Уровень Каспия во время осцилляций в VI-VII и во второй половине X в.
- Уровень Каспия на момент формирования лагунных отложений в скв. Рыбачья (~ -6 м относительно современного уровня)
- Минимальная площадь бассейна Каспия во время дербентской регрессии (~ -13 м относительно современного уровня)
- Высоты относительно современного уровня моря, м
- Протоки дельты Волги
- Местоположение изученных скважин, в которых вскрыты отложения данного времени

Рисунок 143. Палеогеографическая схема дельты Волги и шельфа Северного Каспия на хроносрез дербентской регрессии на основе обобщения результатов, полученных в работе, и литературных данных.

## Заключение

Цель диссертационной работы – реконструкция условий развития дельты Волги в голоцене на основе диатомового анализа. Для её достижения в ходе работы решены основные задачи и получены следующие выводы:

1. Развитие привершинной дельты в голоцене, начиная со времени мангышлакской регрессии, происходило по большей части под влиянием пресноводных условий дельтовых протоков. Поздний этап развития привершинной дельты начался приблизительно 700 л. н. и отличается более спокойной гидродинамической обстановкой: выявлены условия озёровидного водоёма в дельте – ильмена, которые ближе к современности сменились обстановками временного водоёма в пойме реки – полоя.

2. Палеогеографические условия развития центральной дельты реконструированы для временного интервала поздний голоцен – настоящее время. Во время уллучаевской трансгрессивной стадии Каспия в центральной дельте господствовали ильменные и слабопроточные условия. В период дербентской регрессии на более возвышенных участках дельты вблизи бэровских бугров формировались высокоэнергетические условия за счёт врезания водотоков. На пониженных участках господствовали переходные условия от ильменей к дельтовым протокам. Этап дербентской регрессии детализирован с привлечением комплекса методов, в том числе – археологических. В период VI-VII в. имел место подъём уровня моря и затопление центральной части дельты, в VIII-нач. X вв. уровень моря находился в регрессивной фазе, сменившейся второй фазой трансгрессии во второй половине X в. Тем самым наши результаты детализировали существующие реконструкции одной трансгрессивной фазы на основе палинологического анализа в интервале 1270-1030 кал. л.н. и выделили регрессивную фазу Каспия внутри данного этапа. За последние 200 лет развитие западного и восточного секторов центральной дельты происходило метакронно. В начале XIX в. отмечалось наиболее интенсивное выдвижение дельты в западном секторе, в восточном секторе её активный рост начался с некоторым запозданием – с 1853 г., в результате перераспределения стока в основных рукавах дельты.

3. При реконструкции палеогеографических условий в центральной дельте применение диатомового анализа для изучения бугровых толщ нецелесообразно ввиду отсутствия в них остатков диатомовой флоры, вероятно, по причине их плохой сохранности. Более перспективным является изучение межбугровых отложений.

4. Нижняя дельта, в пределах изученной территории, несмотря на близость к Каспию, согласно результатам диатомового анализа, в последние 5600 лет развивалась в пресноводных условиях. До 1559±43 кал. л. н. снижение уровня моря способствовало



возникновению условий пресных водоёмов – ильменей, которые пересыхали при усилении аридизации климата. Повышения уровня Каспия в интервале от  $4924 \pm 60$  кал. л.н. до приблизительно 2600 кал. л. н. привели к господству условий распреснённых лагун. Активное выдвижение нижней дельты связано с дербентской регрессией Каспия. На позднем этапе, близком к современности, данная территория развивалась в полойных условиях.

5. Фазы развития отдельных участков нижней дельты за последние 200 лет, детально установленные по результатам изучения расположенных на них естественных разрезов, отражают в первую очередь влияние локальных условий, прежде всего их геоморфологическое положение и близость к внешней границе дельты. В старичном понижении на расстоянии 55 км от современной внешней границы дельты приблизительно до 1927 г. господствовали слабопроточные условия. Фаза выдвижения дельты связана с падением уровня Каспия после 1927 г., после чего следовала относительная стабилизация слабопроточных условий, близких к современным. На участке поймы в 70 км от современной внешней границы дельты примерно до 1810 г. господствовали слабопроточные условия, ввиду близости авандельты. При понижении уровня моря происходило изменение конфигурации протоки, фазы развития этого участка представляют собой различные фациальные обстановки дельтовой протоки.

6. Условия развития юго-западного участка шельфа Северного Каспия реконструированы во временном интервале от мангышлакской регрессии до современности. В мангышлакское время при выдвижении дельты размыты более ранние верхнехвалынские отложения и, в результате активного эолового перевевания морских и аллювиальных осадков, на поверхности шельфа заложены бэровские бугры, разделённые понижениями. До  $7020 \pm 140$  –  $8070 \pm 110$  кал. л. н. в ходе нескольких осцилляций новокаспийской трансгрессии происходило заполнение палеопонижений в квазициклических условиях распреснённого/солонатоводного бассейна и авандельты. На поздних этапах развития участка в палеопонижении (предположительно, во время дербентской регрессии) господствовали спокойные гидродинамические условия солонатоводной лагуны. Заключительный этап развития данной территории – морской бассейн, близкий к современному.

7. В голоценовой истории северо-восточного участка шельфа по результатам диатомового анализа удалось выделить лишь один из этапов его развития – условия распреснённой мелководной лагуны во внутренней части аккумулятивных островов, соотносимый с одним из регрессивных эпизодов в ходе новокаспийской трансгрессии. Поздний этап развития представляет собой морской бассейн, близкий к современному.

8. Результаты диатомового анализа показали, что для территории дельты Волги и прилегающего преддельтового пространства виды родов *Epithemia* и *Eunotia* являются типичными для условий замкнутых пресных водоёмов (ильменей) в дельте и распреснённых лагун на шельфе Северного Каспия, существование которых подтверждается комплексом методов. Наиболее поздние этапы развития привершинной и нижней дельты имеют наибольшие отличия по составу диатомовых ассоциаций от обстановок изученных современных водоёмов, так как отвечают субаэральным условиям. Характерными видами для них служат *Hantzschia amphioxys* и *Craticula cuspidata*. Планктонные виды диатомовых водорослей *Aulacoseira granulata*, *Aulacoseira ambigua*, *Stephanodiscus minutulus* являются типичными для условий осадконакопления в руслах дельтовых протоков для данной территории.

9. Наиболее массовые и широко распространённые виды диатомей в изученных водных объектах Дамчикского участка (р. Быстрая, ер. Лотосный, ер. Дубной, протока Мартышка, култук Сазаний и безымянная протока в устье р. Быстрая) – *Aulacoseira granulata*, *Aulacoseira ambigua*, *Stephanodiscus minutulus*. Видовой состав в большей степени находится под влиянием волжских вод, преобладает планктон. Протока Грязнуха отличается иным составом доминант, но также типичных для р. Волги: *Cocconeis placentula*, *C. pediculus*, в ней доминируют бентос и эпифиты. Согласно результатам диатомового анализа, с привлечением метода главных компонент, наиболее существенным фактором формирования диатомовых ассоциаций поверхностного слоя донных отложений на территории Дамчикского участка является глубина водотоков.

10. Для изученного материала методы неметрического многомерного шкалирования и главных компонент позволяют в общих чертах получить наглядные представления о различиях видового состава современных и палеообстановок осадконакопления, а также диатомовых ассоциаций из различных диатомовых зон. Однако методы не учитывают малочисленные таксоны, экология которых может значительно отличаться от доминирующих видов и вносить корректировки в интерпретации условий развития водоёмов. Наиболее важную роль для статистических анализов играет частота встречаемости видов диатомей во всех образцах и распределение схожих таксонов в рамках одного образца, ввиду чего образцы из различных условий могут отображаться как близкие по видовому составу и наоборот, резкое увеличение численности одного вида в рамках одной обстановки (вследствие влияния локальных условий) способствует усилению статистических отличий. Таким образом, для корректных палеоэкологических реконструкций данные методы следует применять как вспомогательные.



## Список литературы

1. Абдуллаев Х.Т., Курочкина Т.Ф., Исуев А.Р. Качественные показатели водорослей водоёмов дельты Волги // Вестник ДГУ. 2004. Вып. 1. С. 44-47.
2. Айбулатов Д.Н. Гидролого-морфологические процессы в дельте Волги: автореферат диссертации ... кандидата географических наук 25.00.25. М., 2001. 27 с.
3. Алекин О.А. Основы гидрохимии. / отв. ред. П.П. Воронков. Ленинград: Гидрометеорол. изд-во, 1953. 296 с.
4. Алексеевский Н.И., Айбулатов Д.Н. Динамика гидрографической сети и морского края дельты Волги с 1800 по 2010 гг. // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2011. № 2. С. 96-102.
5. Алескеров Б. Д. Палеогеография Азербайджана в плейстоцене. Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. Баку: Ин-т географии АН АзССР, 1990. 49 с.
6. Ардабьева А. Г. Влияние повышения уровня моря на фитопланктон Северного Каспия. Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 11.00.11. Астрахань: 2000. 22 с.
7. Астафьева М. М., Розанов А. Ю., Хувер Р. Фрамбоиды: их структура и происхождение // Палеонтологический журнал. 2005. № 5. С. 1–7.
8. Астраханский заповедник / Русаков Г.В., Конечный А.Г., Корсова А.А. и др. // Под ред. Кривоносова Г.А., Русакова Г.В. М.: ВО «Агропромиздат», 1991. 191 с.
9. Астраханский карбонатный массив: Строение и нефтегазоносность / Под ред. Воложа Ю.А., Парасыны В.С. М.: Научный мир, 2008. 221 с.
10. Атлас дельты Волги: геоморфология, русловая и береговая морфодинамика / Отв.ред. Коротаев В.Н., Рычагов Г.И., Римский Корсаков Н.А. М.: Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова и Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2015. 128 с.
11. Бадюкова Е. Н. Возраст хвалынских трансгрессий Каспийского моря // Океанология. 2007. Т. 47. №. 3. С. 432-438.
12. Бадюкова Е.Н. История развития Северного Прикаспия и дельты Волги. // Океанология. 2010. Т. 50. № 6. С. 1002–1009.
13. Бадюкова Е. Н. История колебаний уровня Каспия в плейстоцене (была ли Великая хвалынская трансгрессия?). // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 2015. Т. 74. С. 111–120.
14. Байдин С.С. Сток и уровни дельты Волги. М.: Гидрометеиздат, 1962. 338 с.
15. Байдин С.С. Процессы дельтообразования и гидрографическая сеть дельты Волги // Тр. ГОИН. 1959. Вып. 45. С. 5-51.

16. Байдин С.С., Линберг Ф.Н., Самойлов И.В. Гидрология дельты Волги. Л.: Гидрометеиздат, 1956. 331 с.
17. Балинский К.А. Труды Отдела торговых портов. Вып. 32: Устья Волги и Астраханский морской канал. СПб: Типо-литография Г. де Кельш, 1914. 276 с.
18. Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель Авив: PiliesStudio, 2006. 498 с.
19. Безродных Ю.П., Делия С.В., Романюк Б.Ф., Сорокин В.М., Янина Т.А. Новые данные по стратиграфии верхнечетвертичных отложений Северного Каспия. // Докл. акад. наук. 2015. Т. 462. № 1. С. 95–99. DOI:10.7868/S0869565215130162
20. Безродных Ю.П., Делия С.В., Романюк Б.Ф., Федоров В.И., Сорокин В.М., Лукша В.Л. Мангышлакские отложения (голоцен) Северного Каспия. // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2014. Т. 22, №4, С. 88-108. DOI: 10.7868/S0869592X14040036.
21. Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф., Делия С.В., Магомедов Р.Д., Сорокин В.М., Парунин О.Б., Бабак Е.В. Биостратиграфия, строение верхнечетвертичных отложений и некоторые черты палеогеографии Северного Каспия // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2004. Т. 12. № 1. С. 114–124.
22. Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф., Сорокин В.М., Янина Т.А. Первые данные о радиоуглеродном возрасте ательских отложений Северного Каспия. // Доклады Академии наук. 2017. Т. 473. № 3. С. 327–330.
23. Белевич Е.Ф. Геоморфологическая характеристика авандельты реки Волги // Тр. Астраханского заповедника. 1965. Вып. 10. С. 81-103.
24. Белевич Е.Ф. Колебания уровня Каспия и развитие авандельты Волги // Геолого-геоморфологич. исследования Каспийского моря. М.: Наука, 1983. С. 55-65.
25. Бреховских В. Ф., Бухарицин П.П., Волкова З.В., Лабунская Е.Н. Экологические проблемы западных подступных ильменей дельты р. Волги // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16. №. 43. С. 34–48.
26. Бреховских В. Ф., Волкова З. В., Савенко А. В. Высшая водная растительность и накопительные процессы в дельте р. Волги // Аридные экосистемы. 2009. Т. 15. №. 39. С. 34-45.
27. Болгов М.В., Красножон, Г.Ф., Любушин, А.А. Каспийское море: экстремальные гидрологические события. М.: Наука, 2007. 381 с.
28. Болиховская Н. С. Палиноиндикация изменения ландшафтов Нижнего Поволжья в последние десять тысяч лет // Вопросы геологии и геоморфологии Каспийского моря. М.: Наука 1990. С. 52-68.

29. Болиховская Н.С. Эволюция климата и ландшафтов Нижнего Поволжья в голоцене. // Вестник Московского университета. 2011. Т. 5, № 2. С. 13-27.
30. Болиховская Н.С. Изменение климата, ландшафтов и растительности Нижней Волги в голоцене. В кн.: Дельта Волги. Ред. Т.А. Янина. М.: Географический ф-т МГУ, ООО «Красногорская типография», 2019. С. 81-108.
31. Болиховская Н.С., Касимов Н.С. Ландшафтно-климатические изменения на территории Нижней Волги последние 10 тысяч лет // Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. Том 2. Под ред. Болиховской Н.С. и Каплина. П.А. М.: Изд. Географического ф-та МГУ. 2008. С. 99-117.
32. Броцкий Ю.З., Карандеева М.В. Развитие Западного Прикаспия в четвертичное время. // Вестник Московского университета. Серия физико-математических и естественных наук. 1953. Вып. 1. № 2. С. 139–146.
33. Бухарицин П.И, Лабунская Е.Н. Фитопланктон низовьев Волги и северной части Каспийского моря. М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2023. 336 с.
34. Быстрова И.В., Смирнова Т.С., Бычкова Д.А., Мелихов М.С. Особенности палеотектонического развития Астраханского свода и перспективы нефтегазоносности западной части Прикаспийской впадины // Геология, география и глобальная энергия. 2017. №. 3. С. 77-86.
35. Валов М. В., Колотухин А.Ю., Бармин А.Н., Зимовец П.А., Занозин В.В. Оценка режимов природной тепло- и влагообеспеченности дельты реки Волги // Учёные записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2021. Т. 7 (73), №1. С. 212-225.
36. Варущенко С.И., Варущенко А.Н., Клиге Р.К. Изменения режима Каспийского моря и бессточных водоемов в палеовремени. М.: Наука, 1987. 240 с.
37. Варущенко А. Н., Варущенко С. И., Клиге Р. К. Изменение уровня Каспийского моря в позднем плейстоцене-голоцене // Колебания увлажненности Арало-Каспийского региона в голоцене. М., 1980. 236 с.
38. Вишневская И.И. Темноцветные минералы различных магматических пород и сравнительная характеристика их оптических свойств. М.: Изд. МГРИ, 1982. 44 с.
39. Вознесенский А.В. Изменения уровня Каспийского моря. // Природа. 1927. №10. С. 774-786.
40. Волга и её жизнь. / Гл. ред. Буторин Н. В., отв. ред. Мордухай-Болтовской Ф. Д. // Л.: Наука, 1978. 348 с.

41. Волошко Л. Н. Разнообразие микроводорослей в Нижней Волге в первое десятилетие после зарегулирования стока у г. Волгограда // Астраханский вестник экологического образования. 2015. №. 4 (34). С. 89-92.
42. Генкал С. И. Атлас диатомовых водорослей планктона реки Волги. СПб: Гидрометеиздат, 1992. 128 с.
43. Геоинформационная система Астраханского биосферного заповедника / Н.С. Касимов, де Леу Я., Е. А. Балдина и др. // Гл. ред. Н.С. Касимов. М.: Географический ф-т МГУ, 1999. С. 11-18.
44. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 06. Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. // СПб: Гидрометеиздат, 1992. 360 с.
45. Горбунов К.В. Водоемы дельты Волги, их облик, режим и эволюция // Волга 1 проблемы изучения и рационального использования биологических ресурсов водоемов // Материалы первой конференции по изучению водоемов бассейна Волги. Куйбышев: Куйбышевское книжное издательство, 1971. с. 74-81.
46. Горбунов К. В. Влияние зарегулирования Волги на биологические процессы в ее дельте и биосток. М.: Наука, 1976. 218 с.
47. Горбунова Ю.А. Продуктивность фитопланктона дельты Волги: автореферат ... кандидата биологических наук: 03.00.18 / Горбунова Юлия Александровна. Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН. Борок, 2005.
48. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1000000 (Третье поколение). Серия Скифская. Лист L-39. / Под ред. В.А. Снежко. СПб.: ВСЕГЕИ, 2021.
49. Гусяков Н.Е., О.А. Закордонец, В.П. Герасимюк. Атлас диатомовых водорослей бентоса северо-западной части Чёрного моря и прилегающих водоёмов. Киев: Наукова думка, 1992. 112 с.
50. Гурарий Г.З. Некоторые данные о характеристиках геомагнитного поля на границе хронов Гаусс и Матуяма (разрез Пирнуар, Зап. Туркмения) // Физика Земли. 2015. №5. С. 42-65.
51. Гурарий Г.З., Трубихин В.М. Стратиграфия и палеомагнетизм верхнего плиоцена Западного Копет-Дага // Палеомагнитный анализ при изучении четвертичных отложений и вулканитов. М.: Наука. 1973. С. 14–22.
52. Гурарий Г. З., Трубихин В. М., Ушко К. А. Стратиграфическое положение палеомагнитной границы Матуяма–Брюнес в разрезах Западной Туркмении и Азербайджана. В сб.: Главное геомагнитное поле и проблемы палеомагнетизма: I Всесоюзный съезд: тезисы докладов. Ч. 3: Палеомагнетизм. М.: Наука, 1976. С. 38.

53. Дельта Волги. Эволюция природной среды в условиях изменений климата / Янина Т.А., Болиховская Н.С., Полякова Е.И., Свиточ А.А., Бадюкова Е.Н., Макшаев Р.Р., Лобачева Д.М., Штыркова Е.И. // Ред. Янина Т.А. М.: Географический ф-т МГУ, ООО «Красногорская типография», 2019. 168 с.
54. Демина Л. Л. Будько Д.Ф., Политова Н.В., Алексеева Т.Н., Новичкова Е.А., Соломатина А.С., Алиев Р.А. Геохимические фракции и индикаторы условий осадконакопления в Баренцевом море. В кн.: Система Баренцева моря. Отв. ред. академик РАН А.П. Лисицын. М.: 2021. с. 431-444.
55. Джиноридзе Р.Н. Диатомовые водоросли из донных осадков Белого моря в связи с его историей в голоцене: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ботанический институт им. В.Л. Комарова Академии наук СССР. Л., 1971. 23 с.
56. Диатомовые водоросли России и сопредельных стран: ископаемые и современные. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2002. Т. II, вып. 3. 112 с.
57. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные) (под ред. Глезер З.И., Жузе А.П., Макаровой И.В. и др. // Том 1. Л.: Наука. 1974, 403 с.
58. Дир У.А., Зусман Дж., Хауи Р.А. Пороодообразующие минералы. Том 2. Цепочечные силикаты. М.: Изд-во «МИР», 1965. 406 с.
59. Дир У.А., Зусман Дж., Хауи Р.А. Пороодообразующие минералы. Том 3. Листовые силикаты. М.: Изд-во «МИР», 1966. 318 с.
60. Доброхотов В.И. Астраханский государственный заповедник. М.: типография «Гудок», 1940. 154 с.
61. Дриц А.В, Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Карманов В А., Новигатский А.Н. Потоки осадочного вещества в Лофотенской котловине Норвежского моря: сезонная динамика и роль зоопланктона // Океанология. 2020. Т. 60. №. 4. С. 576-594.
62. Егорова Д. К., Тимовкин С. Н. 2018. Реализация метода главных компонент в вычислительной среде R // Огарёв-Online. №. 1. С. 1-8.
63. Еламская, К. С. Особенности геологического строения продуктивной залежи Астраханского газоконденсатного месторождения // Науки о Земле: вчера, сегодня, завтра: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2017 г.). Санкт-Петербург: Свое издательство, 2017. С. 12-15.
64. Жаковщикова Т.К. Диатомовые водоросли в колонках донных отложений Каспийского моря // Докл. АН СССР, 1970. Том 190. №4. С. 915-918.
65. Жаковщикова Т.К. Диатомеи из четвертичных отложений Среднего и Южного Каспия // Микропалеонтология океанов и морей. М.: Наука, 1974. С. 179-186.

66. Жузе А.П. Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана. М.: Изд. АН СССР, 1962. 29 с.
67. Жузе А.П. Диатомеи в осадках плейстоценового и позднеплиоценового возраста бореальной области Тихого океана // Основные проблемы микропалеонтологии и органогенного осадконакопления в океанах и морях. М.: Наука, 1969. С. 5-27.
68. Жузе А.П., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Диатомовый анализ. Кн. 1. – Москва-Ленинград: Государственное издательство геологической литературы, 1949. 239 с.
69. Жузе А.П., Киселев И.А., Порецкий В.С., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Диатомовый анализ. Кн. 2. Москва-Ленинград: Государственное издательство геологической литературы, 1949. 444 с.
70. Заповедный век: к 100-летию Астраханского государственного природного биосферного заповедника / авт.-сост. Бондарев Д.В., Маркова О.А., Подоляко С.А. Воронеж, 2019. 240 с.
71. Застрожных А.С., Данукалова Г.А., Головачев М.В., Титов В.В., Тесаков А.С., Симакова, А.Н., Курманов Р.Г, Сингильские отложения в схеме квартала Нижневолжского региона: новые данные // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2018. Т. 26. №. 6. С. 80-120.
72. Зубаков В. А. (ред.). Геохронология СССР. Т. 3. Новейший этап. Л.: Недра, 1974. 358 с.
73. Зубаков В.А., Кочегура В.В. Хронология плейстоцена и климатическая стратиграфия. Ленинград: ВГО, 1973. 282 с.
74. Идельсон М.С. Зообентос пойменных водоемов дельты Волги и его значение в питании рыб // Тр. ВНИРО, 1941. Т. 16. С. 103–118.
75. Караева Н.И. Диатомовые водоросли бентоса Каспийского моря. Баку: изд. "Элм". 1972. 258 с.
76. Караева Н.И. Диатомовые водоросли обрастаний у западного побережья Каспийского моря. // Тр. Ин-та океанол. АН СССР. 1961. Т. 59. С. 108-117.
77. Караева Н.И. Материалы к флоре диатомовых водорослей в обрастаниях у восточного побережья Каспийского моря. (Предварительное сообщение). // Тр. Ин-та океанол. АН СССР. 1963. Т. 70. С. 29-40.
78. Касимов Н.С. Балдина Е.А., Геннадиев А.Н., Горбунов А.К., Де Леу Я., Лабутина И.А., Лычагин М.Ю., Кроненберг С.С. Разработка ГИС для мониторинга экосистем и управления в Астраханском биосферном заповеднике // Вестник Московского университета. Сер. 5, География. 1996. №. 6. С. 19.



79. Касимов Н.С., Касатенкова М.С., Ткаченко А.Н., Лычагин М.Ю., Крооненберг С.Б. Геохимия лагунно-маршевых и дельтовых ландшафтов Прикаспия. М.: Лига-Вент, 2016. 244 с.
80. Качинский Н.А. Физика почвы. Часть 1. М.: Высшая школа, 1965. 320 с.
81. Клёнова М. В., Батурин В. Л., Банковская К. А. и др. Геология дельты Волги. Л.: Гидрометеиздат, 1951. 393 с.
82. Клёнова М.В., Ястребова Л.А.. Осадки северной части Каспийского моря, БМОИП, 1941.
83. Клёнова М.В. Задачи геологии моря в Каспии // Природа. 1941. №3. С. 33-36.
84. Ковалева Г. В., Дюжова К. В., Золотарева А. Е. Диатомовые водоросли из средне-и позднеголоценовых отложений Азовского моря как индикаторы колебаний уровня водоема // Наука Юга России. 2017. Т. 13. №. 4. С. 83-92.
85. Ковалева Г. В., Измайлов Я. А., Золотарева А. Е. Диатомовые водоросли из позднеголоценовых отложений Азовского моря как индикаторы колебаний уровня водоема // Вестник Южного научного центра РАН. 2015. Т. 11. №. 1. С. 53-62.
86. Ковалева Г. В., Назаренко А. В. Диатомовый анализ голоценовых отложений Таганрогского залива // Наука Юга России. 2019. Т. 15. №. 2. С. 45-58.
87. Корнева Л.Г. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги. / Под ред. А.И. Копылова. Кострома: Костромской печатный дом, 2015. 284 с.
88. Коротаев В. Н. Геоморфология дельты Волги и динамика русловых разветвлений // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2011. №. 2. С. 103-109.
89. Коротаев В. Н. Сравнительный анализ позднеголоценовых и современных речных дельт Северной Евразии // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2012. №. 1. С. 52-60.
90. Коротаев В.Н., Римский-Корсаков Н.А., Бабич Д.Б., Иванов В.В., Калашник А.В., Пронин А.А., Сариева Д.Б. Дистанционные и наземные исследования геологического строения дельты Волги // Инженерные изыскания. 2015. № 12. С. 4-12.
91. Кривина Е. С. Летний фитопланктон западных подстепных ильменей Астраханской области // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. 2012. №. 29. С. 152-158.
92. Куликовский М.С., Глущенко А.М., Генкал С.И., Кузнецова И.В. Определитель диатомовых водорослей России / Отв. ред. д.б.н. Н.И. Дорофенюк // Ярославль: Филигрань, 2016. 804 с.

93. Лабутина И.А. Живогляд А.Ф., Балдина Е.А., Горбунов А.К., де Леу Я., Русанов Г.М. Карта растительности – основа тематической информации ГИС // ГИС Астраханского заповедника. Геохимия ландшафтов дельты Волги. М.: Географический ф-т МГУ, 1999. С. 28-48.
94. Лаврушин Ю. А., Спиридонова Е. А., Тудрин А., Шали Ф., Антипов М.П., Кураленко, Н.П., Курина Е.Е., Тухолка, П. Каспий: гидрологические события позднего квартала. // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 2014. Вып. 73. С. 19–51.
95. Лактионов А. П., Афанасьев В. Е., Капитонова О. А. Конспект флоры Астраханского государственного природного биосферного заповедника // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2020. Т. 14. №. 4. С. 398-419.
96. Лебедев С. А. Динамика Каспийского моря по данным спутниковой альтиметрии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. №. 4. С. 72-85.
97. Лебедева Н. А. Корреляция антропогенных толщ Понто-Каспия. М.: Наука, 1978. 136 с.
98. Левшакова В.Д. Весенний фитопланктон Северного Каспия // Тр. КаспНИРО. 1962. Т. 17. с. 33-43.
99. Левшакова В.Д. Фитопланктон северной части Каспийского моря // Материалы закавказской конференции. Баку, 1965. С. 19-24.
100. Левшакова В.Д. Многолетние изменения весеннего фитопланктона Северного Каспия // Тр. КаспНИРХ. 1967. Т. 23. С. 66-73.
101. Левшакова В.Д. Сезонная динамика фитопланктона Северного Каспия // Гидробиол. журн. 1970. № 3. с. 20-26.
102. Левшакова В.Д. Некоторые экологические особенности фитопланктона Северного Каспия// Тр. КаспНИРХ. 1971. Т. 26.
103. Левшакова В.Д. О важнейших видах фитопланктона Каспийского моря, их количественном развитии и взаимоотношениях // Биологические ресурсы Каспийского моря. 1972. с. 100-101.
104. Левшакова В.Д., Санина Л.В. Летний фитопланктон Среднего Каспия до и после вселения ризосолении // Тр. ВНИРО. 1973. Т. 80. С. 21-27.
105. Леонтьев О. К. О происхождении некоторых островов северной части Каспийского моря //Тр. океанограф, комиссии АН СССР. 1957. Т. 2. С. 147-158.

106. Леонтьев О. К. Эволюция берегов Каспия в верхнем плиоцене и четверичном периоде. В сб.: Геоморфологический анализ при геологических исследованиях в Прикаспийской впадине. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1968 С. 106–140.
107. Леонтьев О.К., Каплин П.А., Рычагов Г.И., Свиточ, А.А., Абрамова Т.А. Новые данные о четвертичной истории Каспийского моря // Комплексные исследования Каспийского моря. 1976. №. 5. С. 49-63.
108. Леонтьев О.К., Маев Е.Г., Рычагов Г.И. Геоморфология берегов и дна Каспийского моря // М.: Изд-во Московского ун-та. 1977. 209 с.
109. Леонтьев О.К., Федоров П.В. К истории Каспийского моря в поздне- и послехвалынское время // Изв. АН СССР, серия геогр. 1953. № 4. С. 64-74.
110. Леонтьев О.К., Фотеева Н.И. Геоморфология и история развития северного побережья Каспийского моря // М.: Изд-во МГУ. 1965. 152 с.
111. Лисицын А. П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. №. 5. С. 735-747.
112. Лисицын А. П., Петелин В. П. К методике предварительной обработки проб морских осадков в судовых условиях // Труды Института океанологии. 1956. Т. 19. С. 240-251.
113. Лобачева Д.М., Бадюкова Е.Н., Макшаев Р.Р. Литофациальное строение и условия накопления отложений бэровских бугров Северного Прикаспия // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2021. №. 6. С. 99-111.
114. Лобачева Д.М., Бадюкова Е.Н., Макшаев Р.Р. Положение протоков палеodelьты Волги в конце хвалынского времени по геоморфологическим данным // Аридные экосистемы. Т. 29. № 3 (96). С. 15-23.
115. Лобачева Д. М., Макшаев Р. Р., Янина Т. А. Бэровские бугры: текстурные особенности строения. // Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена и голоцена: Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Марковские чтения 2025 года». 2025. С. 111-112.
116. Лохин М.Ю., Маев Е.Г. Позднеплейстоценовые дельты на шельфе северной части Среднего Каспия // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1990. №3. С. 34-40.
117. Лысенко Е.И. Диатомовые ассоциации в поверхностных осадках дельты Волги и их значение для палеореконструкций // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2025а. Т. 80. № 3. С. 147-162.
118. Лысенко Е.И. Использование диатомового анализа в палеоэкологических реконструкциях голоценовых событий в дельте Волги. // Естественные и технические науки. Москва: Изд-во Спутник+. 2023. №.3. С. 168-172. DOI: 10.25633/ETN.2023.03.16

119. Лысенко Е.И. Структура ассоциаций диатомовых водорослей поверхностного слоя донных отложений современных водотоков дельты Волги // Аридные экосистемы. 2025б. Т. 31. № 3. С. 172-182.
120. Лысенко Е. И., Макшаев Р. Р. Диатомеи в колонках голоценовых отложений средней части дельты р. Волга (в районе с. Бараний Бугор) // Вопросы современной альгологии (Issues of modern algology) - algology.ru. 2023. Т. 2, № 32. С. 99–101.
121. Лысенко Е.И., Меренкова С.И., Макшаев Р.Р. Условия голоценового осадконакопления в привершинной части дельты волги (р. Рыча) по данным комплексного анализа (экостратиграфия, геохимия, литология). // Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена и голоцена: Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Марковские чтения 2025 года». М.: Географический факультет МГУ, ООО Красногорская типография, 2025. С. 112–116.
122. Лысенко Е.И., Ткач А.А., Макшаев Р.Р., Янина Т.А., Зенина М.А. Палеоэкологические условия в преддельтовом районе Северного Каспия в голоцене // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2024. Т. 79. № 1. С. 61-77. DOI: <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.79.1.5>
123. Лычагин М.Ю. Геохимия донных отложений дельты Волги // Каспийский плавучий университет: Научный бюллетень. 2001. № 2. С. 24-33
124. Маев Е.Г. Регрессии Каспийского моря (их место в четвертичной истории Каспия и роль в формировании рельефа дна). // Геоморфология. 1994. №2. С. 94-101.
125. Маев Е. Г. Фазы мангышлакской регрессии Каспийского моря // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2009. №. 1. С. 15-20.
126. Макарова И.В. О фитопланктоне Северного Каспия // Ботанический журнал. 1961. Т. 46. №.11. С. 1669-1678.
127. Макарова И.В. Новые данные к флоре диатомовых водорослей неогена Таманского полуострова // Новости сист. низш. раст. М.-Л.: Наука, 1965. С. 9-12.
128. Макарова И. В., Козыренко Т. В. Диатомовые водоросли из морских миоценовых отложений юга Европейской части СССР и их значение для стратиграфии. Л.: Наука, 1966. 68 с.
129. Макарова И.В., Прошкина-Лавренко А.И. Новые диатомовые водоросли в планктоне Каспийского моря // Новости системат. низш. раст. 1964. С. 34.
130. Макшаев Р.Р. Палеогеография Среднего и Нижнего Поволжья в эпоху раннехвалынской трансгрессии Каспия: диссертация ... кандидата географических наук 25.00.25 / Макшаев Радик Рафаэлевич; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. Геогр. фак. М., 2019. 160 с.

131. Макшаев Р.Р., Бадюкова Е.Н., Матлахова Е.Ю., Лобачева Д.М., Лысенко Е.И., Бердникова А.А., Котеньков С.А., Соловьев Д.С. Динамика русловой сети центральной части дельты р. Волги в контексте существования Семибугоринского археологического комплекса // Динамика экосистем в голоцене. Сборник статей по материалам всероссийской научной конференции, Санкт-Петербург, 17-21 октября 2022 года. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2022. С. 102-106.
132. Макшаев Р.Р., Матлахова Е.Ю., Ткач Н.Т., Лобачева Д.М., Лысенко Е.И., Ткач А.А. Влияние раннехвалынской трансгрессии Каспия на строение долины Волги и ее притоков (ключевой участок Малый Караман, Саратовская область) // Геоморфология и палеогеография. 2025. Т. 56, № 1. С. 116–129.
133. Макшаев Р.Р., Ткач Н.Т. Хронология хвалынского этапа развития Каспия по данным радиоуглеродного датирования // Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54. № 1. С. 37-54.
134. Матлахова Е.Ю., Макшаев Р.Р., Лобачева Д.М., Лысенко Е.И., Ткач А.А., Ткач Н.Т., Котеньков С.А., Соловьев Д.С. Влияние колебаний уровня Каспия и динамики русловой сети дельты Волги на расположение и развитие хазарских поселений Семибугоринского археологического комплекса // Limnology and Freshwater Biology. 2024. №4. С. 513-515.
135. Мережковский К. Заметка о диатомовых водорослях Геническа (Азовское море) // Зап. Новорос. об-ва естествоиспытателей. 1902. №. 2. С. 33-72.
136. Мережковский К. С. Список диатомовых водорослей Чёрного моря // Ботан. Записки. 1902–1903. 19. С. 51-89.
137. Минюк П. С. Пирит В осадках озер Курильских островов // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2021. №. 3. С. 44-55.
138. Михайлов В.Н., Коротаев В.Н., Полонский В.Ф. и др. Гидролого-морфологические процессы в устьевой области Волги и их изменения под влиянием колебаний уровня Каспийского моря // Геоморфология. 1993. № 4. С. 97-107.
139. Михайлов В. Н., Михайлова М. В., Исупова М. В. Гидролого-морфологические процессы в устьях рек Каспийского региона как возможные аналоги ожидаемых изменений устьев других рек России и мира // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. №. 5. С. 471-487.
140. Молостовский Э.А., Храмов А.Н. Магнитостратиграфия и ее значение в геологии. Саратов: Изд- во Сарат. ун-та. 1997. 180 с.
141. Мороз В. П. Процессы фоссилизации растительных остатков на примере Среднего Поволжья // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2016. Т. 10. №. 1. С. 97-138.

142. Неваленный А. Н., Сокольский А. Ф., Франов Н. А. Анализ продуктивности губки из семейства Spongillidae, произрастающей в водоемах реки Волги, в период регрессии Каспийского моря // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 2. С. 57-65.
143. Невеская Л.А. Четвертичные морские моллюски Туркмении. / Л.А. Невеская // Труды палеонтологического института. Т. 65. М.: Изд. АН, 1958. 92 с.
144. Невеская Л.А., Гончарова И.А., Ильина Л.Б. Типы неогеновых морских и неморских бассейнов на примере Восточного Паратетиса // Палеонтологический журнал. 2005. № 3. С. 3–12.
145. Немец Ф. Ключ к определению минералов и пород. Пер. с чешск. М.: Недра, 1982. 174 с.
146. Нижняя Волга: геоморфология, палеогеография и русловая морфодинамика / Зайцев А.А., Иванов В.В., Коротаев В.Н., Лабутина И.А., Лукьянова С.А., Римский-Корсаков Н.А., Рычагов Г.И., Свиточ А.А., Сидорчук А.Ю., Сычёв В.В., Чернов А.В. М.: ГЕОС, 2002. 240 с.
147. Никифоров Л.Г. Новые морфологические подтверждения существования трёх стадий новокаспийской трансгрессии // Вестник МГУ. Сер. Геогр. 1963. Т. 5. № 4. С. 28-35.
148. Николаев В.А. Геологическая история, рельеф и аллювиальные отложения Волго-Ахтубинской долины и дельты Волги // Природа и сельское хозяйство Волго-Ахтубинской долины и дельты Волги. М.: МГУ, 1962. С. 11-56.
149. Олыштынская А. П. Диатомеи и кокколитофорида в голоценовых экосистемах Причерноморского сектора Черного моря // Экосистемы. 2014. №. 11 (30).
150. Олыштынская А. П. Диатомовая флора донных осадков Черного моря // Геол. журн. 1996. №. 1-2. С. 193-198.
151. Олыштынская А. П., Дыкань Н. И. Биостратиграфический анализ кремнистых и карбонатных микрофоссилий (Bacillariophyta, coccolithophorales, Ostracoda) донных осадков Керченско-Таманского сектора Черного моря // Геология и полезные ископаемые мирового океана. 2018. №. 2 (52). С. 86-104.
152. Олыштынская А.П., Тимченко Ю.А. Ископаемые голоценовые диатомовые Каркинитского залива Черного моря, Украина // Альгология. 2013. Т. 23, № 3. С. 341-356.
153. Палагушкина О. В., Назарова Л. Б., Фролова Л. А. Диатомовые водоросли из голоценовых осадков озера Большой Харбей (Большеземельская тундра, Россия) // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2014. Т. 7. №. 4. С. 395–410.



154. Пирогов В.В. Малакофауна дельты Волги: автореферат дис. ... кандидата биологических наук. Л., 1974. 19 с.
155. Полякова Е.И. Диатомовый анализ. В кн.: Методы палеогеографических реконструкций. Под ред. Т.А. Яниной. М.: Географический факультет МГУ, 2025. (*в печати*)
156. Полякова Е.И. Новичкова Е.А., Лисицын А.П., Шевченко В.П., Кравчишина М.Д. Диатомеи и водные палиноморфы в поверхностных осадках заливов Белого моря как индикаторы седиментационных процессов в маргинальных фильтрах рек // Океанология. 2016. № 2. С. 310-321.
157. Полякова Е.И., Штыркова Е.И. Развитие альгофлоры. // Дельта Волги. Эволюция природной среды в условиях изменений климата. (Под ред. Т.А. Яниной). М.: Географический факультет МГУ, ООО «Красногорская типография» Москва, 2019. С. 39-56.
158. Полякова Е.И., Штыркова Е.И. Развитие альгофлоры. // Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена. Научные достижения Школы академика К.К. Маркова. (Под ред. Т.А. Яниной, Н.С. Болиховской, Е.И. Поляковой, Т.С. Ключиткиной, Р.Н. Курбанова). М.: Географический факультет МГУ, 2020. С. 448-476.
159. Попов Г. И. Плейстоцен Черноморско-Каспийских проливов. М.: Наука, 1983. 216 с.
160. Прикладная геоморфология / Отв. ред. Звонкова Т.В., Соколов Н.И., ред. Баранский Н.Н., Бурлака П.Н., Ефремов Ю.К. и др. // Вопросы географии. М: Государственное изд-во географической литературы. 1961. №52. С. 35-44.
161. Прошкина-Лавренко А.И. Диатомовые водоросли – показатели солёности воды // Диатомовый сборник ЛГУ. Л., 1953. С. 186–205.
162. Прошкина-Лавренко А.И. Диатомовые водоросли планктона Черного моря / Акад. наук СССР. Ботан. ин-т им. В. Л. Комарова. Москва – Ленинград: Изд-во Акад. Наук СССР, 1955. 223 с.
163. Прошкина-Лавренко А.И. Диатомовые водоросли бентоса Чёрного моря. Москва – Ленинград: Издательство Академии наук СССР, 1963. 243 с.
164. Прошкина-Лавренко А.И. Происхождение и экология фитопланктона Каспийского моря// Материалы Закавказской конференции по спорным растениям. Баку, 1965. с. 9-13.
165. Прошкина-Лавренко А.И. О флоре диатомовых водорослей Черного моря // Проблемы морской биологии. 1971. С. 41-48.

166. Прошкина-Лавренко А. И., Макарова И. В. Водоросли планктона Каспийского моря. Л.: Наука. 1968. 291 с.
167. Русаков Г.В. Геоморфологическое районирование дельты Волги // Геоморфология. 1990. №3. С. 99-106.
168. Русакова Е.Г., Чунаева Ю.В. Анализ систематической структуры флоры низовьев дельты Волги / Ред. Е. Ф. Белевич // Труды Астраханского заповедника. 1963. Вып. 8. С. 401-421.
169. Рычагов Г.И. К методике геоморфологических исследований (геоморфологические уроки Каспия) // Геоморфология. 2019. №. 4. С. 27-39.
170. Рычагов Г. И. Колебания уровня Каспийского моря: причины, последствия, прогноз // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2011. №. 2. С. 4-12.
171. Рычагов Г.И. Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ, 1997. 267 с.
172. Рычагов Г.И., Коротаев В.Н., Лабутина И.А. Геоморфология дельты Волги и динамика её морского края // Двадцать пятое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. доклады и сообщения / Под ред. Р. С. Чалов. Изд. дом "Астраханский университет", Астрахань, 2010. С. 29-37.
173. Рычагов Г. И., Коротаев В. Н., Чернов А. В. История формирования палеodelьт Нижней Волги // Геоморфология. 2010. № 3. С. 73-81.
174. Рясина В. Е. О некоторых закономерностях распределения терригенных минералов в различных фациях современного аллювия р. Волги // Бюллетень МОИП. Отд. Геология. – 1961. Т. 36. №. 1. С. 106-114.
175. Салманов М. А. Роль микрофлоры и фитопланктона в продукционных процессах Каспийского моря. М: Наука, 1987. 214 с.
176. Самойлов Н.В. Устья рек. М: Географгиз, 1952. 528 с.
177. Свальнов В. Н. и др. Четвертичные осадки западной части Дербентской котловины (средний Каспий) // Геология и полезные ископаемые мирового океана. 2008. №. 4. С. 59-75.
178. Свиточ А.А. Большой Каспий: строение и история развития. М.: Изд-во Московского ун-та., 2014. 272 с.
179. Свиточ А.А., Лычагин М. Ю., Янина Т. А. Голоцен дельты Волги // География и геоэкология на современном этапе взаимодействия природы и общества: материалы Всероссийской научной конференции Селиверстовские чтения (Санкт-Петербург, 18 – 19 ноября 2009 г.). Санкт-Петербургский государственный университет, ВВМ Санкт-Петербург, 2009. С. 741-746.

180. Свиточ А.А., Янина Т.А. Материалы по стратотипам региональных и местных подразделений каспийского неоплейстоцена и голоцена // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2007. Т. 15. №. 5. С. 95-113.
181. Свиточ А.А., Янина Т.А. Строение и развитие дельты р. Волги // Геоморфология. 1994. № 4. С. 11-24.
182. Свиточ А. А., Янина Т. А. Четвертичные отложения побережий Каспийского моря. М.: РАСХН, 1997. 267 с.
183. Сорокин В. М., Янина Т. А., Романюк Б. Ф. О возрасте верхнечетвертичных отложений Северного Каспия // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2023. №. 4. С. 75-85.
184. Стрельникова Н.И., Гладенков А.Ю. Диатомовые водоросли и их использование в стратиграфических и палеогеографических исследованиях // Вопросы современной альгологии. 2019. Т. 2. №. 20. С. 1-38.
185. Сушко Г.Г. Методы многомерного анализа данных в синэкологии насекомых // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2020. № 1. С. 38–45.
186. Устья рек каспийского региона: история формирования, современные гидролого-морфологические процессы и опасные гидрологические явления / Под ред. В.Н. Михайлова. М.: ГЕОС, 2013. 700 с.
187. Федоров П. В. Плейстоцен Понто-Каспия. М.: Наука, 1978. 165 с.
188. Фитопланктон Нижней Волги. Водохранилища и низовье реки. 2003 / Отв. ред. И. С. Трифонова. Санкт-Петербург: Наука. 229 с.
189. Хаин В Е., Богданов Н.А., Чехович П.А. и др. Международная тектоническая карта Каспийского моря и его обрамления. Масштаб 1:2 500 000: Объяснительная записка. М.: Научный мир, 2003. 120 с.
190. Чеховская М.П., Зенина М.А., Матуль А.Г., Степанова А.Ю., Раковски А.З. Реконструкция палеообстановки в голоцене на северном шельфе Каспийского моря по остракодам. // Океанология. М.: Наука. 2018, Т. 58, №. 1. С. 89-101.
191. Чудаев Д.А., Гололобова М.А. Диатомовые водоросли озера Глубокого. М., 2016. 447 с.
192. Чугунов Н. Л. Опыт количественного исследования продуктивности донной фауны в Северном Каспии и типичных водоемах дельты Волги // Труды Астраханской ихтиологической лаборатории. 1923. Т. 5. №. 1. С. 4-36.
193. Шкатова В.К. Каспийский регион – опорный стратиграфический разрез «квартера России» // Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. 2013. С. 702-704.

194. Штыркова Е. И., Полякова Е. И. Реконструкция палеоэкологических особенностей среды осадконакопления по материалам скважины р. Рыча (дельта Волги) в голоцене на основе данных диатомового анализа // Фундаментальная и прикладная палеонтология. Материалы LXIV сессии Палеонтологического общества при РАН (2-6 апреля 2018 г., Санкт-Петербург). СПб: Картфабрика ВСЕГЕИ., 2018. С. 161–163.
195. Штыркова Е. И., Полякова Е. И. Диатомеи в осадках р. Рыча (дельта Волги), как индикаторы палеогеографических условий осадконакопления // Материалы XV международной научной конференции (XV Диатомовая школа) Диатомовые водоросли: современное состояние и перспективы исследований, пос. Борок, Россия, 24-27 августа 2017 г. 2017. С. 86-87.
196. Штыркова Е.И., Полякова Е.И. Диатомеи в голоценовых осадках дельты Волги (Дамчикский участок) как индикаторы палеоэкологических условий осадконакопления // Вопросы современной альгологии (Issues of modern algology) - algology.ru. 2019. № 2 (20). С. 270–273.
197. Штыркова Е.И., Янина Т.А. Природные условия. // Дельта Волги. Эволюция природной среды в условиях изменений климата. (Под ред. Т.А. Яниной). М.: Географический факультет МГУ, ООО «Красногорская типография» Москва, 2019. С. 8-22.
198. Элбакидзе Е. А., Романова А. В. Использование метода главных компонент при интерпретации данных диатомового анализа голоценовых осадков озера Птичье (Южное Приморье) // Вестник ДВО РАН. 2024. С. 124-135.
199. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар: Геопринт, 2011, 742 с.
200. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия марганца. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. 540 с.
201. Янина Т.А. Биоразнообразие моллюсков дельты Волги в голоцене // Естественные и инвазийные процессы формирования биоразнообразия водных и наземных экосистем. ЮНЦ РАН Ростов-на-Дону. 2007. С. 343–345.
202. Янина Т.А. Малакофауна и эволюция водоёмов дельты Волги в голоцене // Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. М.: Изд. Географического ф-та МГУ, 2008. С. 118-127.
203. Янина Т.А. Палеогеография бассейнов Понто-Каспия в плейстоцене по результатам малакофаунистического анализа: дис. ... д-ра геогр. наук. // Географический ф-т МГУ. М.: МГУ. 2009. 42 с.

204. Янина Т.А., Курбанов Р.Н., Макшаев Р. Р. Каспий в плейстоцене: эволюция природной среды и человек (вступительная статья) // Геоморфология и палеогеография. 2025. Т. 51. №1. С. 5-29. DOI: DOI: 10.31857/S2949178925010012
205. Янина Т. А. Эволюция природной среды Понто-Каспия в условиях глобальных изменений климата в позднем плейстоцене // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2013. №. 1. С. 3-16.
206. Янина Т.А., Сорокин В.М., Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф. Новокаспийская трансгрессия Каспийского моря (по материалам бурения). Геология морей и океанов: Материалы XXIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии (18 - 22 ноября 2019, Москва). М.: ИО РАН, 2019. Т. 3. С. 280–283.
207. Agafonova E., Polyakova Ye., Novichkova Ye. The diatom response to Postglacial environments in the White Sea, the European Arctic// *Marine Micropaleontology*. 2020. Vol.161. P. 101927. DOI: doi.org/10.1016/j.marmicro.2020.101927
208. Battarbee R. W. A new method for the estimation of absolute microfossil numbers, with reference especially to diatoms. *Limnology and Oceanography*. 1973. Т. 18. № 4. С. 647-653.
209. Berdnikova A., Lysenko E., Makshaev R., Zenina M., Yanina T. Multidisciplinary Study of the Rybachya Core in the North Caspian Sea during the Holocene // *Diversity*. 2023. 15. №150. DOI: 10.3390/d15020150
210. Bertrand S, Tjallingii R., Kylander M. E., Wilhelm B., Roberts S. J., Arnaud F., Brown E., Bindler R. Inorganic geochemistry of lake sediments: A review of analytical techniques and guidelines for data interpretation // *Earth-Science Reviews*. 2024. Vol. 249. P. 104639.
211. Bezrodnykh Y P., Romanyuk B.F., Deliya S.V., Magomedov R.D., Sorokin V.M., Parunin O.B., Babak E. Biostratigraphy and structure of the Upper Quaternary deposits and some paleogeographic features of the north Caspian region // *Stratigr. Geol. Correl.* 2004. Vol. 12. №. 1. P. 102-111.
212. Bezrodnykh Y.P., Sorokin V.M. On the age of the Mangyshlak deposits of the northern Caspian Sea // *Quaternary Research*. 2016. Vol. 85, p. 245–254. DOI: 10.1016/j.yqres.2016.01.004
213. Bezrodnykh Y.P., Yanina, T.A., Sorokin, V.M., Romanyuk B. F. The Northern Caspian Sea: Consequences of climate change for level fluctuations during the Holocene // *Quaternary International*. 2020. Vol. 540. P. 68-77.
214. Birks H. J. B., Line J. M., Juggins S., Stevenson A. C., Ter Braak C. J. F. Diatoms and pH Reconstruction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*. Vol. 327. № 1240. P. 263-278.

215. Bolikhovskaya N.S., Kasimov N.S. Environmental and climatic evolution of the Lower Volga River region during the last 10 kyr. // The Caspian Region: Environmental Consequences of the Climate Change (Abstract Volume). Moscow: Geographical Faculty Press. 2010. P. 99-117.
216. Bolikhovskaya N.S., Makshaev R.R. The Early Khvalynian stage in the Caspian Sea evolution: pollen records, palynofloras and reconstructions of paleoenvironments // Quaternary International. 2020. Vol. 540. P. 10-21.
217. Bolikhovskaya N., Yanina T., Sorokin V. Environmental Variability of the Northern Caspian Sea during Khazarian Epoch (Based on Drilling Data) // Quaternary. 2024. Vol. 7. № 1. P. 5. DOI: <https://doi.org/10.3390/quat7010005>
218. Butuzova E.A., Kurbanov R.N., Taratunina N.A., Makeev A.O., Rusakov A.V., Lebedeva M.P., Murray A.S., Yanina, T. A. Shedding light on the timing of the largest Late Quaternary transgression of the Caspian Sea // Quat. Geochronology. 2022. Vol. 73. P. 101378. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2022.101378>
219. Gibbard, P.L., Head, M.J. IUGS ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma // Quaternaire. 2009. Vol. 20. № 4. p. 411–412. DOI: <https://doi.org/10.4000/quaternaire.5289>
220. Gogorev R.M., Kovaleva G.V. *Shionodiscus caspicus* sp. nov. (Bacillariophyta, Thalassiosiraceae) from the Caspian Sea and four nomenclatural combinations for *Shionodiscus* // Новости систематики низших растений. 2024. Т. 58. С. 1-34.
221. Gorbunov A.K., Gorbunova A.V., Kosova A., Kucheryaeva V.V., Lychagin M.Y. Plankton Redistribution as a Model of Geochemical Changes in the Volga Delta Due to the Caspian Sea Level Rise // Berichte-Forschungszentrum Terramare. Vol. 2. P. 84-85.
222. Ehrenberg C. G. Mikrogeologie: Das Erden und Felsen schaffende Wirken des unsichtbar kleinen selbständigen Lebens auf der Erde. Leipzig: L. Voss, 1854. 374 p.
223. Espinosa M.A. Fayo' R., Velez-Agudelo C. Diatom-based paleoenvironmental reconstruction from the coast of Northern Patagonia, Argentina // Journal of South American Earth Sciences. 2022. Vol. 116. P.1–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103874>.
224. Hartley B., Barber H.G., Carter J.R, Sims P.A. An atlas of British diatoms. Bristol: Biopress, 1996. 601 p.
225. Hartung H., Litt T., Stone J. Holocene lake-level reconstruction of Lake Kinneret (Israel) based on a quantitative diatom-inferred depth model // Nova Hedwigia. 2025. Vol. 120. №. 1-4. P. 527-553.



226. Hofmann A. M., Geist J., Nowotny L., Raeder U. Depth-distribution of lake benthic diatom assemblages in relation to light availability and substrate: implications for paleolimnological studies // *Journal of Paleolimnology*. 2020. Vol. 64. №. 3. P. 315-334.
227. Hoogendoorn R. M. et al. Development of the Kura delta, Azerbaijan; a record of Holocene Caspian sea-level changes. *Marine Geology*. 2005. Vol. 222. P. 359-380.
228. Hustedt F. Die Diatomeenflora des Küstengebietes der Nordsee vom Dollart bis zur Elbemündung. I. Die Diatomeenflora in den Sedimenten der unteren Ems sowie auf den Watten der Leybucht, des Memmert und bei der Insel Juist // *Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Bremen*. 1939. Vol. 31. P. 572-677.
229. Hutchinson I., Roberts M.C., Williams H.F.L. Stratigraphy, diatom biofacies, and paleogeomorphology of a mid Holocene distributary channel system, Fraser River delta, British Columbia, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 1995. Vol. 32. P. 749–757.
230. Ivanova E.V., Marret F., Zenina M.A. et al. The Holocene Black Sea reconnection to the Mediterranean Sea: New insights from the northeastern Caucasian shelf // *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.* 2015. Vol. 427. P. 41–61. DOI: 10.1016/j.palaeo.2015.03.027.
231. Kakroodi A.A., Leroy S.A.G., Kroonenberg S.B., Lahijani H.A.K., Alimohammadian H., Boomer I., Goorabi A. Late Pleistocene and Holocene sea-level change and coastal paleoenvironment evolution along the Iranian Caspian shore // *Marine Geology*. 2015. Vol. 361, p. 111-125. DOI: 10.1016/j.margeo.2014.12.007.
232. Karayeva N.I., Makarova I.V. Specific features and origin of the Caspian Sea diatom flora // *Marine Biology*. 1973. Vol. 21. P. 269-275.
233. Kiss K.T., Le Cohu R., Coste M., Genkal S.I., Houk V. *Actinocyclus normanii* (Bacillariophyceae), in some rivers and lakes in Europe. Morphological examinations and quantitative relations // *Ouvrage dedie a H.Germain, Koeltz*. 1990. P. 111–123.
234. Kolbe R. W. Grundlinien einer allgemeinen Ökologie der Diatomeen. // *Ergebnisse der Biologie*. №8. 1932. P. 221-348.
235. Kozina N., Reykhard L., Dara O. Authigenic Minerals of the Derbent and South Caspian Basins (Caspian Sea): Features of Forms, Distribution and Genesis under Conditions of Hydrogen Sulfide Contamination // *Minerals*. 2022. Vol. 12. № 1. P. 87–104. DOI: <https://doi.org/10.3390/min12010087>.
236. Krammer K., Lange-Bertalot H. Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 02/3: Bacillariophyceae: Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Spektrum Akademischer Verlag, 1999. 612 p.

237. Kroonenberg S.B., Kasimov N.S., Lychagin M.Y. The Caspian Sea, a natural laboratory for sea-level change // *Geography, Environment, Sustainability*. 2008. Vol. 1. №1. P. 22-37.
238. Kroonenberg S.B., Rusakov G.V., Svitoch A. A. The wandering of the Volga Delta: A response to rapid Caspian sea-level change // *Sedimentary Geology*. 1997. Vol. 107, no. 3-4. P. 189–209.
239. Kurbanov R., Murray A., Yanina T., Buylaert J. P. Dating the middle and late Quaternary Caspian Sea-level fluctuations: First luminescence data from the coast of Turkmenistan // *Quat. Geochronology*. 2024. Vol. 83. P. 101599. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2024.101599>
240. Kurbanov R. N., Buylaert J.-P., Stevens T., Taratunina N. A., Belyaev V. R., Makeev A. O., Lebedeva M.P., Rusakov A.V., Solodovnikov D., Költringer C., Rogov V.V., Streletskaia I.D., Murray A.S., Yanina, T. A. A detailed luminescence chronology of the Lower Volga loess-palaeosol sequence at Leninsk // *Quat. Geochronology*. 2022. Vol. 73. P. 101376. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2022.101376>
241. Kurbanov R.N., Murray A.S., Yanina T.A., Svistunov M.I., Taratunina N A., Thompson W.K. First optically stimulated luminescence ages of the early khvalynian Caspian Sea transgression in the lower Volga // *Boreas*. Vol. 50. Iss. 1. P. 134–146. DOI: <https://doi.org/10.1111/bor.12478>
242. Lazarev S., Jorissen E.L., van de Velde S., Rausch L., Stoica M., Wesselingh F.P., Van Baak C.G.C., Yanina T.A, Aliyeva E., Krijgsman W. Magneto-biostratigraphic age constraints on the palaeoenvironmental evolution of the South Caspian Basin during the Early-Middle Pleistocene (Kura Basin, Azerbaijan) // *Quat. Sci. Rev.* Vol. 222. P. 1–26.
243. Lei Y. et al. Diatom assemblage shift driven by nutrient dynamics in a large, subtropical reservoir in southern China // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 317. P. 128435. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128435>
244. Lychagin M.Y., Baldina E.A., Gorbunov A.K., Labutina I.A., de Leeuw J., Kasimov N.S., Gennadiev A.N., Krivonosov G.A., Kroonenberg S.B. GIS for Astrakhanskiy biosphere reserve: Present state and perspectives // *ITC Journal*. № 3. P. 189-202
245. Mann D. G., Vanormelingen P. An inordinate fondness? The number, distributions, and origins of diatom species // *Journal of eukaryotic microbiology*. 2013. Vol. 60. №. 4. P. 414-420. DOI:10.1111/jeu.12047.
246. Marsaglia K., Milliken K., Leckie R. M., Tentori D., Doran L. IODP Smear Slide Digital Reference for Sediment Analysis of Marine Mud. Part 2: Methodology and Atlas of Biogenic Components. IODP Technical Note 2. 2015. 382 p. DOI: [doi:10.14379/iodp.tn.2.2015](https://doi.org/10.14379/iodp.tn.2.2015)

247. Misra S., Osogba O., Powers M. Unsupervised outlier detection techniques for well logs and geophysical data. In: Misra S., Li H., He J. (eds.) In book: Machine learning for subsurface characterization. Gulf Professional Publishing, 2020. P 1-37.
248. Overeem I., Kroonenberg S.B., Veldkamp A., Groenesteijn K., Rusakov G.V., Svitoch A.A. Small-scale stratigraphy in a large ramp delta: recent and Holocene sedimentation in the Volga delta, Caspian Sea // *Sedimentary Geology*. 2003. T. 159. №. 3-4. P. 133-157.
249. Pankow H. Ostsee-Algenflora. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1990. 648 p.
250. Pike J., Allen C.S., Leventer A., Stickley C.E., Pudsey C.J. Comparison of contemporary and fossil diatom assemblages from the western Antarctic Peninsula shelf // *Marine Micropaleontology*. 2008. Vol. 67. № 3-4. p. 274-287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2008.02.001>.
251. Polyakova, Ye.I. Diatom assemblages in the surface sediments of the Kara Sea (Siberian Arctic) and their relationship to oceanological conditions. In: Stein, R., Fahl, K., Fqutterer, D.K., Galimov, E.M., Stepanets, O.V. (Eds.), *Siberian River Run-Off in the Kara Sea: Characterization, Quantification, Variability and Environmental Significance*, Proceedings in Marine Sciences, Vol. 6. Amsterdam: Elsevier, 2003. P. 375-400.
252. Polyakova Y., Agafonova E., Novichkova E., de Vernal A. Holocene paleoenvironmental Implications of diatom, non-pollen palynomorph, and organic carbon records from the Kandalaksha Bay of the White Sea (European Arctic) // *Geosciences*. 2023. Vol. 13. № 2. P. 56. DOI: [doi.org/10.3390/geosciences13020056](https://doi.org/10.3390/geosciences13020056).
253. Renberg I., Hellberg T. The pH History of lakes in Southwestern Sweden, as calculated from the subfossil diatom flora of the sediments // *AMBIO*. 1982. Vol. 11. N3. P. 30-33
254. Richards K. Studies in Caspian palynology: Six million years of vegetation, climate and sea level change. PhD thesis. University of Amsterdam. 2018. 264 p.
255. Richards K., Bolikhovskaya N. S. Palynology of pre-Holocene and Holocene shallow cores from the Damchik region of the Volga delta: Palynological assemblages, zones, depositional environments and Caspian Sea level // *The Caspian Region: Environmental Consequences of the Climate Change: Proceedings of the International Conference*. Moscow. 2010. P. 126-129.
256. Richards K., Bolikhovskaya N. S., Hoogendoorn R. M., Kroonenberg S. B., Leroy S. A., Athersuch, J. Reconstructions of deltaic environments from Holocene palynological records in the Volga delta, northern Caspian Sea // *The Holocene*. 2014. T. 24. №. 10. P. 1226-1252.

257. Rychagov G. I. Holocene oscillation of the Caspian Sea, and forecasts based on paleogeographical reconstructions // *Quaternary International*. 1997. Vol. 41–42. P. 167–172.
258. Schmidt A. *Atlas der Diatomaceen-Kunde*. Continued by M. Schmidt, F. Fricke, O. Müller, H. Heiden et al. Hustedt. Aschersleben. Leipzig, Berlin. 1874-1959. Reprint: Koeltz Scitific Books. P. 472.
259. Simonsen R. *Untersuchungen zur Systematik und Ökologie der Bodendiatomeen der westlichen Ostsee*. Berlin: Akademie-Verlag, 1962. 148 p.
260. Smith A.J.; Horne J.H. Ecology of marine, marginal marine and nonmarine ostracods, *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research*. AGU: Washington, DC, USA, 2002. P. 37–64.
261. Smol J.P., Birks H.J., Last W.M. *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators*, Kluwer Academic Publishers: Alphen aan den Rijn, The Netherlands. 2001. 327 p.
262. Stenger-Kovács C., Béres V.B., Buczkó K., Al-Imari J. T., Lázár D., Padisák J., Lengye E. Review of phenotypic response of diatoms to salinization with biotechnological relevance // *Hydrobiologia*. 2023. Vol. 850. №. 20. P. 4665-4688.
263. Taratunina, N. A., Buylaert J.-P., Kurbanov R.N., Yanina T.A., Makeev A.O., Lebedeva M.P., Utkina A.O., Murray A.S. Late Quaternary evolution of lower reaches of the Volga River (Raygorod section) based on luminescence dating // *Quat. Geochronology*. Vol. 73. P. 101369. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2022.101369>
264. Taratunina N., Buylaert J.-P., Murray A.S, Yanina T.A., Streletskaia I.D., Kurbanov R.N. Luminescence dating of Late Pleistocene Sea level change and cryogenesis in the northern Caspian region (Chernyy Yar section) // *Quat. Geochronology*. 2024. Vol. 82. P. 101538. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2024.101538>
265. Uddin M. I. et al. In vivo imaging of retinal hypoxia in a model of oxygen-induced retinopathy // *Scientific Reports*. 2016. T. 6. №. 1. P. 31011.
266. Van Baak C. G. C. Mediterranean-Paratethys connectivity during the late Miocene to Recent: Unraveling geodynamic and paleoclimatic causes of sealevel change // *Utrecht Studies in Earth Sciences*. 2015. Vol. 87. P. 275.
267. Van Baak C. G. C., Vasiliev I., Stoica M. et al. A magnetostratigraphic time frame for Plio-Pleistocene transgressions in the South Caspian Basin, Azerbaijan // *Glob. Planet. Chang.* 2013. Vol. 103. P. 119–134.
268. Van Heurck H. H. *Synopsis des Diatomées de Belgique*. Anver: L'Auteur, 1880-1885. 693 P.

269. Wang L. C., Li H. C., Shiao L. J. Impacts of anthropogenic disturbances on diatom diversity in a shallow spring-fed pool // *Diversity*. 2022. Vol. 14. №. 3. P. 166-180. DOI: <https://doi.org/10.3390/d14030166>
270. Wang L., Mackay A.W., Leng M.J., Rioual P., Panizzo V., Lu H., Chu G., Han J., Kendrick C. Influence of the ratio of planktonic to benthic diatoms on lacustrine organic matter  $\delta^{13}\text{C}$  from Erlongwan maar lake, northeast China. *Org. Geochem.* 2013. Vol. 54. P. 62–68.
271. Wegwerth A., Dellwig O., Kaiser J. et al. Meltwater events and the Mediterranean reconnection at the Saalian–Eemian transition in the Black Sea // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2014. Vol. 404. P. 124–135.
272. Weisse J. F. Mikroskopische Analyse eines organischen Polirschiefers aus dem Gouvernement Simbirsk. *Mélanges Biologiques tirés du Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de St. Petersburg.* 1854. Vol. 13. P. 237-250.
273. Wolin J. A., Stone J. R. Diatoms as indicators of water-level change in freshwater lakes // *The diatoms: applications for the environmental and earth sciences.* Cambridge University Press, 2010. P. 174-185.
274. Yanina T.A. Correlation of the Late Pleistocene paleogeographical events of the Caspian Sea and Russian Plain // *Quaternary International*. 2012. Vol. 271. P. 120-129.
275. Yanina T.A. The Ponto-Caspian region: environmental consequences of climate change during the late Pleistocene // *Quat. Int.* 2014. Vol. 345. P. 88–99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.01.045>
276. Yanina T.A, Bolikhovskaya N.S., Sorokin V.M., Romanyuk, B.F., Berdnikova, A.A, Tkach, N. T. Paleogeography of the Atelian regression in the Caspian Sea (based on drilling data). 2021 // *Quat. Int.* Vol. 590. P. 73–84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.07.023>
277. Zuur A.F., Ieno E.N., Smith G.M. Analyzing ecological data. New York: Springer New York, 2007. 672 p.

#### **Фондовая литература**

278. Акуз И.К., Демьяненко Е.В., Терещенко Н.П. Сводный отчет о комплексной инженерно-геологической съемке Волго-Ахтубинской поймы и дельты р. Волги масштаба 1:100000 за 1956-60 гг. (М-38 и L-39). Ростов-на-Дону, 1961. Том 1. 2597 л.
279. Опыт изучения строения морского дна Северного Каспия и прилегающих побережий по данным аэрогеологических исследований. / Отчет о работах Северо-Каспийской экспедиции за 1953 и 1954 г.г./ Волков И. А., Зубенко Ф. С., Кошечкин Б. И. и др. Л., 1955. 462 л.

## Электронные ресурсы

280. Андрусов Н. И. Очерк истории развития Каспийского моря и его обитателей [Электронный ресурс] // Изв. РГО. 1888. Т. 24. №. 1-2. С. 91-114. Режим доступа: <http://e-heritage.ru/Book/10077230> (дата обращения: 30.04.2025)
281. Бюллетень о состоянии и загрязнении устьевой области р. Волги за 2020 г. [Электронный ресурс] // Каспийский морской научно-исследовательский центр. 2021. Режим доступа: <http://www.caspianmonitoring.ru/wp-content/uploads/2021/11/НТО-Бюллетень-УО-2020-для-сайта.pdf> (дата обращения: 26.06.2025 г.)
282. Геологическая служба США [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 02.05.2025)
283. Геопортал РГО [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://geoportal.rgo.ru> (дата обращения: 30.04.2025)
284. Геопортал «Это место» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.etomesto.ru/> (дата обращения: 30.04.2025)
285. Каз Мунай Газ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kmg.kz/ru/investors/reporting/> (дата обращения: 15.08.2025)
286. КаспМНИЦ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.caspianmonitoring.ru/> (дата обращения: 30.04.2025)
287. Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://igras.ru/854> (дата обращения: 13.05.2022)
288. Предварительные результаты исследований протоки Кигач (дельта р.Волги). Астана, 2017. // Электронный ресурс. Режим доступа: [https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Water\\_Convention/2016/Projects\\_in\\_Central\\_Asia/Transboundary\\_Rivers\\_Study\\_Kigach\\_Channel\\_Feb\\_2017.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Water_Convention/2016/Projects_in_Central_Asia/Transboundary_Rivers_Study_Kigach_Channel_Feb_2017.pdf) (дата обращения 26.06.2025).
289. Промышленное оборудование и приборы для разрушающего и неразрушающего контроля в России и странах СНГ [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://pvp-snk.ru/brosh/products/professional/DELTA\\_Professional\\_Geohim.pdf](https://pvp-snk.ru/brosh/products/professional/DELTA_Professional_Geohim.pdf) (дата обращения: 04.05.2025)
290. Сервис Copernicus Open Access Hub [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://scihub.copernicus.eu/> (дата обращения: 20.08.2023)
291. ФГБУ «ВИМС» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vims-geo.ru> (дата обращения: 13.05.2025)
292. Шитиков В.К., Мاستицкий С.Э. Классификация, регрессия и другие алгоритмы Data Mining с использованием R. 2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/R/DM/DM\\_R](http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/R/DM/DM_R). (дата обращения: 15.18.2025)



293. Algaebase: Listing the World's Algae [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.algaebase.org/> (дата обращения: 22.08.2023)
294. Analyzing Microbial Ecology Data [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://jkozor.github.io/> (дата обращения: 04.05.2025)
295. CRAN [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cran.r-project.org/> (дата обращения: 17.10.2024)
296. Diatoms of North America [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://diatoms.org/> (дата обращения: 13.08.2025)
297. GitHub. Random forest classification. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gist.github.com/franzalex/a95e227cab9b146a6092> (дата обращения: 01.05.2025)
298. Nextgis [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://nextgis.ru/> (дата обращения: 20.08.2023)
299. Oxides-Elements Calculator. Pangloss Foundation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.marscigrp.org/oxtoel.html> (дата обращения: 04.05.2025)
300. RPubs [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rpubs.com/KarolinaSzczena/862710> (дата обращения: 04.05.2025)
301. ScienceDirect. Приложение к работе Bertrand S, Tjallingii R., Kylander M. E., Wilhelm B., Roberts S. J., Arnaud F., Brown E., Bindler R. Inorganic geochemistry of lake sediments: A review of analytical techniques and guidelines for data interpretation // Earth-Science Reviews. 2024. Vol. 249. P. 104639. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825223003288> (дата обращения: 28.03.2025)
302. SRplot [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://113.44.3.163/srplot> (дата обращения: 04.05.2025)
303. SRTM [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dwtkns.com/srtm30m/> (дата обращения: 18.08.2025)

**Приложение 1**  
**Содержание основных оксидов в образцах скв. ДМ-1**

Метод: АЭ	С, %масс.								
<b>Оксид</b>	<b>ПО, % масс.</b>	<b>0,2 м</b>	<b>0,7 м</b>	<b>1,2 м</b>	<b>1,5 м</b>	<b>1,9 м</b>	<b>2,0 м</b>	<b>2,2 м</b>	
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,0060	0,98	0,96	0,99	1,12	1,10	1,27	1,18	
<b>MgO</b>	0,0060	0,50	0,37	0,54	0,54	0,48	1,11	0,72	
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,0040	5,33	4,44	5,10	5,53	5,37	8,56	6,87	
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,010	1,48	1,26	1,34	1,50	1,52	1,96	1,71	
<b>CaO</b>	0,0070	0,97	1,05	1,52	1,51	1,02	1,71	1,11	
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,0010	0,31	0,34	0,34	0,32	0,26	0,44	0,35	
<b>MnO</b>	0,0020	0,023	0,021	0,035	0,035	0,021	0,039	0,028	
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,0080	1,64	1,35	1,74	1,75	1,56	3,50	2,41	
<b>Оксид</b>	<b>2,4 м</b>	<b>2,5 м</b>	<b>2,7 м</b>	<b>3 м</b>	<b>3,4 м</b>	<b>3,6 м</b>	<b>3,7 м</b>	<b>3,9 м</b>	
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1,05	1,16	1,19	0,93	1,06	0,74	0,75	0,88	
<b>MgO</b>	0,57	0,57	0,46	1,40	1,15	1,81	1,85	1,22	
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	5,77	6,89	5,99	10,8	9,02	14,8	15,1	9,73	
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1,48	1,78	1,71	2,11	2,01	2,31	2,39	1,88	
<b>CaO</b>	1,41	0,79	0,84	1,67	2,17	1,28	1,35	2,13	
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,28	0,30	0,25	0,51	0,40	0,67	0,69	0,46	
<b>MnO</b>	0,025	0,020	0,019	0,037	0,032	0,044	0,041	0,043	
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,90	2,18	1,57	4,92	3,55	7,29	7,19	4,46	
<b>Оксид</b>	<b>4,0 м</b>	<b>4,1 м</b>	<b>4,3 м</b>	<b>4,5 м</b>	<b>4,7 м</b>	<b>4,9 м</b>	<b>5,1 м</b>	<b>5,4 м</b>	<b>5,5 м</b>
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,88	0,85	0,90	0,90	0,90	0,86	0,83	0,87	0,89
<b>MgO</b>	1,11	0,92	1,60	1,49	1,34	1,26	0,97	0,68	0,84
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	8,77	7,76	12,6	11,1	11,0	10,6	7,83	5,46	6,03
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1,77	1,64	2,26	2,10	2,09	2,04	1,66	1,47	1,46
<b>CaO</b>	2,07	0,83	1,19	1,75	1,26	1,09	5,51	6,09	8,49
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,41	0,32	0,55	0,48	0,47	0,44	0,34	0,22	0,24
<b>MnO</b>	0,036	0,023	0,037	0,039	0,031	0,027	0,030	0,035	0,043
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,80	3,20	5,93	5,34	5,00	5,08	3,21	1,56	1,90

## Приложение 2

### Содержание редкоземельных элементов в образцах скв. ДМ-1

		С, мкг/г																								
	Метод	ПО, мкг/г	0,2 м	0,7 м	1,2 м	1,5 м	1,9 м	2,0 м	2,2 м	2,4 м	2,5 м	2,7 м	3 м	3,4 м	3,6 м	3,7 м	3,9 м	4,0 м	4,1 м	4,3 м	4,5 м	4,7 м	4,9 м	5,1 м	5,4 м	5,5 м
Li	АЭ, МС	0,050	8,81	6,26	9,02	9,31	8,52	20,1	13,7	10,8	12,3	9,09	31,9	23,1	46,6	47,6	27,0	24,1	19,9	37,8	32,3	29,7	27,9	19,3	12,2	14,8
Be	МС	0,050	0,56	0,37	0,55	0,59	0,60	1,10	0,78	0,73	0,90	0,66	1,82	1,09	2,10	2,33	1,37	1,30	1,16	2,00	1,63	1,60	1,58	1,08	0,60	0,76
Sc	МС	0,24	3,83	2,90	4,04	4,08	3,23	7,89	5,30	4,44	5,13	3,44	11,7	8,38	18,9	19,3	10,6	9,02	7,36	14,2	12,6	12,3	11,7	7,28	3,68	4,30
V	АЭ	0,31	28,3	23,4	30	30,2	26	57,7	41	34	43	26,7	88	62	143	147	82,9	66	56,3	105	91	87	88	59	32,5	41,8
Cr	АЭ, МС	1,00	23,8	23,3	28	27,1	23	49,3	38	31	30	22,2	69	49	107	109	62,6	53	43,6	84	73	74,3	67	46	24,3	30,2
Co	АЭ, МС	0,10	4,78	3,66	4,8	5,05	4,8	9,87	7,8	5,6	5,8	4,83	14	10	15	14,9	11,4	11	8,47	14	13	11,4	12	7,7	4,6	5,19
Ni	АЭ, МС	1,00	17	12,3	17,6	18,4	19	37,4	27	24	24	17,4	55	38	71	64,6	47,3	50	36,3	60	54	51	50	34	20,7	23,6
Cu	АЭ, МС	1,00	9,96	5,97	9,00	8,68	10,6	19,3	13,5	14,8	16,4	7,97	29,4	19,2	52,6	50,0	27,9	27,0	23,3	39,9	33,7	39,8	34,3	21,0	7,54	10,1
Zn	АЭ, МС	1,00	25,6	17,2	38,2	83,2	25,1	48,9	34,5	39,9	34,7	25,2	66,6	47,5	98,1	92,2	67,7	149,8	46,5	80,7	70,4	70,3	62,1	44,6	21,2	24,3
Ga	МС	0,10	5,33	4,11	5,14	5,45	4,97	9,16	6,81	5,87	7,01	5,64	13,2	10,0	19,1	19,6	11,7	10,6	8,92	16,1	13,6	13,3	12,8	8,73	5,21	6,04
As	МС	0,19	1,94	2,21	2,00	2,53	2,31	3,74	2,21	2,29	3,39	1,63	6,31	2,73	5,33	5,92	4,05	3,33	3,24	4,70	2,78	3,14	2,05	2,03	1,25	1,04
Se	МС	0,50	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Rb	МС	0,10	34,0	24,9	29,6	32,0	31,1	53,5	42,0	34,3	43,1	35,9	70,8	56,9	94,0	95,7	61,8	58,1	51,4	87,7	75,1	77,1	70,8	48,8	33,4	34,9
Sr	АЭ, МС	0,10	123,7	117,1	134,6	146,4	129,3	155,4	141,8	137,1	138,3	140,8	131,8	152,5	145,0	141,5	150,2	155,7	113,8	144,5	146,3	145,1	141,2	289,0	283,6	349,1
Y	МС	0,10	7,13	7,15	8,83	8,16	6,44	12,8	9,20	8,75	9,09	7,28	16,7	11,7	20,2	19,3	14,1	12,5	11,4	18,0	16,4	15,5	14,0	11,4	6,71	7,47
Zr	МС	0,025	101,2	78,4	119,3	108,9	60,2	149,5	100,5	99,0	91,4	86,3	155,7	101,0	185,8	207,0	133,7	105,3	93,3	165,6	134,5	132,1	125,4	82,9	57,3	76,1
Nb	МС	0,050	5,15	3,77	4,33	4,06	2,93	6,17	4,66	3,70	4,09	2,94	8,59	5,82	11,6	11,8	7,23	6,08	4,65	9,04	7,73	7,47	6,99	5,03	2,72	3,25
Mo	МС	0,10	1,34	1,20	1,02	1,05	0,62	0,75	0,57	0,69	1,01	0,51	0,96	0,53	1,50	1,45	0,81	0,52	0,40	0,58	0,49	0,46	0,41	0,33	0,22	0,24
Rh	МС	0,040	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Pd	МС	0,10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ag	МС	0,050	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cd	МС	0,050	0,085	0,12	0,075	0,075	0,098	0,17	0,11	0,12	0,13	0,089	0,22	0,14	0,27	0,24	0,34	0,17	0,19	0,24	0,19	0,21	0,11	0,11	0,083	0,11
Sn	МС	0,10	0,78	0,69	0,74	0,78	0,77	1,25	0,89	0,83	0,99	0,68	1,77	1,31	2,56	2,64	1,62	1,50	1,26	2,23	1,84	1,81	1,79	1,21	0,73	0,86
Sb	МС	0,10	0,29	0,27	0,39	0,29	0,33	0,42	0,30	0,30	0,34	0,29	0,54	0,44	0,62	0,69	0,44	0,45	0,39	0,53	0,48	0,48	0,46	0,36	0,37	0,41

Te	MC	0,30	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	
Cs	MC	0,020	1,00	0,59	0,96	0,97	0,86	2,31	1,48	1,20	1,62	1,02	4,16	2,86	6,71	7,17	3,77	3,38	2,91	5,54	4,79	4,66	4,34	2,77	1,35	1,64
Ba	A3, MC	0,27	323,7	279,1	301,8	330,1	325,4	377,4	360,3	333,7	379,3	391,3	348,3	352,4	410,4	400,3	351,2	349,3	336,4	378,1	366,4	376,6	401,5	328,6	313,3	307,3
La	MC	0,050	11,1	11,8	13,4	13,1	11,7	20,8	15,2	13,2	14,1	12,9	25,9	18,9	32,4	33,5	23,6	21,1	17,0	29,8	27,9	27,3	22,7	18,7	10,7	12,6
Ce	MC	0,040	23,6	24,8	28,8	26,9	23,7	44,1	31,3	27,6	28,8	25,6	54,5	39,1	66,4	67,6	47,3	40,8	35,0	60,2	56,4	54,6	48,1	37,9	21,6	24,6
Pr	MC	0,010	2,79	3,00	3,38	3,33	2,85	5,37	3,84	3,36	3,50	2,95	6,44	4,73	8,02	8,03	5,58	4,96	4,20	7,37	6,52	6,53	5,62	4,61	2,60	2,95
Nd	MC	0,013	11,1	11,3	12,7	12,9	11,3	20,4	14,6	13,0	13,6	11,6	24,9	17,8	30,0	31,2	21,6	19,1	16,1	27,7	25,5	25,3	21,6	18,1	10,2	11,4
Sm	MC	0,010	2,26	2,22	2,66	2,52	2,16	3,98	2,86	2,66	2,74	2,18	5,11	3,58	5,99	6,14	4,22	3,77	3,24	5,52	5,09	5,01	4,29	3,53	2,00	2,21
Eu	MC	0,010	0,61	0,52	0,59	0,67	0,56	0,98	0,72	0,68	0,72	0,64	1,19	0,91	1,40	1,44	1,06	0,97	0,83	1,33	1,25	1,21	1,06	0,90	0,59	0,60
Gd	MC	0,010	2,13	2,16	2,60	2,39	2,06	4,01	2,79	2,61	2,63	2,16	4,84	3,50	5,83	5,97	4,32	3,78	3,28	5,48	5,28	4,97	4,30	3,49	2,08	2,27
Tb	MC	0,010	0,31	0,28	0,37	0,33	0,28	0,55	0,39	0,37	0,39	0,31	0,69	0,49	0,81	0,84	0,60	0,53	0,47	0,76	0,73	0,72	0,59	0,48	0,28	0,31
Dy	MC	0,010	1,58	1,59	1,97	1,77	1,50	2,94	2,15	1,96	2,00	1,62	3,87	2,62	4,54	4,57	3,28	2,88	2,57	4,23	4,00	3,68	3,28	2,59	1,57	1,68
Ho	MC	0,010	0,31	0,29	0,40	0,34	0,28	0,56	0,40	0,37	0,40	0,30	0,74	0,52	0,91	0,89	0,61	0,58	0,53	0,80	0,76	0,71	0,64	0,51	0,29	0,33
Er	MC	0,010	0,89	0,85	1,11	1,02	0,79	1,66	1,14	1,10	1,16	0,92	2,14	1,50	2,53	2,56	1,78	1,64	1,46	2,34	2,21	1,99	1,79	1,49	0,85	0,92
Tm	MC	0,010	0,27	0,26	0,31	0,29	0,24	0,39	0,31	0,31	0,30	0,28	0,47	0,35	0,52	0,51	0,40	0,39	0,34	0,49	0,49	0,46	0,40	0,35	0,28	0,28
Yb	MC	0,010	0,91	0,79	1,08	1,03	0,77	1,62	1,13	1,08	1,12	0,93	1,99	1,36	2,55	2,39	1,69	1,56	1,36	2,26	2,12	1,91	1,71	1,38	0,79	0,93
Lu	MC	0,010	0,14	0,12	0,18	0,15	0,12	0,24	0,18	0,17	0,18	0,14	0,32	0,20	0,38	0,37	0,27	0,24	0,21	0,35	0,31	0,30	0,26	0,20	0,13	0,15
Hf	MC	0,050	2,20	1,62	2,56	2,28	1,38	3,14	2,23	2,12	1,93	1,85	3,54	2,17	4,45	4,44	2,94	2,33	2,21	3,61	3,13	3,18	2,92	1,82	1,26	1,66
Ta	MC	0,040	2,06	0,29	0,39	0,37	0,27	0,57	0,43	0,35	0,38	0,26	0,73	0,52	1,02	1,09	0,69	0,57	0,45	0,84	0,70	0,69	0,63	0,46	0,25	0,28
W	MC	0,080	0,36	0,26	0,39	0,33	0,32	0,65	0,44	0,38	0,48	0,27	1,00	0,61	1,48	1,54	0,78	0,73	0,60	1,15	0,91	0,89	0,89	0,59	0,35	0,37
Re	MC	0,069	0,14	0,13	0,14	0,17	0,11	0,19	0,15	0,22	0,21	0,18	0,33	0,30	0,48	0,71	0,68	0,86	1,11	0,92	1,44	1,34	1,16	1,01	1,25	1,17
Ir	MC	0,020	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Pt	MC	0,050	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Au	MC	0,083	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08
Tl	MC	0,010	0,22	0,15	0,18	0,20	0,19	0,31	0,26	0,24	0,29	0,23	0,44	0,37	0,61	0,65	0,40	0,38	0,32	0,52	0,46	0,41	0,41	0,34	0,21	0,22
Pb	MC	0,10	8,52	6,78	7,77	8,18	8,01	12,2	9,93	9,37	10,4	8,67	16,3	12,4	22,1	22,0	14,8	13,8	12,5	18,5	16,7	16,6	24,8	12,3	7,84	8,47
Bi	MC	0,010	0,081	0,052	0,061	0,067	0,055	0,12	0,090	0,084	0,11	0,056	0,23	0,16	0,38	0,40	0,22	0,20	0,17	0,29	0,25	0,25	0,26	0,17	0,085	0,094
Th	MC	0.055	2.16	2.1	2.89	2.74	2	4.54	3	2.7	3	2.25	6.7	4.5	9.2	9.83	5.74	4.9	4.75	8.1	7.4	7.16	6.2	4.3	2.08	2.63
U	MC	0.01	0.74	0.68	0.93	0.95	0.7	1.39	1	1.2	2.5	0.76	1.7	1.2	4.6	3.61	2	1.3	1.09	1.8	1.6	1.39	1.2	1	0.82	0.9

### Приложение 3

Таблицы с измеренным содержанием проанализированных в работе элементов (в %) в образцах скв. Роу-2016

Глубина, см	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Zn	Rb	Sr	Y	Zr
100	3,86	6,18	25,58	0,5128	0,3486	0,0247	0,0496	3,7371	0,0065	0,0055	0,0059	0,0157	0,0026	0,0256
130	4,21	6,24	23,67	0,5218	0,3738	0,0235	0,0326	4,3862	0,0043	0,0075	0,0071	0,0143	0,0019	0,0228
140	5,61	7,34	28,32	0,5458	0,4299	0,0135	0,0275	4,7917	0,0073	0,0073	0,0079	0,0157	0,0018	0,0262
150	5,4	8,34	31,65	0,6631	0,4103	0,0138	0,0349	4,8122	0,0083	0,0084	0,0087	0,0173	0,003	0,0227
160	4,54	7,61	33,12	0,4945	0,4406	0,022	0,0349	3,8149	0,0076	0,007	0,0072	0,0171	0,0026	0,0262
170	3,68	7,14	29,6	0,4904	0,416	0,0191	0,0389	3,8616	0,0061	0,0071	0,0075	0,0167	0,0021	0,0264
180	4,41	7,33	29,75	0,5971	0,4357	0,0209	0,0592	5,1728	0,0064	0,0076	0,007	0,0175	0,0026	0,026
190	5,56	8,27	34,36	0,5066	0,4343	0,0279	0,0569	4,2536	0,0092	0,0081	0,0075	0,0181	0,0032	0,0328
200	4,55	7,66	27,72	0,5394	0,4164	0,0266	0,0643	5,012	0,0089	0,0091	0,0077	0,0147	0,0023	0,0222
210	4,69	8,14	30,54	0,5499	0,4753	0,024	0,0341	4,7717	0,0103	0,0099	0,0086	0,0171	0,0032	0,0252
220	4,87	7,42	30,95	0,4804	0,4862	0,0226	0,0307	3,6875	0,0077	0,0062	0,007	0,0159	0,0021	0,0264
230	4,38	7,43	28,83	0,5403	0,393	0,0268	0,0858	4,0565	0,0069	0,0067	0,007	0,0148	0,002	0,0247
240	4,05	6,99	28,53	0,5068	0,4701	0,014	0,0294	4,0429	0,0091	0,0072	0,007	0,0164	0,002	0,0312
250	4,44	6,71	32,03	0,3768	0,3472	0,0208	0,0363	2,9181	0,0065	0,0056	0,0055	0,0155	0,0017	0,0268
260	3,65	7,13	30,94	0,4595	0,4042	0,0216	0,0489	3,6596	0,0066	0,0054	0,0061	0,0166	0,0021	0,0295
270	3,64	5,84	24,29	0,4716	0,3331	0,0235	0,0266	4,0461	0,0056	0,0064	0,0057	0,0147	0,0015	0,0241
300	4,22	6,19	30,35	0,4544	0,3654	0,0163	0,0255	2,481	0,0055	0,0048	0,0046	0,0147	0,0012	0,0297
310	4,36	6,44	31,92	0,428	0,3325	0,0212	0,0306	2,506	0,0035	0,0049	0,005	0,015	0,0017	0,026
320	4,89	6,76	29,62	0,4593	0,3065	0,0007	0,0293	2,8815	0,0076	0,0041	0,005	0,0144	0,0016	0,022
370	5,02	6,84	33,11	0,4745	0,3584	0,0007	0,0304	2,9395	0,0067	0,0048	0,0057	0,0169	0,0019	0,0277
380	5,11	6,64	31,21	0,5262	0,354	0,0191	0,0235	2,923	0,0045	0,0047	0,0059	0,0161	0,0022	0,0273
390	4,24	5,82	27,04	0,3746	0,2884	0,0139	0,0201	2,2505	0,0047	0,0035	0,0039	0,0117	0,0009	0,0221
400	4,72	6,12	30,94	0,4493	0,3039	0,0153	0,0284	2,5962	0,0054	0,0048	0,0045	0,0146	0,0011	0,0223
410	4,64	7,89	34,58	0,3472	0,3465	0,0161	0,0294	3,3641	0,0063	0,0068	0,0056	0,0137	0,0019	0,0238
420	4,13	5,8	32,08	0,1877	0,3486	0,0293	0,0212	2,0786	0,006	0,0029	0,0039	0,0147	0,0014	0,0355

430	4,9	5,92	32,7	0,2123	0,4538	0,0201	0,0232	2,1352	0,0043	0,0033	0,0044	0,0143	0,0017	0,0496
440	4,48	6,3	35,18	0,1957	0,3618	0,0273	0,0248	2,0867	0,0042	0,0037	0,0038	0,0139	0,0013	0,0355
450	4,19	4,96	38,85	0,09	0,3006	0,0212	0,0183	1,6659	0,0033	0,0028	0,003	0,0142	0,0016	0,0355
460	4,02	4,65	38,7	0,0402	0,3443	0,0331	0,0186	1,5802	0,0058	0,0032	0,0031	0,0144	0,0014	0,0418
465	4,13	5,28	35,64	0,1215	0,331	0,0308	0,0233	1,8346	0,006	0,0037	0,0034	0,0132	0,0014	0,0406
750	4,34	3,87	37,48	0,2722	0,2253	0,0203	0,0135	1,4023	0,003	0,0028	0,0031	0,0122	0,0009	0,0184
800	3,73	3,21	38,62	0,0566	0,1647	0,0007	0,0239	1,2672	0,0007	0,0012	0,0025	0,0103	0,0009	0,0183
850	4,37	4,44	31,93	0,5495	0,2228	0,0233	0,0277	1,6996	0,0043	0,0026	0,0034	0,0122	0,0009	0,0197
900	2,88	3,45	34,52	0,3156	0,219	0,0162	0,0232	1,3546	0,0027	0,0026	0,0028	0,0103	0,0005	0,022
970	4,49	6,4	34,5	1,1396	0,3882	0,0298	0,0425	2,5846	0,0049	0,004	0,005	0,016	0,0012	0,0287
1000	3,12	3,77	23,85	0,5531	0,1715	0,0175	0,0231	1,7607	0,0037	0,0028	0,0028	0,009	0,0005	0,015
1050	4,01	4,92	36,79	0,6236	0,2809	0,0142	0,0387	2,0357	0,0047	0,004	0,0042	0,0145	0,0014	0,0258
1100	3,88	4,3	39,2	0,3775	0,2753	0,0198	0,03	1,5004	0,0061	0,0022	0,003	0,0126	0,0008	0,0197
1150	4,24	3,88	38,41	0,4634	0,2088	0,014	0,0232	1,3313	0,0007	0,0032	0,0027	0,0117	0,0008	0,016
1200	4,65	3,24	37,23	0,2294	0,1611	0,0149	0,0251	1,3933	0,0039	0,0023	0,0031	0,012	0,001	0,0165
1250	3,59	2,96	39,37	0,1682	0,1496	0,0217	0,0206	1,1116	0,0028	0,0022	0,0022	0,0101	0,00005	0,0142
1310	4,15	2,65	42,44	0,3094	0,2136	0,0146	0,0244	1,1181	0,0031	0,0024	0,0021	0,0095	0,0009	0,0087
1350	2,98	2,65	41,89	0,0965	0,136	0,0328	0,0391	1,0496	0,003	0,0023	0,0019	0,0097	0,0007	0,0088
1360	3,09	2,26	37,04	0,1386	0,0938	0,0121	0,0164	0,9658	0,0032	0,0016	0,0015	0,007	0,00005	0,006
1450	3,32	2,42	42,12	1,5027	0,0809	0,0137	0,0384	0,9848	0,003	0,0018	0,0022	0,0109	0,0006	0,0064
1500	3,34	2,62	41,69	0,0294	0,1157	0,0007	0,0175	1,0035	0,003	0,0011	0,0024	0,0105	0,00005	0,0096



## Приложение 4

**Таблицы с измеренным содержанием проанализированных в работе элементов (в %) в образцах скв. С1**

Глубина, см	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Zn	Rb	Sr	Zr	Y
0-15	3,78	4,71	17,94	1,1378	0,2346	0,012	0,0439	2,9296	0,0058	0,006	0,0047	0,0104	0,0108	0,0007
25-30	2,59	4,6	16,93	1,6818	0,223	0,012	0,0314	2,3454	0,0043	0,0038	0,0041	0,0086	0,0073	0,00005
40-50	4,25	5,25	19,87	3,3095	0,2516	0,0139	0,0581	2,8099	0,0055	0,0046	0,0051	0,015	0,0125	0,0008
60-70	4,25	6,1	27,13	2,4214	0,2967	0,0212	0,0398	2,1086	0,0037	0,0032	0,0046	0,015	0,0198	0,0007
80-90	3	3,45	15,44	1,4632	0,1215	0,0099	0,0233	1,2307	0,002	0,0015	0,0019	0,0067	0,0051	0,00005
90-100	3,13	4,33	17,89	2,1271	0,1794	0,005	0,0412	1,786	0,0029	0,0034	0,003	0,0106	0,0105	0,00005
110-120	3,5	3,36	28,62	1,4774	0,1822	0,005	0,0496	1,6318	0,0039	0,0023	0,0031	0,0125	0,0085	0,0006
130-140	2,88	2,96	19,25	0,9081	0,1758	0,016	0,0358	1,2974	0,002	0,0018	0,0026	0,0088	0,0102	0,00005
150-160	4,37	6,55	23,42	1,6611	0,3862	0,0127	0,0749	4,1209	0,0085	0,0065	0,0078	0,0148	0,0174	0,002
160-170	4,66	7,4	25,59	0,7513	0,4014	0,0247	0,0573	4,537	0,0088	0,0104	0,0091	0,014	0,0168	0,0019
190-200	3,42	4,39	18,59	0,6242	0,2594	0,0104	0,0377	2,3549	0,0044	0,0038	0,004	0,0085	0,0139	0,0005
200-210	4,56	5,57	21,24	0,8494	0,3522	0,0155	0,0653	3,6129	0,0051	0,0074	0,006	0,0138	0,0197	0,0015
210-225	2,59	3,95	17,03	0,6484	0,3075	0,0141	0,0417	2,9936	0,005	0,0045	0,004	0,0099	0,0164	0,0014
225-235	3,55	4,15	18,38	0,7412	0,2841	0,0179	0,0652	2,8217	0,0038	0,0052	0,0043	0,0109	0,0171	0,0011
235-240	4,43	6,06	23,73	0,8939	0,303	0,0119	0,0453	3,6554	0,0066	0,0056	0,0055	0,0129	0,016	0,0014

## Приложение 5

**Таблицы с измеренным содержанием проанализированных в работе элементов (в %) в образцах скв. Рыбачья**

Глубина, м	Si	S	Ca	Ti	Mn	Fe	Zn	Rb	Sr	Y	Zr
0,2-0,3	3,55	0,0902	4,799	0,2307	0,0203	1,0958	0,00035	0,0014	0,0994	0,0012	0,012
0,3-0,8	1,8957	1,6389	3,4001	0,2017	0,0243	3,7624	0,004	0,0048	0,0425	0,0011	0,0095
1,73-1,96	5,3	0,1526	3,1422	0,3057	0,0305	1,3696	0,0025	0,0036	0,0343	0,0016	0,0183
2,15-2,20	4,3	0,4184	3,2532	0,2427	0,0327	1,5261	0,0027	0,0037	0,0233	0,0012	0,0235
2,35-2,34	3,06	0,3509	3,6805	0,2582	0,2134	3,3114	0,0072	0,0069	0,0299	0,0025	0,015
3,13-3,50	0,9454	0,3704	28,2	0,0007	0,0244	0,6947	0,00035	0,00005	0,2881	0,00005	0,0067
4,25-4,40	4,28	0,0325	1,0073	0,1	0,0101	0,9782	0,0013	0,0031	0,0131	0,001	0,0062
6,3-6,4	6,57	0,0419	1,0292	0,1232	0,012	0,9346	0,00035	0,0028	0,012	0,0008	0,0089
9,40-9,50	5,61	0,0145	1,5798	0,1591	0,0133	1,1202	0,0016	0,003	0,0145	0,0013	0,0156

## Приложение 6

### Распространение диатомовых водорослей в изученных образцах донных отложений, скважин и разрезов.

Таблица 1. Распространение диатомовых водорослей в изученных донных отложениях дельты Волги.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<i>Achnanthes sp.</i>		+																						
<i>Actinocyclus normanii</i>	+	+									+					+							+	
<i>Amphora commutata</i>															+									
<i>Amphora copulata</i>	+		+	+	+	+		+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Amphora proteus</i>																					+			
<i>Aneumastus tuscus</i>																								
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>	+			+																				
<i>Aulacoseira distans</i>		+	+					+																
<i>Aulacoseira humilis</i>		+																						
<i>Aulacoseira granulata</i>	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
<i>Aulacoseira granulata var. angustissima</i>												+					+				+			
<i>Aulacoseira islandica</i>		+			+	+						+							+					
<i>Aulacoseira valida</i>	+			+	+															+				
<i>Aulacoseira ambigua</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+	+		+			+	+			
<i>Aulacoseira perglabra</i>																	+		+		+			+
<i>Aulacoseira tenella</i>											+										+			
<i>Brebissonia lanceolata</i>																	+							

<i>Caloneis amphisbaena</i>																									+
<i>Caloneis</i> sp.																				+					
<i>Cocconeis</i> cf. <i>pediculus</i>					+																				
<i>Cocconeis pediculus</i>	+				+			+	+				+	+			+			+	+	+			
<i>Cocconeis placentula</i>		+				+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+		+		+	+	+
<i>Cocconeis lineata</i>	+	+	+		+	+	+	+	+			+	+	+			+	+	+	+	+	+			
<i>Coscinodiscus radiatus</i>		+																							
<i>Craticula cuspidata</i>	+	+			+																				
<i>Ctenophora pulchella</i>																									
<i>Cyclotella kuetzingiana</i>															+										
<i>Cyclotella</i> cf. <i>kuetzingiana</i>										+															
<i>Stephanocyclus meneghinianus</i>	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+			+
<i>Surirella librile</i>	+			+			+					+	+			+			+	+	+				+
<i>Cymbella cistula</i>									+			+								+					+
<i>Cymbella cistula</i> var. <i>maculata</i>					+																				
<i>Cymbella helvetica</i>	+			+																					
<i>Cymbella heteropleura</i>														+											
<i>Cymbella tumida</i>											+			+		+			+		+				+
<i>Encyonema elginense</i>	+										+									+					
<i>Cymbopleura cuspidata</i>											+														+
<i>Diploneis smithii</i>			+		+	+			+																
<i>Diploneis</i> sp.	+																								
<i>Encyonema elginense</i>																									

<i>Encyonema hebridicum</i>														+									+		
<i>Encyonema leibleinii</i>			+			+								+										+	
<i>Encyonema silesiacum</i>					+																				
<i>Epithemia adnata</i>		+				+			+		+														+
<i>Epithemia saxonica</i>																+								+	
<i>Epithemia sp.</i>														+											
<i>Epithemia sorex</i>																								+	+
<i>Epithemia turgida</i>	+																					+			
<i>Eunotia diodon</i>																									+
<i>Eunotia formica</i>	+			+									+												
<i>Eunotia exigua</i>				+					+												+				
<i>Eunotia monodon</i>	+				+											+									
<i>Fragilariforma bicaipitata</i>												+													
<i>Fragilaria capucina</i>				+																	+				
<i>Fragilaria sp.</i>	+													+							+				
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	+			+					+				+	+											
<i>Frustulia saxonica</i>																					+				
<i>Geissleria schoenfeldii</i>																				+			+	+	+
<i>Gomphonema olivaceum</i> <i>var. minutissimum</i>	+			+	+	+	+		+				+	+	+							+			
<i>Gomphonema acuminatum</i>		+	+								+									+		+			
<i>Gomphonema acuminatum</i> <i>var. longiceps</i>																					+				
<i>Gomphonema coronatum</i>									+											+	+				

<i>Gomphocymbellopsis ancylus</i>	+																								
<i>Gomphonema angustatum</i>																	+		+						
<i>Gomphonema angustum</i>					+														+						
<i>Gomphonema augur</i>																				+					
<i>Gomphonema auritum</i>																									+
<i>Gomphonema capitatum</i>																				+					
<i>Gomphonema insigne</i>												+								+					
<i>Gomphonema minutum</i>																		+							
<i>Gomphonema truncatum</i>						+						+	+						+		+	+			+
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	+			+	+	+			+		+	+	+	+	+		+	+	+	+					
<i>Gyrosigma attenuatum</i>																+					+				
<i>Hantzschia amphioxys</i>		+				+									+										
<i>Hippodonta abunda</i>	+																								
<i>Hippodonta luneburgensis</i>							+																		
<i>Humidophila contenta</i>													+												
<i>Iconella capronii</i>																+					+				
<i>Iconella helvetica</i>																				+					
<i>Iconella linearis</i>																									+
<i>Iconella spiralis</i>																									+
<i>Melosira nummuloides</i>																	+								
<i>Melosira varians</i>	+	+	+		+	+		+			+	+	+	+		+			+	+					
<i>Navicula avenacea</i>		+						+																	

<i>Navicula capitata</i>																			+					
<i>Navicula capitatoradiata</i>	+			+				+						+			+	+	+		+			
<i>Navicula cincta</i>					+												+		+		+			
<i>Navicula cryptocephala</i>										+	+				+	+							+	+
<i>Navicula eidrigeana</i>													+											
<i>Placoneis gastrum</i>																+								
<i>Navicula libonensis</i>																			+		+			+
<i>Navicula salinarum</i>																								+
<i>Navicula reinhardtii</i>	+	+			+	+			+		+	+	+			+	+		+	+		+	+	+
<i>Navicula rhynchocephala</i>	+													+										
<i>Navicula sp. 1</i>					+	+														+				
<i>Navicula sp. 2</i>							+													+				
<i>Navicula sp.3</i>																				+				
<i>Navicula tripunctata</i>	+	+	+			+			+				+	+						+				
<i>Navicula veneta</i>															+									
<i>Nitzschia amplexans</i>																								+
<i>Nitzschia dissipata</i>																						+		
<i>Nitzschia frustulum</i>	+																			+				
<i>Nitzschia gracilis</i>																+								
<i>Nitzschia heufleriana</i>	+	+	+		+	+	+						+	+						+				+
<i>Nitzschia intermedia</i>																	+		+		+		+	+
<i>Nitzschia sociabilis</i>				+									+						+					
<i>Nitzschia sp.</i>														+										
<i>Navicula vara</i>													+											
<i>Opephora marina</i>																								+



<i>Staurosirella martyi</i>															+							+		
<i>Pinnularia brebissonii</i>	+					+									+									
<i>Pinnularia brevicostata</i>															+									
<i>Pinnularia brevicostata</i> var. <i>triangulata</i>					+																			
<i>Placoneis elginensis</i>	+	+		+						+										+		+	+	
<i>Placoneis exigua</i>													+											+
<i>Pseudostaurosira</i> <i>brevistriata</i>			+																					
<i>Pseudostaurosira</i> <i>parasitica</i>			+			+	+							+										
<i>Pseudostaurosira robusta</i>															+									+
<i>Pseudostaurosira</i> <i>subconstricta</i>	+												+								+			
<i>Epithemia parallela</i>		+																						
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>			+		+		+						+	+										+
<i>Sellaphora americana</i>									+															
<i>Sellaphora</i> sp.		+		+																+				
<i>Staurosira</i> cf. <i>construens</i>																								
<i>Staurosirella lapponica</i>						+																		
<i>Staurosirella leptostauron</i>				+	+																			
<i>Stephanodiscus astraea</i>	+	+	+	+				+	+					+					+	+		+		
<i>Stephanodiscus astraea</i>	+		+	+	+	+	+		+	+	+	+		+		+	+	+	+	+	+			
<i>Stephanodiscus minutulus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+						+				
<i>Iconella bifrons</i>																					+			

<i>Surirella brebissonii</i> var. <i>kuetzingii</i>				+															+	+				
<i>Surirella</i> cf. <i>striatula</i>	+																							
<i>Campylodiscus neofastuosus</i>															+									
<i>Tryblionella hantzschiana</i>																								+
<i>Surirella minuta</i>			+		+			+					+											
<i>Surirella salina</i>																+	+							
<i>Surirella</i> sp.																				+				
<i>Surirella robusta</i>																								+
<i>Surirella visurgis</i>																			+					
<i>Tabularia fasciculata</i>		+			+																			
<i>Thalassiosira eccentrica</i>				+	+				+				+											
<i>Tryblionella apiculata</i>													+						+					
<i>Tryblionella hungarica</i>					+																			
<i>Ulnaria acus</i>																			+					
<i>Ulnaria ulna</i>	+			+															+		+			
<i>Ulnaria aequalis</i>													+							+				
<i>Ulnaria ulna</i> var. <i>biceps</i>	+																							

Таблица 2. Распространение диатомовых водорослей по разрезу скв. Рой-2016.

	1,0- 1,2 м	1,3 м	1,4 м	1,5 м	2,0 м	2,5 м	2,7 м	4,4 м	9,0 м	9,7 м	11,0 м	11,5 м	12,0 м	13,5 м	15,0 м
<i>Amphora copulata</i>	+	+	+					+	+	+	+				
<i>Halamphora holsatica</i>	+	+													
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>										+					
<i>Aulacoseira ambigua</i>	+	+	+			+	+	+	+	+	+				
<i>Aulacoseira distans</i>	+		+												
<i>Aulacoseira granulata</i>	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+		+	+
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	+								+		+				
<i>Aulacoseira islandica</i>			+			+	+	+	+		+				+
<i>Aulacoseira islandica</i> f. <i>curvata</i>	+	+	+						+						
<i>Aulacoseira muzzanensis</i>			+												
<i>Aulacoseira valida</i>		+	+												
<i>Caloneis bacillaris</i>											+				
<i>Caloneis leptosoma</i>											+				
<i>Caloneis silicula</i>										+					
<i>Cocconeis formosa</i>		+													
<i>Craticula cuspidata</i>	+	+	+					+		+					
<i>Craticula cuspidata</i> var. <i>heribaudii</i>		+													
<i>Cymatopleura elliptica</i>		+						+							
<i>Cymbella cistula</i>		+	+												
<i>Encyonema minutum</i>		+													
<i>Encyonopsis microcephala</i>	+														

<i>Denticula tenuis</i>			+												
<i>Didymosphenia geminata</i>		+							+						
<i>Diploneis</i> sp.										+					
<i>Epithemia adnata</i>		+	+												
<i>Epithemia saxonica</i>			+												
<i>Epithemia argus</i>	+	+	+												
<i>Epithemia argus</i> var. <i>angusta</i>		+													
<i>Epithemia argus</i> var. <i>longicornis</i>			+												
<i>Epithemia intermedia</i>			+												
<i>Epithemia muelleri</i>			+												
<i>Epithemia parallela</i>		+													
<i>Epithemia porcellus</i>			+												
<i>Eunotia flexuosa</i>		+													
<i>Eunotia exigua</i>			+												
<i>Eunotia lunaris</i> var. <i>capitata</i>		+													
<i>Eunotia minor</i>		+													
<i>Eunotia monodon</i>		+	+												
<i>Eunotia pectinalis</i> var. <i>ventricosa</i>	+														
<i>Eunotia praerupta</i>		+								+					
<i>Eunotia sibirica</i>		+									+				
<i>Eunotia tenella</i>		+	+												
<i>Fragilaria capucina</i>		+													
<i>Frustulia saxonica</i>		+													
<i>Gomphonella olivacea</i>								+							

<i>Gomphonema acuminatum</i>		+	+						+						
<i>Gomphonema augur</i>		+													
<i>Gomphonema brebissonii</i>		+													
<i>Gomphonema trigonocephalum</i>			+												
<i>Gomphonema truncatum</i>		+													
<i>Gyrosigma attenuatum</i>											+				
<i>Halamphora coffeiformis</i>			+												
<i>Hantzschia amphioxys</i>	+	+	+												
<i>Hippodonta hungarica</i>		+													
<i>Karayevia kolbei</i>			+								+				
<i>Lindavia radiosa</i>										+					
<i>Melosira lineata</i>									+						
<i>Melosira nummuloides</i>			+												
<i>Melosira varians</i>			+							+	+				
<i>Navicula cincta</i>		+													
<i>Navicula cryptocephala</i>								+							
<i>Craticula perrotettii</i>		+													
<i>Petroplacus platystoma</i>											+				
<i>Prestauroneis protracta</i>										+					
<i>Cosmioneis pusilla</i>	+														
<i>Navicula reinhardtii</i>		+	+					+	+		+				
<i>Navicula shoenfeldii</i>											+				
<i>Navicula sp.</i>										+	+				

<i>Hippodonta subcostulata</i>		+													
<i>Navicula tripunctata</i>								+							
<i>Neidium affine</i> var. <i>undulatum</i>			+												
<i>Neidium ladogensense</i>		+									+				
<i>Nitzschia palea</i>		+													
<i>Nitzschia sociabilis</i>		+													
<i>Staurosirella martyi</i>								+							
<i>Paralia sulcata</i>	+														
<i>Pinnularia brebissonii</i>	+	+			+						+				
<i>Pinnularia brevicostata</i>			+												
<i>Oestrupia ergadensis</i>	+	+													
<i>Pinnularia intermedia</i>			+												
<i>Pinnularia neglecta</i>		+													
<i>Pinnularia sublanceolata</i>		+													
<i>Placoneis elginensis</i>			+					+		+					
<i>Placoneis gastrum</i>									+						
<i>Pseudostaurosira elliptica</i>										+					
<i>Pseudostaurosira subconstricta</i>								+		+					
<i>Epithemia parallela</i>		+													
<i>Rhopalodia gibba</i>		+	+												
<i>Sellaphora bacillum</i>								+							
<i>Stauroneis acuta</i>		+	+												
<i>Stauroneis anceps</i>	+	+	+												
<i>Stauroneis dilatata</i>			+												
<i>Stauroneis nobilis</i>			+												
<i>Staurosirella lapponica</i>			+												
<i>Staurosirella leptostauron</i>								+		+					

<i>Stephanocyclus meneghinianus</i>	+	+	+						+	+	+		+		
<i>Stephanodiscus astraea</i>	+	+	+					+	+	+	+				+
<i>Stephanodiscus minutulus</i>								+		+					
<i>Stephanopyxis sp.</i>		+													
<i>Iconella helvetica</i>											+				
<i>Surirella librile</i>								+		+					
<i>Ulnaria capitata</i>											+				
<i>Synedra famelica</i>										+					
<i>Pseudostaurosira parasitica</i>									+						
<i>Trigonium formosum</i>		+													
<i>Tryblionella sp.</i>										+					
<i>Tryblionella victoriae</i>								+							



Таблица 3. Распространение диатомовых водорослей по разрезу скв. С1.

	1,80-1,95 м	3,40-3,50 м	3,90-4,05 м
<i>Achnanthes inflata</i>	+		
<i>Amphora copulata</i>			+
<i>Aulacoseira ambigua</i>	+	+	+
<i>Aulacoseira distans</i>			+
<i>Aulacoseira granulata</i>		+	+
<i>Aulacoseira islandica</i>		+	
<i>Aulacoseira pusilla</i>		+	
<i>Caloneis silicula</i>			+
<i>Cocconeis lineata</i>		+	+
<i>Cocconeis placentula</i>			+
<i>Craticula cuspidata</i>	+	+	+
<i>Cymatopleura elliptica</i>		+	+
<i>Cymatopleura sp.</i>			+
<i>Cymbella cistula</i>		+	+
<i>Cymbella helvetica</i>			+
<i>Cymbella sp.</i>			+
<i>Encyonema minutum</i>			+
<i>Epithemia adnata</i>	+	+	+
<i>Rhopalodia gibba</i>	+		
<i>Epithemia sores</i>			+
<i>Epithemia sp.</i>			+
<i>Epithemia sp.2</i>			+
<i>Epithemia turgida</i>		+	+
<i>Eunotia bigibba</i>			+
<i>Eunotia monodon</i>		+	+
<i>Gomphonema brebissonii</i>		+	

<i>Gomphonema gracile</i>		+	
<i>Gyrosigma acuminatum</i>		+	+
<i>Gyrosigma attenuatum</i>			
<i>Gyrosigma sp.</i>			+
<i>Hantzschia amphioxys</i>		+	+
<i>Hantzschia calcifuga</i>	+		
<i>Melosira varians</i>			+
<i>Navicula oblonga</i>			+
<i>Navicula sp.</i>	+	+	
<i>Navicula tripunctata</i>			+
<i>Neidium iridis</i>			+
<i>Nitzschia heufleriana</i>	+		+
<i>Nitzschia sp.</i>			
<i>Pinnularia brebissonii</i>		+	+
<i>Pinnularia neomajor</i>			+
<i>Pinnularia sp.</i>			+
<i>Pinnularia sp.2</i>			+
<i>Placoneis elginensis</i>			+
<i>Placoneis gastrum</i>			+
<i>Stauroneis amphicephala</i>		+	
<i>Stephanodiscus astraes</i>		+	+
<i>Tryblionella sp.</i>			+
<i>Ulnaria biceps</i>			+
<i>Ulnaria contracta</i>		+	
<i>Ulnaria ulna</i>			+
Спикулы губок			+

Таблица 4. Распространение диатомовых водорослей по разрезу скв. ББ9.

	2,8-2,9 м	3,4-3,5 м	3,5-3,6 м	3,6-3,7 м
<i>Achnanthes inflata</i>	+			
<i>Amphora copulata</i>		+	+	+
<i>Aneumastus tuscus</i>	+			
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>		+	+	+
<i>Aulacoseira ambigua</i>	+	+	+	+
<i>Aulacoseira granulata</i>	+	+	+	+
<i>Aulacoseira islandica</i>		+	+	+
<i>Aulacoseira sp.</i>	+			
<i>Caloneis silicula</i>		+		
<i>Cocconeis lineata</i>		+	+	
<i>Cocconeis pediculus</i>			+	
<i>Cocconeis placentula</i>		+	+	+
<i>Craticula cuspidata</i>	+	+	+	+
<i>Cymatopleura elliptica</i>				+
<i>Cymbella cistula</i>	+	+	+	+
<i>Encyonema cf. minutum</i>				+
<i>Cymbella cistula</i>				+
<i>Cymbella laevis</i>		+		
<i>Cymbella proxima</i>		+		
<i>Cymbella sp.</i>				+
<i>Cymbopleura lata var. americana</i>		+		
<i>Cymbopleura inaequalis</i>		+	+	+
<i>Diploneis parva</i>			+	
<i>Encyonema minutum</i>		+	+	
<i>Encyonema sp.</i>			+	
<i>Encyonema cespitosum</i>			+	

<i>Epithemia adnata</i>	+	+	+	+
<i>Epithemia argus</i>				+
<i>Epithemia frickei</i>				+
<i>Rhopalodia gibba</i>	+		+	
<i>Epithemia porcellus</i>	+	+	+	+
<i>Epithemia sorex</i>	+	+	+	+
<i>Epithemia sp.</i>	+			
<i>Epithemia turgida</i>	+			+
<i>Eunotia monodon</i>	+		+	
<i>Fragilaria capucina</i>		+		
<i>Fragilaria vaucheriae</i>		+	+	+
<i>Gomphonema acuminatum</i>		+		+
<i>Gomphonema insigne</i>		+		
<i>Gomphonema truncatum</i>			+	
<i>Gomphonema angustatum</i>			+	
<i>Gyrosigma attenuatum</i>		+	+	+
<i>Hippodonta luneburgensis</i>				+
<i>Melosira varians</i>		+	+	
<i>Navicula oblonga</i>			+	
<i>Navicula sp.</i>		+		
<i>Navicula rostellata</i>			+	
<i>Neidium sp.</i>			+	+
<i>Nitzschia heufleriana</i>		+	+	
<i>Pinnularia aestuarii</i>		+		
<i>Pinnularia brebissonii</i>			+	+
<i>Pinnularia microstauron</i>	+			
<i>Pinnularia viridis</i>			+	+
<i>Placoneis elginensis</i>		+	+	+
<i>Pseudostaurosira robusta</i>		+		
<i>Sellaphora americana</i>		+		

<i>Sellaphora bacillum</i>		+		
<i>Sellaphora sp.</i>				+
<i>Sellaphora sp. 2</i>		+		+
<i>Sellaphora stroemii</i>				+
<i>Stauroneis acuta</i>	+	+		+
<i>Stauroneis anceps</i>	+			
<i>Stauroneis phoenicenteron</i>		+		
<i>Staurosira construens</i>		+		
<i>Pseudostaurosira elliptica</i>		+		
<i>Staurosira leptostauron</i>		+		+
<i>Stephanocyclus meneghinianus</i>			+	+
<i>Stephanodiscus astraea</i>	+		+	+
<i>Stephanodiscus minutulus</i>		+		
<i>Surirella cf. capronii</i>		+		
<i>Surirella librile</i>		+	+	
<i>Pseudostaurosira parasitica</i>		+		
<i>Synedra sp.</i>			+	
<i>Tryblionella gracilis</i>		+	+	
<i>Tyblionella apiculata</i>				+
<i>Ulnaria capitata</i>		+		
<i>Ulnaria delicatissima</i>			+	
<i>Ulnaria ulna</i>	+		+	
Спикулы губок	+		+	+

Таблица 5. Распространение диатомовых водорослей по разрезу скв. ББ1.

	0,15-0,30 м	0,30-0,45 м	0,45-0,60 м	0,60-0,75 м	0,75-0,90 м	1,05-1,10 м	1,2-1,3 м	1,5-1,7 м
<i>Aulacoseira cf. granulata</i>			+					
<i>Aulacoseira distans</i>	+						+	
<i>Aulacoseira granulata</i>	+	+		+	+		+	+
<i>Aulacoseira islandica</i>				+		+		
<i>Aulacoseira ambigua</i>			+	+			+	+
<i>Aulacoseira sp.</i>			+	+				
<i>Aulacoseira sp.2</i>					+			
<i>Aulacoseira sp.3</i>					+			
<i>Caloneis limosa</i>	+							
<i>Cocconeis lineata</i>	+							+
<i>Cocconeis lineata</i>								
<i>Craticula cuspidata</i>					+			
<i>Stephanocyclus meneghinianus</i>		+		+				
<i>Stephanocyclus meneghinianus</i>								
<i>Epithemia adnata</i>							+	
<i>Epithemia sp. (обл.)</i>							+	
<i>Eunotia monodon</i>			+					
<i>Gomphonema sp.</i>	+							
<i>Gomphonema sp. (обл.)</i>	+							
<i>Gomphonema truncatum</i>			+					
<i>Hantzschia sp. (обл.)</i>								+
<i>Melosira varians</i>				+				+
<i>Navicula sp.</i>			+					
<i>Nitzschia minuta</i>	+							
<i>Nitzschia sp. (обл.)</i>			+					
<i>Pinnularia brebissonii</i>			+					
<i>Pinnularia sp.</i>					+			

<i>Rhopalodia gibba</i>				+	+			
<i>Rhopalodia gibba</i> (обл.)								+
<i>Rhopalodia sp.</i> (обл.)				+				
<i>Stephanodiscus astraea</i>				+			+	+
<i>Stephanodiscus minutulus</i>					+			
<i>Ulnaria sp.</i> (обл.)	+			+				
<i>Ulnaria ulna</i> var. <i>biceps</i>			+					

Таблица 6. Распространение диатомовых водорослей по разрезу скв. DM-1.

	0,2 м	0,4 м	0,9 м	1,1 м	1,9 м	2,2 м	2,4 м	2,6 м	3,0 м	3,5 м	3,8 м	4,1 м	4,4 м	4,8 м	5,2 м	5,4 м
<i>Karayevia kolbei</i>			+													
<i>Amphora copulata</i>				+	+		+		+					+		+
<i>Halamphora holsatica</i>											+			+		
<i>Amphora proteus</i>					+											
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>							+									
<i>Aulacoseira pfaffiana</i>										+						
<i>Aulacoseira granulata</i>	+	+		+	+	+	+			+	+	+	+	+		+
<i>Aulacoseira islandica</i>														+		
<i>Aulacoseira ambigua</i>		+		+		+	+		+	+				+		+
<i>Cocconeis placentula</i>		+			+				+		+					
<i>Craticula cuspidata</i>	+	+					+			+	+			+	+	
<i>Stephanocyclus meneghinianus</i>	+	+		+		+	+							+		
<i>Cymbopleura hercynica</i>														+		
<i>Cymbella cistula</i>		+		+			+		+							
<i>Cymbella ventricosa</i>										+		+				



<i>Epithemia argus</i>							+					+		+	+	+
<i>Epithemia argus</i> var. <i>longicornis</i>										+						
<i>Epithemia frickei</i>							+									
<i>Epithemia turgida</i>														+		
<i>Epithemia adnata</i>						+	+	+	+			+		+	+	+
<i>Epithemia porcellus</i>														+		
<i>Epithemia saxonica</i>														+		
<i>Eunotia diodon</i>		+					+									
<i>Eunotia formica</i>							+									
<i>Eunotia exigua</i>							+	+	+					+		+
<i>Eunotia monodon</i>							+	+	+		+	+		+	+	
<i>Eunotia pectinalis</i>							+	+								
<i>Eunotia</i> sp.					+											
<i>Fragilaria capucina</i>	+	+														
<i>Staurosira construens</i>	+															
<i>Gomphonema acuminatum</i>							+			+				+		
<i>Gomphonema gracile</i>														+		
<i>Gomphonema truncatum</i>							+									
<i>Gyrosigma</i> sp.									+							
<i>Halamphora coffeiformis</i>							+									
<i>Hantzschia amphioxys</i>	+	+	+				+		+					+		+
<i>Hantzschia</i> sp.	+	+														
<i>Hantzschia virgata</i>	+															
<i>Hantzschia vivax</i>	+															
<i>Melosira nummuloides</i>							+									
<i>Melosira varians</i>		+														
<i>Navicula cincta</i>		+														
<i>Navicula reinhardtii</i>					+											
<i>Nitzschia intermedia</i>					+		+									
<i>Nitzschia palea</i>		+														
<i>Staurosirella martyi</i>	+	+	+											+		
<i>Paralia sulcata</i>						+										
<i>Pinnularia abaujensis</i>										+						
<i>Pinnularia brebissonii</i>	+					+	+	+	+							

<i>Pinnularia fonticola</i>				+												
<i>Pinnularia legumen</i>					+									+		
<i>Pseudostaurosira brevistrata</i> var. <i>inflata</i>						+										
<i>Epithemia gibba</i>							+							+	+	+
<i>Stauroneis anceps</i>							+			+						
<i>Stauroneis legumen</i>							+									
<i>Stauroneis nobilis</i>							+							+		
<i>Stephanodiscus astraea</i>	+	+		+	+	+										
<i>Surirella subsalsa</i>					+											
<i>Thalassiosira eccentrica</i>									+							
<i>Thalassiosira hyperborea</i>				+												
<i>Ulnaria ulna</i>						+	+	+	+		+	+			+	

Таблица 7. Распространение диатомовых водорослей в естественном обнажении разрез 1.

[illegible]

<i>Gomphonema acuminatum</i>						+	+	+								
<i>Gomphonema angustatum</i>	+	+	+	+	+						+					
<i>Gomphonema angustatum</i> var. <i>undulatum</i>		+														
<i>Gomphonema angustum</i>		+														
<i>Gomphonema augur</i>														+		
<i>Gomphonema dichotomum</i>									+							
<i>Gomphonema subclavatum</i>		+							+							
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	+	+	+		+	+	+	+				+		+		
<i>Hantzschia amphioxys</i>	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+		+		+
<i>Hippodonta lesmonensis</i>						+	+	+				+				
<i>Iconella helvetica</i>								+								
<i>Melosira varians</i>	+				+				+		+			+		
<i>Navicula angusta</i>														+		
<i>Navicula avenacea</i>	+	+	+	+	+	+		+						+		
<i>Navicula capitata</i>														+	+	
<i>Hippodonta hungarica</i>							+					+				
<i>Navicula capitatoradiata</i>	+		+		+			+					+			
<i>Navicula cincta</i>						+							+			
<i>Navicula cryptocephala</i>				+			+		+			+				
<i>Navicula cryptotenella</i>	+				+	+	+									+
<i>Navicula digitoradiata</i>															+	
<i>Navicula eidrigeana</i>													+			
<i>Craticula halophila</i>												+				
<i>Navicula menisculus</i>	+				+	+	+		+	+	+	+	+		+	+
<i>Navicula oppugnata</i>																+
<i>Navicula phyllepta</i>			+	+												
<i>Navicula reinhardtii</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Navicula rhynchocephala</i>					+			+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Geissleria schoenfeldii</i>	+															
<i>Navicula tripunctata</i>			+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Nitzschia gracilis</i>												+				
<i>Nitzschia heufleriana</i>					+	+	+	+	+	+						+
<i>Nitzschia heufleriana</i> var. <i>elongata</i>																+
<i>Nitzschia linearis</i>														+		
<i>Nitzschia minuta</i>																+
<i>Staurosirella martyi</i>											+					
<i>Parlibellus delognei</i>												+				
<i>Pinnularia borealis</i>					+											
<i>Pinnularia brebissonii</i>	+			+			+		+							
<i>Pinnularia cruciformis</i>						+										
<i>Placoneis elginensis</i>		+	+			+		+	+			+	+	+		+
<i>Placoneis exigua</i>					+		+									
<i>Placoneis hambergii</i>					+									+		
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	+	+	+	+												

<i>Pseudostaurosira robusta</i>	+															
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>													+			+
<i>Sellaphora americana</i>								+				+				
<i>Sellaphora bacillum</i>		+	+													
<i>Sellaphora pupula</i>																+
<i>Stauroneis alpina</i>							+	+								
<i>Stauroneis anceps</i>													+			
<i>Stauroneis phoenicenteron</i>					+											
<i>Stauroneis schulzii</i>						+	+	+								
<i>Stauroneis smithii</i>		+														
<i>Staurosira subsalina</i>								+					+			
<i>Staurosirella lapponica</i>									+			+			+	
<i>Staurosirella leptostauron</i>				+	+	+	+	+				+	+	+		
<i>Stephanodiscus astraea</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Stephanodiscus minutulus</i>			+				+		+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Surirella angusta</i>			+													
<i>Surirella brebissonii</i>	+					+			+	+		+				
<i>Surirella brebissonii</i> <i>var. kuetzingii</i>			+		+								+	+	+	+
<i>Iconella constricta</i>			+	+	+		+		+			+				
<i>Surirella minuta</i>													+			
<i>Surirella robusta</i>						+										
<i>Surirella visurgis</i>														+	+	
<i>Synedra famelica</i>	+	+									+	+	+			
<i>Pseudostaurosira parasitica</i>	+	+	+	+	+		+	+	+						+	
<i>Tabularia fasciculata</i>												+		+		
<i>Thalassiosira eccentrica</i>			+													
<i>Thalassiosira sp.</i>														+	+	
<i>Tryblionella apiculata</i>								+								
<i>Tryblionella victoriae</i>								+								
<i>Tryblionella hantzschiana</i>								+	+							
<i>Tryblionella hungarica</i>														+		
<i>Tryblionella levidensis</i>						+			+				+		+	
<i>Tryblionella littoralis</i>							+									
<i>Ulnaria ulna</i>									+		+		+	+	+	

Таблица 8. Распространение диатомовых водорослей в естественном обнажении разрез 2.

	10 см	20 см	30 см	40 см	50 см	55 см	60 см	65 см	70 см	75 см
<i>Planothidium rostratum</i>					+					
<i>Amphora sp.</i>						+				
<i>Amphora copulata</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>	+	+						+		+
<i>Aulacoseira distans</i>							+	+	+	
<i>Aulacoseira granulata</i>	+	+	+	+		+	+		+	+
<i>Aulacoseira cf. granulata</i>				+	+	+	+	+	+	+
<i>Aulacoseira islandica</i>		+			+					

<i>Aulacoseira italica</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Berkeleya</i> sp.					+	+				
<i>Caloneis bacillum</i>					+					
<i>Caloneis westii</i>										+
<i>Caloneis latiuscula</i>			+	+						
<i>Caloneis limosa</i>				+			+			
<i>Caloneis silicula</i>			+							
<i>Caloneis ventricosa</i>									+	
<i>Cocconeis pediculus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cocconeis placentula</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cosmioneis lundstroemii</i>					+					
<i>Craticula cuspidata</i>	+		+	+				+		
<i>Stephanocyclus meneghinianus</i>				+	+			+		
<i>Cymatopleura elliptica</i>				+	+					
<i>Surirella librile</i>			+	+	+	+	+	+	+	
<i>Cymbella affinis</i>				+	+	+	+	+	+	
<i>Cymbella cistula</i>						+				+
<i>Cymbella helvetica</i>	+									
<i>Amphora thumensis</i>			+							
<i>Encyonema gracile</i>						+				
<i>Epithemia frickei</i>				+				+		
<i>Epithemia turgida</i>						+				
<i>Eunotia bidens</i>							+			
<i>Eunotia formica</i>									+	
<i>Eunotia exigua</i>		+	+			+				
<i>Eunotia monodon</i>	+									
<i>Eunotia tenella</i>				+						
<i>Fragilaria capucina</i>				+						
<i>Staurosira construens</i>		+								
<i>Fragilaria intermedia</i>					+					
<i>Fragilaria vaucheriae</i>		+	+		+	+	+	+	+	+
<i>Gomphocymbellopsis ancylus</i>					+					
<i>Gomphonella olivacea</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Gomphonema coronatum</i>					+					
<i>Gomphonema angustatum</i>					+					
<i>Gomphonema angustum</i>	+	+		+	+			+		
<i>Gomphonella calcarea</i>	+									
<i>Gomphonema gracile</i>								+		
<i>Gomphonema parvulum</i>	+									
<i>Gyrosigma acuminatum</i>						+		+	+	+
<i>Hantzschia amphioxys</i>			+			+				
<i>Hippodonta costulata</i>							+			
<i>Hippodonta luneburgensis</i>					+	+	+	+	+	
<i>Iconella capronii</i>							+			
<i>Melosira varians</i>	+		+	+	+		+	+	+	+
<i>Navicula avenacea</i>				+	+		+	+	+	+
<i>Hippodonta hungarica</i>					+					
<i>Navicula capitatoradiata</i>										+
<i>Navicula cari</i>			+							
<i>Navicula digitoradiata</i>	+									
<i>Navicula margalithii</i>					+				+	
<i>Navicula menisculus</i>	+			+	+	+	+	+	+	+
<i>Navicula oblonga</i> var. <i>subcapitata</i>	+									+
<i>Navicula radiosa</i>				+						
<i>Navicula reinhardtii</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

<i>Navicula tripunctata</i>					+	+	+	+	+	+
<i>Navicula</i> sp.						+				
<i>Neidium dubium</i>								+		
<i>Tryblionella acuminata</i>		+								
<i>Homoeocladia angularis</i>								+		
<i>Nitzschia communis</i>		+								
<i>Nitzschia frequens</i>										+
<i>Nitzschia frustulum</i>										+
<i>Nitzschia gracilis</i>										+
<i>Nitzschia heufleriana</i>			+	+			+	+	+	+
<i>Nitzschia ovalis</i>				+						
<i>Nitzschia palea</i>				+	+					
<i>Nitzschia recta</i>										+
<i>Nitzschia sigma</i>							+			
<i>Nitzschia sociabilis</i>									+	
<i>Staurosirella martyi</i>	+		+		+			+		
<i>Pinnularia brebissonii</i>	+	+	+		+		+	+		
<i>Pinnularia</i> sp.	+									+
<i>Pinnularia cf. brebissonii</i>	+						+			
<i>Pinnularia neomajor</i> var. <i>intermedia</i>			+							
<i>Placoneis elginensis</i>		+					+		+	
<i>Placoneis exigua</i>			+	+	+			+		
<i>Planothidium haynaldii</i>		+				+		+		
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	+									
<i>Pseudostaurosira parasitica</i>	+							+	+	+
<i>Pseudostaurosira subconstricta</i>	+									
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>						+	+			
<i>Sellaphora</i> sp.						+			+	
<i>Staurosirella leptostauron</i>	+		+		+	+		+		
<i>Stephanodiscus astraea</i>	+	+	+	+	+		+	+	+	+
<i>Stephanodiscus minutulus</i>			+		+		+	+		+
<i>Stephanodiscus</i> sp.					+					
<i>Surirella brebissonii</i> var. <i>kuetzingii</i>					+	+	+		+	
<i>Iconella constricta</i>					+					
<i>Surirella minuta</i>		+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Surirella smithii</i>									+	
<i>Surirella</i> sp.					+				+	
<i>Surirella visurgis</i>										+
<i>Thalassiosira eccentrica</i>						+	+	+	+	+
<i>Thalassiosira incerta</i>					+					
<i>Tryblionella acuta</i>					+					
<i>Tryblionella apiculata</i>				+						+
<i>Tryblionella levidensis</i>			+	+	+		+	+	+	+
<i>Ulnaria ulna</i>					+	+	+		+	+



Таблица 9. Распространение диатомовых по разрезу скв. Рыбачья.

	0,2- 0,3 м	0,3- 0,8 м	1,73- 1,96 м	2,07- 2,11 м	2,15- 2,20 м	2,23- 2,37 м	2,95- 2,99 м	3,13- 3,50 м	3,5- 3,54 м
<i>Achnanthes brevipes</i> var. <i>intermedia</i>	+								
<i>Actinocyclus curvatulus</i>	+								
<i>Actinocyclus octonarius</i>	+		+						
<i>Actinocyclus octonarius</i> var. <i>tenellus</i>	+								
<i>Amphora commutata</i>		+	+		+	+	+	+	+
<i>Amphora copulata</i>		+	+	+	+	+			
<i>Amphora delicatissima</i>			+						
<i>Amphora obtusa</i>		+							
<i>Amphora ovalis</i>	+								
<i>Amphora proteus</i>	+								
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>					+	+	+	+	
<i>Aulacoseira granulata</i>	+		+	+	+	+			+
<i>Aulacoseira italica</i>			+	+	+	+			+
<i>Aulacoseira perglabra</i>			+						
<i>Caloneis ventricosa</i>			+						
<i>Cocconeis placentula</i>		+	+		+	+			+
<i>Cocconeis lineata</i>	+	+	+	+		+			+
<i>Coscinodiscus radiatus</i>									+
<i>Coscinodiscus perforatus</i>	+								+
<i>Craticula cuspidata</i>		+			+				+
<i>Stephanocyclus meneghinianus</i>			+	+	+	+		+	+
<i>Lindavia socialis</i>			+						
<i>Cymatopleura elliptica</i>			+	+	+				
<i>Surirella librile</i>			+	+	+	+			
<i>Cymbella cistula</i>		+	+	+	+				
<i>Cymboppleura inaequalis</i>				+					
<i>Cymbella helvetica</i>		+							
<i>Cymbella laevis</i>			+						
<i>Cymbella tumida</i>			+	+					
<i>Encyonema elginense</i>								+	+
<i>Cymbella ventricosa</i>		+	+	+	+	+			+
<i>Diploneis stroemii</i>	+								
<i>Ellerbeckia arenaria</i>	+								
<i>Epithemia frickei</i>								+	
<i>Epithemia argus</i>	+	+	+		+			+	+
<i>Epithemia sorex</i>		+	+			+	+	+	
<i>Epithemia turgida</i>	+				+	+			
<i>Epithemia adnata</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Epithemia. porcellus</i>		+	+	+	+		+	+	+
<i>Eunotia curvata</i>	+								
<i>Eunotia fallax</i>				+					
<i>Eunotia formica</i>									+
<i>Eunotia exigua</i>									+
<i>Eunotia monodon</i>				+	+				+
<i>Fragilaria capucina</i>				+	+	+			+
<i>Fragilaria intermedia</i>			+						
<i>Gomphonella olivacea</i>	+		+						+
<i>Gomphonema acuminatum</i>			+			+			+
<i>Gomphonema insigne</i>			+						
<i>Gomphonema augur</i>					+				

<i>Gomphonema gracile</i>								+	+
<i>Gomphonema minutum</i>						+			
<i>Gomphonema truncatum</i>	+		+	+		+			
<i>Grammatophora macilenta</i>	+								
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	+		+	+	+	+			+
<i>Hantzschia amphioxys</i>	+		+	+	+				+
<i>Hantzschia virgata</i>									+
<i>Lyrella lyra</i>		+						+	
<i>Aulacoseira distans</i>									
<i>Melosira varians</i>						+			
<i>Metascolioneis tumida</i>		+							
<i>Navicula avenacea</i>						+			
<i>Navicula capitata</i>						+			+
<i>Hippodonta luneburgensis</i>	+								
<i>Navicula capitatoradiata</i>					+			+	
<i>Navicula cincta</i>				+	+				+
<i>Navicula cryptocephala</i>			+	+	+				
<i>Parlibellus delognei</i>								+	
<i>Placoneis exigua</i>					+	+			+
<i>Placoneis gastrum</i>	+				+				
<i>Navicula libonensis</i>							+		
<i>Lyrella lyroides</i>							+		
<i>Navicula radiosa</i>			+						
<i>Navicula reinhardtii</i>					+				
<i>Navicula salinarum</i>			+	+	+				
<i>Navicula shoenfeldii</i>				+	+				
<i>Navicula slesvicensis</i>			+	+					
<i>Navicula sp.</i>		+			+				+
<i>Nitzschia frustulum</i>						+			
<i>Staurosirella martyi</i>		+							
<i>Pinnularia aestuarii</i>					+				
<i>Pinnularia brebissonii</i>					+				+
<i>Pinnularia cruciformis</i>									+
<i>Pinnularia viridis</i>	+						+	+	
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>			+	+					
<i>Rhopalodia gibba</i>		+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Rhopalodia gibberula</i>		+						+	
<i>Shionodiscus caspicus</i>	+								
<i>Stauroneis anceps</i>									+
<i>Stauroneis legumen</i>									
<i>Staurosira construens</i>									+
<i>Staurosirella lapponica</i>			+						
<i>Staurosirella leptostauron</i>			+						
<i>Stephanodiscus astraea</i>	+	+	+	+	+	+			+
<i>Iconella bifrons</i>			+						
<i>Campylodiscus neofastuosus</i>		+						+	
<i>Tryblionella hantzschiana</i>						+			
<i>Surirella striatula</i>			+	+		+			
<i>Ulnaria capitata</i>	+		+	+	+	+			+
<i>Ulnaria ulna</i>	+			+	+	+			+
<i>Thalassiosira eccentrica</i>			+						
<i>Thalassiosira tenera</i>	+		+						

Таблица 10. Распространение диатомовых водорослей по разрезу скв. Zb-1.

	3,5-3,6
<i>Aulacoseira granulata</i>	+
<i>Aulacoseira italica</i>	+
<i>Cocconeis placentula</i>	+
<i>Cocconeis lineata</i>	+
<i>Amphora copulata</i>	+
<i>Gomphonema truncatum</i>	+
<i>Stephanocyclus meneghinianus</i>	+
<i>Ulnaria capitata</i>	+
<i>Stephanodiscus astraea</i>	+
<i>Fragilaria capucina</i>	+
<i>Epithemia turgida</i>	+
<i>Aulacoseira distans</i>	+
<i>Epithemia porcellus</i>	+
<i>Navicula cryptocephala</i>	+
<i>Nitzschia frustulum</i>	+
<i>Coscinodiscus stellaris</i>	+
<i>Cymbella laevis</i>	+
<i>Surirella ovalis</i>	+
<i>Aulacoseira perglabra</i>	+
<i>Gomphonema acuminatum</i>	+
<i>Gomphonema augur</i>	+
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>	+
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	+
<i>Cymbella lanceolata</i> var. <i>cornuta</i>	+
<i>Navicula libonensis</i>	+
<i>Cymbella tumida</i>	+
<i>Epithemia sores</i>	+
<i>Eunotia formica</i>	+
<i>Epithemia parallela</i>	+
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	+
<i>Craticula cuspidata</i>	+
<i>Melosira varians</i>	+
<i>Eunotia exigua</i>	+
<i>Ulnaria ulna</i>	+
<i>Epithemia argus</i>	+
<i>Gomphonema insigne</i>	+
<i>Pinnularia brebissonii</i>	+
<i>Rhopalodia gibba</i>	+
<i>Eunotia monodon</i>	+
<i>Hantzschia amphioxys</i>	+

## Приложение 7

Экологическая характеристика всех изученных видов диатомовых водорослей.

1 – название вида; 2 – синонимика вида; 3 – местообитание: b – бентос, p – планктон, s – почвенный, наземные субстраты, ep – эпифит; 4 – галобность: oh – олигогалооб, h – олигогалооб-галофоб, i – олигогалооб-индифферент, hf – олигогалооб-галофил, mh – мезогалооб; 5 – индикаторы ацидификации: acf – ацидофил, alf – алкалифил, sp – циркумнейтральный, ind – индифферент; 6 – географическая приуроченность: a – альпийский вид, a-a – аркто-альпийский, b – бореальный, c – космополит, Na – голарктический, Pt – палеотропический, mt – средиземноморский

Вид	Синонимика вида	Экологическая характеристика			
		местообитание	Галобность	индикаторы ацидификации	географическая приуроченность
1	2	3	4	5	6
<i>Achnanthes brevipes</i> var. <i>intermedia</i> (Kützinger) Cleve	<i>Achnanthes intermedia</i> (Kütz.); <i>Achnanthes subsessilis</i> (Kütz.)	b	hf	-	c
<i>Achnanthes inflata</i> (Kützinger) Grunow	<i>Stauroneis inflata</i> Kütz.; <i>Achnanthidium inflatum</i> (Kütz.) Hutton	b	-	-	-
<i>Actinocyclus curvatulus</i> Janisch	<i>Coscinodiscus curvatulus</i> var. <i>subocellatus</i> (Grunow); <i>Actinocyclus subocellatus</i> (Grunow) Rattray	p	mh	-	b
<i>Actinocyclus normanii</i> (W.Gregory ex Greville) Hustedt	<i>Coscinodiscus normanii</i> W.Gregory ex Greville	p	mh	-	c
<i>Actinocyclus octonarius</i> Ehrenberg	<i>Actinocyclus ehrenbergii</i> (Ralfs); <i>Actinocyclus moniliformis</i> (Ralfs ex Pritchard)	p	mh	alf	c
<i>Actinocyclus octonarius</i> var. <i>tenellus</i> (Brébisson) Hendey	<i>Eupodiscus tenellus</i> (Bréb.); <i>Actinocyclus tenellus</i> (Bréb.) Grunow; <i>Actinocyclus ehrenbergii</i> var. <i>tenellus</i> (Bréb.) Hustedt	p	mh	-	c
<i>Amphora commutata</i> Grun.	-	b	mh	-	c
<i>Amphora copulata</i> (Kütz.) Schoeman et Archibald	<i>Frustulia copulata</i> (Kütz.)	b, ep	i	alf	c

<i>Amphora delicatissima</i> Krasske	-	b	mh	-	c
<i>Amphora obtusa</i> W.Greg.	<i>Amphiprora maxima</i> Jan. & Rabenhorst <i>Amphora permagna</i> Pantocsek; <i>Amphora obtusa</i> f. <i>typica</i> Cleve; <i>Amphora arenaria</i> var. <i>permagna</i> Peragallo & Peragallo; <i>Amphora obtusa</i> var. <i>permagna</i> (Pant.) Mills	b	-	-	-
<i>Amphora ovalis</i> (Kütz.) Kütz.	<i>Frustulia ovalis</i> (Kütz.); <i>Clevamphora ovalis</i> (Kütz.) Mereschowsky; <i>Navicula amphora</i> (Ehr.); <i>Amphora ocellata</i> (Ehr.); <i>Amphora amphora</i> (Ehr.) Pantocsek	b	i	alf	c
<i>Amphora proteus</i> (W.Greg.)	<i>Amphora affinis</i> var. <i>proteus</i> (Greg.) Tempère & Peragallo; <i>Amphora hexagonalis</i> (O.N.Witt); <i>Amphora speciosa</i> (Castracane); <i>Amphora proteus</i> (Grun.) Zanon	b	mh	alf	b
<i>Amphora thumensis</i> (A.Mayer) Willi Krieger	-	b	i	ind	b
<i>Aneumastus rostratus</i> (Hust.) Lange-Bertalot	<i>Navicula tuscula</i> var. <i>rostrata</i> Hust.; <i>Aneumastus tusculus</i> f. <i>rostratus</i> (Hust.) Bukhtiyarova; <i>Aneumastus tusculus</i> var. <i>rostratus</i> (Hust.) N.A.Andresen, Stoermer & R.G.Kreis Jr.	b	-	-	-
<i>Aneumastus stroesei</i> (Østrup) D.G.Mann	<i>Navicula tuscula</i> var. <i>stroesei</i> Østr.; <i>Navicula stroesei</i> (Østr.) A.Cleve	b	-	-	-
<i>Aneumastus tusculus</i> (Ehr.) D.G.Mann & A.J.Stickle	<i>Navicula tuscula</i> Ehr.; <i>Stauroptera tuscula</i> (Ehr.) Ehr.; <i>Schizonema tusculum</i> (Ehr.) Kuntze; <i>Clevia tuscula</i> (Ehrenberg) Meresch.; <i>Mastogloia tuscula</i> (Ehrenberg) Hajós	b	i	ind	b
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> (Ehr.) Pfitz	<i>Navicula sphaerophora</i> (Kütz.); <i>Navicula amphibaena</i> var. <i>sphaerophora</i> (Kütz.) Rabenhorst	p-b	hl	alb	c
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grun.) Simonsen	<i>Melosira crenulata</i> var. <i>ambigua</i> Grun.; <i>Melosira ambigua</i> (Grun.) O.Müller; <i>Melosira italica</i> var. <i>ambigua</i> (Grun.) Cleve-Euler	p	i	alf	c
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehr.) Simonsen	<i>Gaillonella distans</i> (Ehr.); <i>Meloseira distans</i> (Ehr.)	p	h	ind	c
<i>Aulacoseira granulata</i> Ehr.	<i>Gaillonella granulata</i> (Ehr.); <i>Melosira granulata</i> (Ehr.); <i>Melosira punctata</i> var. <i>granulata</i> (Ehr.); <i>Lysigonium granulatum</i> (Ehr.); <i>Orthoseira granulata</i> (Ehr.); <i>Melosira polymorpha</i> subsp. <i>granulata</i> (Ehr.)	p	hf	ind	c
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O.Müll.) Simons.	<i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i> O.Müll.	p	i	alf	c
<i>Aulacoseira humilis</i> (Cleve-Euler) Genkal & Trifonova	<i>Melosira distans</i> var. <i>humilis</i> Cleve-Eul. <i>Aulacoseira distans</i> var. <i>humilis</i> (Cleve-Eul.) Gasse	p	-	-	b
<i>Aulacoseira islandica</i> Müll.	<i>Melosira islandica</i> Müll.	p	hf	ind	c
<i>Aulacoseira islandica</i> f. <i>curvata</i> (Müll.) Simonsen	<i>Melosira islandica</i> f. <i>curvata</i> Müll.	p	i	acf	b
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehr.)	<i>Gaillonella italica</i> (Ehr.); <i>Melosira italica</i> (Ehr.); <i>Aulacoseira italica</i> f. <i>italica</i> (Ehr.)	pb	i	ind	c

<i>Aulacoseira muzzanensis</i> (F.Meister) Kramm.	<i>Melosira muzzanensis</i> F.Meist.; <i>Melosira granulata</i> var. <i>muzzanensis</i> (F.Meist.) Hust.; <i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>muzzanensis</i> (F.Meist.) Simons.	p	i	acf	-
<i>Aulacoseira perglabra</i> (Østrup) E.Y.Haworth	<i>Melosira perglabra</i> (Østrup); <i>Melosira distans</i> var. <i>perglabra</i> (Østrup) E.G.Jorg.; <i>Melosira lirata</i> var. <i>perglabra</i> (Østrup) M.-B.Florin; <i>Aulacoseira lirata</i> var. <i>perglabra</i> (Østrup) R.Ross	pb	-	acf	-
<i>Aulacoseira pfaffiana</i> (Reinsch) Krammer	<i>Melosira pfaffiana</i> Reinsch; <i>Melosira distans</i> var. <i>pfaffiana</i> (Reinsch) Grunow; <i>Lysigonium pfaffianum</i> (Reinsch) Kuntze; <i>Melosira polymorpha</i> subsp. <i>distans</i> var. <i>pfaffiana</i> (Reinsch) Bethge	p	-	acf	-
<i>Aulacoseira pusilla</i> (F.Meister) A.Tuji & A.Houki	<i>Melosira pusilla</i> Meister	p	-	-	-
<i>Aulacoseira tenella</i> (Nygaard) Simonsen	<i>Melosira tenella</i> Nygaard; <i>Aulacoseira distans</i> var. <i>tenella</i> (Nygaard) R.Ross	p	-	-	-
<i>Aulacoseira valida</i> (Grun.) Simons.	<i>Melosira crenulata</i> var. <i>valida</i> Grun.	p	i	alb	a-a
<i>Brebissonia lanceolata</i> (C.Agardh) R.K.Mahoney & Reimer	<i>Cocconema boeckii</i> Ehr.; <i>Doryphora boeckii</i> (Ehr.) W.Smith; <i>Brebissonia boeckii</i> (Ehr.) Grun.; <i>Cymbella lanceolata</i> var. <i>boeckii</i> (Ehr.) Rabenhorst	b	i	alf	c
<i>Caloneis amphisbaena</i> (Bory) Cleve	<i>Navicula amphisbaena</i> Bory; <i>Schizonema amphisbaenum</i> (Bory) Kuntze	b	hf	alf	c
<i>Caloneis amphisbaena</i> var. <i>subsalina</i> (Donkin) Cleve	<i>Caloneis subsalina</i> (Donkin) Hendey				
<i>Caloneis bacillari</i> (Gregory) Cleve	<i>Navicula bacillaris</i> W.Gregory; <i>Caloneis bacillaris</i> var. <i>bacillaris</i> (Gregory) Cleve	b	-	-	-
<i>Caloneis bacillum</i> (Grun.) Cleve	<i>Stauroneis bacillum</i> Grun.	b	-	alf	c
<i>Caloneis crassa</i> (W.Gregory) R.Ross	<i>Navicula crassa</i> W.Gregory	b	-	-	-
<i>Caloneis latiuscula</i> (Kütz.) Cleve	-	b	-	-	-
<i>Caloneis leptosoma</i> (Grunow) Krammer	<i>Navicula leptosoma</i> Grun.; <i>Pinnularia leptosoma</i> (Grun.) Cleve; <i>Schizonema leptosomum</i> (Grun.) Kuntz.	b	-	-	-
<i>Caloneis limosa</i> (Kütz.) R.M.Patrick	<i>Navicula limosa</i> Kütz.; <i>Navicula nodosa</i> var. <i>limosa</i> (Kütz.) Rabenhorst; <i>Pinnularia limosa</i> (Kütz.) Rabenhorst; <i>Navicula gibberula</i> var. <i>limosa</i> (Kütz.) Schumann; <i>Neidium limosa</i> (Kütz.) Pfitzer; <i>Caloneis silicula</i> subsp. <i>limosa</i> (Kütz.) Mayer; <i>Navicula silicula</i> var. <i>undulata</i> (Grun.) Prochazka; <i>Caloneis silicula</i> var. <i>limosa</i> (Kütz.) VanLandingham	b	-	-	c
<i>Caloneis silicula</i> (Ehr.) Cleve	<i>Navicula silicula</i> Ehr.	b	i	alf	c

<i>Caloneis ventricosa</i> F.Meister	<i>Navicula ventricosa</i> Ehr.; <i>Navicula leptogongyla</i> Ehr.; <i>Navicula limosa</i> var. <i>ventricosa</i> (Ehr.) Grun.; <i>Caloneis silicula</i> var. <i>ventricosa</i> Cleve; <i>Schizonema ventricosum</i> (Ehr.) Kuntze; <i>Navicula viridis</i> var. <i>leptogongyla</i> (Ehr.) Fricke; <i>Pinnularia major</i> var. <i>leptogongyla</i> (Ehr.) Ant.Maye; <i>Caloneis silicula</i> subsp. <i>ventricosa</i> (Ehr.) Mayer; <i>Navicula major</i> var. <i>leptogongyla</i> (Ehr.; Mayer) F.W.Mills	b	i	alf	c
<i>Caloneis westii</i> (Greg.) Cleve	-	b	mh	-	-
<i>Campylodiscus neofastuosus</i> Ruck & Nakov	<i>Navicula fastuosa</i> (Ehr.); <i>Novilla fastuosa</i> (Ehr.) Cleve; <i>Suriraya fastuosa</i> (Ehr.) Schaarschmidt; <i>Surirella fastuosa</i> var. <i>genuina</i> (Cleve-Euler); <i>Surirella fastuosa</i> (Ehr.) Ehr.	b	mh	-	-
<i>Cocconeis formosa</i> J.-J.Brun	-	b	-	-	-
<i>Cocconeis lineata</i> (Ehr.) Van Heurck	-	pb	i	alf	c
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehr.	-	b	i	alf	c
<i>Cocconeis placentula</i> Ehr.	<i>Cocconeis pediculus</i> var. <i>placentula</i> (Ehr.) Grun.; <i>Cocconeis communis</i> var. <i>placentula</i> (Ehr.) O.Kirchner; <i>Cocconeis communis</i> f. <i>placentula</i> (Ehr.) Chmielevski	pb	i	alf	c
<i>Coscinodiscus perforatus</i> Ehr.	-	p	mh	-	c
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehr.	-	p	-	-	c
<i>Coscinodiscus stellaris</i> Roper	<i>Stellarima stellaris</i> (Roper) G.R.Hasle & P.A.Sims; <i>Coscinodiscus stellaris</i> var. <i>fasciculata</i> (Castracane)	p	mh	-	b
<i>Cosmioneis lundstroemii</i> (Cleve) D.G.Mann	<i>Navicula lundstroemii</i> Cleve; <i>Placoneis lundstroemii</i> (Cl.) Mereschk.; <i>Navicula pusilla</i> var. <i>lundstroemii</i> (Cl.) Lange-Bert	b	mh	-	-
<i>Cosmioneis pusilla</i> (W.Smith) D.G.Mann & A.J.Stickle	<i>Navicula pusilla</i> W.Smith	b	hf	ind	c
<i>Craticula cuspidata</i> (Kütz.) D.G.Mann	<i>Frustulia cuspidata</i> (Kütz.); <i>Navicula cuspidata</i> (Kütz.) Kütz.; <i>Vanheurckia cuspidata</i> (Kütz.) Bréb.; <i>Schizonema cuspidatum</i> (Kütz.) Kuntze	b	i	alf	c
<i>Craticula cuspidata</i> var. <i>heribaudii</i> (Peragallo) J.Y.Li & Y.Z.Qi	<i>Navicula cuspidata</i> var. <i>heribaudii</i> Peragallo; <i>Navicula cuspidata</i> f. <i>heribaudii</i> (Per.) Cleve	b	i	alf	c
<i>Craticula halophila</i> (Grun.) D.G.Mann	-	b	mh	alf	c
<i>Craticula perrotettii</i> Grun.	<i>Navicula perrotettii</i> (Grun.) Grun.; <i>Navicula perrotettii</i> (Grun.) Cleve; <i>Schizonema perrotettii</i> (Grun.) Kuntze	b	-	-	-
<i>Ctenophora pulchella</i> (Ralfs ex Kütz.) D.M.Williams & Round	<i>Synedra pulchella</i> (Ralfs ex Kütz.) Kütz.; <i>Exilaria pulchella</i> Ralfs ex Kütz.; <i>Fragilaria pulchella</i> (Ralfs ex Kütz.) Lange-Bertalot	Ep	mh	-	c



<i>Cyclotella kuetzingiana</i> Thwaites	-	pb	hf	ind	c
<i>Cymatopleura elliptica</i> Brébisson	<i>Surirella elliptica</i> (Bréb.); <i>Sphinctocystis elliptica</i> (Bréb.)	pb	i	alf	c
<i>Cymbella affinis</i> Kütz.	<i>Cocconema nanum</i> Hantzsch; <i>Cymbella nana</i> (Hantzsch) Gutwinski	b	i	alf	c
<i>Cymbella cistula</i> Ehr.	<i>Bacillaria cistula</i> (Ehr.); <i>Cocconema cistula</i> (Ehr.)	b	i	alf	c
<i>Cymbella cistula</i> var. <i>maculata</i> (Kütz.) Van Heurck	<i>Frustulia maculata</i> Kütz.; <i>Cymbella maculata</i> (Kütz.) Bréb. & Godey; <i>Cymbophora maculata</i> (Kütz.) Bréb.; <i>Cocconema cistula</i> var. <i>maculata</i> (Kütz.) Grun.	b	i	alf	c
<i>Cymbella cymbiformis</i> C.Agardh	<i>Cymbella fulva</i> (Kütz.) C.Agardh; <i>Frustulia fulva</i> Kütz.; <i>Cymbophora fulva</i> (Kütz.) Bréb.	b	i	alf	c
<i>Cymbella helvetica</i> Kütz.	<i>Cymbella cymbiformis</i> (C.Agardh.); <i>Cymbella gastroides</i> var. <i>helvetica</i> (Kütz.) Rabenhorst; <i>Cocconema helveticum</i> (Kütz.) Cleve & Grun.; <i>Cocconema helvetica</i> (Kütz.) Schmidt; <i>Cocconema helveticum</i> (Kütz.) West & G.S.West; <i>Cymbella gallica</i> (Héribaud-Joseph); <i>Cymbella lacroixii</i> (Lauby); <i>Cymbella helvetica</i> var. <i>major</i> (Meister); <i>Cymbella rigida</i> (Frenguelli); <i>Cymbella helvetica</i> f. <i>major</i> (Meister) A.Cleve; <i>Cymbella cistula</i> var. <i>lacroixii</i> (Lauby) VanLandingham	b	i	alf	a,c
<i>Cymbopleura hercynica</i> (Schmidt) Krammer	<i>Cymbella hercynica</i> Schmidt; <i>Cymbella amphicephala</i> var. <i>hercynica</i> (Schmidt) Cleve	b	-	-	-
<i>Cymbella heteropleura</i> (Ehr.) Kütz.	-	b	i	ind	a-a
<i>Cymbella laevis</i> Nägeli	<i>Cymbella gracilis</i> var. <i>laevis</i> (Näg.) Rabenhorst; <i>Cocconema laeve</i> (Näg.) Schmidt; <i>Cocconema laeve</i> (Näg.) G.S.West; <i>Cymbella ventricosa</i> var. <i>laevis</i> (Näg.) Mayer	b	i	ind	b
<i>Cymbella lanceolata</i> var. <i>cornuta</i> (Ehr.) Grun.	<i>Cocconema cornutum</i> (Ehr.); <i>Cocconema lanceolatum</i> var. <i>cornutum</i> (Ehr.) Rabenhorst; <i>Cymbella cornuta</i> (Ehr.) R.Ross	b	i	alf	-
<i>Cymbella proxima</i> Reimer	-	b	-	-	-
<i>Cymbella tumida</i> (Bréb.) Van Heurck	<i>Cocconema tumidum</i> (Bréb.); <i>Cymbella stomatophora</i> (Grun.)	b	i	alf	Ha
<i>Cymbella ventricosa</i> (C.Agardh) C.Agardh	<i>Encyonema ventricosum</i> (C.Agardh) Grunow; <i>Cymbophora ventricosa</i> (C.Agardh) Bréb.; <i>Frustulia ventricosa</i> (C.Agardh)	b	i	ind	c
<i>Cymbopleura amphicephala</i> Nägeli ex Kütz.	<i>Cymbella amphicephala</i> Näg. ex Kütz.	b	i	ind	b
<i>Cymbopleura cuspidata</i> Kütz.	<i>Cymbella meniscus</i> Héribaud-Joseph; <i>Cymbella ovum</i> Hér.-Jos.	b	i	ind	c
<i>Cymbopleura inaequalis</i> (Ehr.) Krammer	<i>Cymbella cymbiformis</i> (C.Agardh.); <i>Cymbopleura inaequalis</i> (Ehr.) Krammer	b	i	alb	c
<i>Cymbopleura lata</i> var. <i>americana</i> Krammer	-	b	-	-	-

<i>Denticula tenuis</i> Kütz.	<i>Rhabdium tenue</i> (Kütz.) Trevisan; <i>Odontidium tenue</i> (Kütz.) Pfitzer	b	i	alb	c
<i>Diatoma vulgaris</i> var. <i>linearis</i> Grun.	<i>Diatoma vulgaris</i> f. <i>linearis</i> (Grun.) Hustedt	b	i	alf	c
<i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngbye) Mart.Schmidt	<i>Dendrella geminata</i> (Lyngb.) Bory; <i>Echinella geminata</i> Lyngb.; <i>Styllaria geminata</i> (Lyngb.) Bory; <i>Gomphonema geminatum</i> (Lyngb.) C.Agardh; <i>Lyngbyeia pulvinata</i> var. <i>geminata</i> (Lyngb.) Sommerfelt	b	i	ind	a-a
<i>Diploneis parma</i> Cleve	<i>Schizonema parma</i> (Cleve) Kuntze	b	i	alf	Ha
<i>Diploneis smithii</i> (Bréb.) Cleve	<i>Navicula smithii</i> Bréb.	b	mh	alf	c
<i>Diploneis stroemii</i> (Hustedt)	-	b	p	-	b
<i>Ellerbeckia arenaria</i> (Ralfs ex Moore) Cawf.	<i>Melosira arenaria</i> (D.Moore ex Ralfs); <i>Lysigonium arenarium</i> (D.Moore) Trevisan; <i>Orthoseira arenaria</i> (D.Moore ex Ralfs) W.Smith; <i>Gaillonella arenaria</i> (D.Moore) Pelletan; <i>Paralia arenaria</i> (D.Moore) Moisseeva	pb	i	alf	c
<i>Encyonema elginense</i> (Krammer) D.G.Mann		b	i	alb	c
<i>Encyonema gracile</i> (Rab.) Cleve	<i>Cymbella gracilis</i> (Rabenhorst) Cleve	b	h	ind	a-a
<i>Encyonema hebridicum</i> Grun. ex Cleve	<i>Cymbella hebridica</i> (Grun. ex Cleve) Cleve	b	i	acf	b
<i>Encyonema leibleinii</i> (C.Agardh) W.J.Silva, R.Jahn, T.A.V.Ludwig & M.Menezes	<i>Monema prostratum</i> Berkeley; <i>Schizonema prostratum</i> (Berk.) Greville; <i>Encyonema prostratum</i> (Berk.) Kütz.; <i>Cymbella prostrata</i> (Berk.) Cleve	b	-	-	-
<i>Encyonema minutum</i> (Hilse) D.G.Mann	<i>Cymbella minuta</i> Hilse; <i>Cymbella gracilis</i> var. <i>minuta</i> (Hilse) Rabenh.; <i>Encyonema ventricosum</i> f. <i>minuta</i> (Hilse) Grun.; <i>Encyonema ventricosum</i> var. <i>minuta</i> (Hilse) Schmidt; <i>Cymbella ventricosa</i> f. <i>minuta</i> (Hilsek) Mereschk.; <i>Cymbella ventricosa</i> f. <i>minuta</i> (Hilse) Mayer; <i>Cymbella ventricosa</i> f. <i>minuta</i> (Hilse) A.Cleve; <i>Encyonema ventricosum</i> var. <i>minutum</i> (Hilse) Mayer; <i>Cymbella ventricosa</i> var. <i>minuta</i> (Hilse) A.Cleve				
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) D.G.Mann	<i>Cymbella silesiaca</i> Bleisch; <i>Cymbella ventricosa</i> var. <i>silesiaca</i> (Bleisch) A.Cleve; <i>Cymbella minuta</i> var. <i>silesiaca</i> (Bleisch) Reimer	b	i	ind	c
<i>Encyonema cespitosum</i> Kütz.	<i>Cymbella cespitosa</i> (Kütz.) Brun; <i>Cocconema cespitosum</i> (Kütz.) G.S.West; <i>Cymbella ventricosa</i> var. <i>caespitosa</i> (Kütz.) Dippel; <i>Cymbella prostrata</i> var. <i>caespitosa</i> (Kütz.) Foged	b	-	-	-
<i>Encyonopsis microcephala</i> (Grun.) Krammer	<i>Cymbella microcephala</i> f. <i>major</i> Grun.; <i>Cymbella microcephala</i> var. <i>major</i> (Grun.) A.Cleve	b	i	alf	c
<i>Epithemia adnata</i> (Kütz.) Bréb.	<i>Rhopalodia zebra</i> (Ehr.) Kütz.; <i>Navicula zebra</i> Ehr.; <i>Eunotia zebra</i> (Ehr.) Ehr.; <i>Epithemia zebra</i> (Ehr.) Kütz.; <i>Cymbella zebra</i> (Ehr.) Hassall; <i>Eunotia adnata</i> (Bréb.) G.Rabenh.; <i>Epithemia zebra</i> var. <i>genuina</i> Grun.;	b	i	alb	c

	<i>Cystopleura zebra</i> (Ehr.) Kunt.; <i>Epithemia adnata</i> var. <i>genuina</i> (Grun.) Ross				
<i>Epithemia argus</i> (Ehr.) Kütz.	<i>Eunotia argus</i> (Ehr.); <i>Cystopleura argus</i> (Ehr.); <i>Eunotia ocellata</i> (Ehr.); <i>Epithemia ocellata</i> (Ehr.) Kütz.; <i>Cystopleura ocellata</i> (Ehr.) De Toni; <i>Epithemia argus</i> var. <i>ocellata</i> (Ehr.) F.Fricke	b	i	alf	c
<i>Epithemia argus</i> var. <i>angusta</i> Fricke	-	b	i	ind	b
<i>Epithemia argus</i> var. <i>longicornis</i> Ehr.	<i>Eunotia longicornis</i> (Ehr.); <i>Epithemia longicornis</i> (Ehr.); <i>Cystopleura longicornis</i> (Ehr.); <i>Cystopleura argus</i> var. <i>longicornis</i> (Ehr.); <i>Pinnularia longicornis</i> (Ehr.)	b	i	alf	c
<i>Epithemia frickei</i> Krammer	<i>Epithemia intermedia</i> (Fricke); <i>Epithemia zebra</i> var. <i>intermedia</i> (Fricke) Hustedt; <i>Epithemia argus</i> var. <i>intermedia</i> (Hilse) Mayer	b	i	alf	c
<i>Epithemia intermedia</i> Fricke	-	p-b	i	ind	c
<i>Epithemia muelleri</i> Fricke	-	b	i	ind	c
<i>Epithemia parallela</i> Grun.	<i>Epithemia gibba</i> var. <i>parallela</i> (Grun.)	b	h	ind	c
<i>Epithemia porcellus</i> (Kütz.) R.Ross	<i>Cystopleura porcellus</i> (Kütz.) Kuntze	b	i	alb	c
<i>Epithemia sores</i> (Ehr.)	-	b	i	acf	c
<i>Epithemia turgida</i> (Ehr.) Kütz.	<i>Rhopalodia turgida</i> (Ehr.) Kütz.; <i>Navicula turgida</i> Ehr.; <i>Eunotia turgida</i> (Ehr.) Ehr.; <i>Cymbella turgida</i> (Ehr.) Hassall; <i>Cystopleura turgida</i> (Ehr.) Kuntze	b	i	alf	c
<i>Eunotia bidens</i> Ehr.	<i>Eunotia praerupta</i> f. <i>bidens</i> (Ehr.) Hustedt; <i>Himantidium bidens</i> (Ehr.) Kütz.; <i>Eunotia praerupta</i> var. <i>bidens</i> (Ehr.) Grun.	b	-	-	-
<i>Eunotia bigibba</i> Kütz.	<i>Eunotia praerupta</i> var. <i>bigibba</i> (Kütz.) Grunow; <i>Eunotia curta</i> var. <i>bigibba</i> (Kütz.) Fontell; <i>Eunotia sarek</i> f. <i>bigibba</i> (Kütz.) A.Berg; <i>Eunotia sarekensis</i> var. <i>bigibba</i> (Kützing) A.Cleve	b	i	acf	a-a
<i>Eunotia curvata</i> (Kütz.) Lagerstedt	<i>Exilaria curvata</i> (Kütz.); <i>Eunotia bilunaris</i> (Ehr.) Schaarschmidt	b	i	acf	c
<i>Eunotia diodon</i> Ehr.	-	b	i	acf	a-a
<i>Eunotia fallax</i> A.Cleve	-	b	h	acf	c
<i>Eunotia flexuosa</i> (Bréb. ex Kütz.) Kütz.	<i>Synedra flexuosa</i> Bréb. ex Kütz.	b	i	acf	c
<i>Eunotia formica</i> Ehr.	-	b	i	ind	c
<i>Eunotia lunaris</i> var. <i>capitata</i> (Grun.) Schönfeldt	<i>Synedra lunaris</i> var. <i>capitata</i> Grun.; <i>Eunotia curvata</i> var. <i>capitata</i> (Grunow) R.M.Patrick 1966	b	i	ind	c

<i>Eunotia minor</i> (Kütz.) Grun.	<i>Himantidium minus</i> Kütz.; <i>Himantidium pectinale</i> var. <i>minus</i> (Kütz.) Rabenhorst; <i>Himantidium pectinale</i> var. <i>minus</i> (Kütz.) Grun.; <i>Eunotia pectinalis</i> var. <i>minor</i> (Kütz.) Rabenhorst; <i>Eunotia pectinalis</i> f. <i>minor</i> (Kütz.) O.Müller; <i>Eunotia pectinalis</i> f. <i>minor</i> (Kütz.) A.Berg	b	-	-	-
<i>Eunotia monodon</i> Ehr.	<i>Climacidium monodon</i> (Ehr.)	b	h	ind	c
<i>Eunotia pectinalis</i> (Kütz.) Rabenhorst	<i>Himantidium pectinale</i> (Kütz.); <i>Conferva pectinalis</i> (Dillwyn); <i>Temachium pectinale</i> (Dillw.) Wallroth; <i>Eunotia pectinalis</i> var. <i>stricta</i> (Rabenhorst) van Heurck; <i>Eunotia pectinalis</i> f. <i>elongata</i> (Grun.); <i>Eunotia pectinalis</i> var. <i>impressa</i> (Otto Müller); <i>Himantidium pectinale</i> var. <i>impressum</i> (O.Müller); Schonfeldt; <i>Eunotia pectinalis</i> f. <i>impressa</i> (Otto Müller) Ant.Mayer	b	h	acf	c
<i>Eunotia pectinalis</i> var. <i>ventricosa</i> (Ehr.) Grun.	<i>Heterocampa ventricosa</i> Ehr.	b	i	acf	c
<i>Eunotia praerupta</i> Ehr.	<i>Eunotia praerupta</i> f. <i>curta</i> (Grun.) Mayer; <i>Eunotia bidens</i> var. <i>praerupta</i> (Ehr.) Aysel	b	h	acf	c
<i>Eunotia scandinavica</i> Ehr.	<i>Eunotia praerupta</i> f. <i>curta</i> (Grun.) Mayer; <i>Eunotia bidens</i> var. <i>praerupta</i> (Ehr.) Aysel	b	-	acf	c
<i>Eunotia sibirica</i> Ehr.	-	b	i	-	b
<i>Eunotia tenella</i> (Grun.) Hustedt	<i>Eunotia arcus</i> var. <i>tenella</i> Grun.; <i>Himantidium arcus</i> var. <i>tenella</i> (Grun.) Schonfeldt; <i>Eunotia exigua</i> var. <i>tenella</i> (Grun.) Nörpel & Alles	b	h	acf	a-a
<i>Eunotia exigua</i> (Bréb. ex Kütz.) Rabenhorst	<i>Himantidium exiguum</i> Bréb. ex Kütz.	b	hb	acf	c
<i>Fragilaria capucina</i> (Desmazières)	-	pb	i	acf	c
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	<i>Synedra crotonensis</i> (Kitt.) Cleve & Möller; <i>Nematoplata crotonensis</i> (Kitt.) Kuntze	p	hf	alf	c
<i>Fragilaria intermedia</i> (Grun.) Grun.	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> (Kütz.) L.-B.	pb	i	alf	c
<i>Fragilaria rumpens</i> (Kütz.) G.W.F.Carlson	<i>Synedra rumpens</i> Kütz.; <i>Fragilaria capucina</i> subsp. <i>rumpens</i> (Kütz.) Lange-Bertalot; <i>Tabularia rumpens</i> (Kütz.) Aysel	b	i	alf	c
<i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kütz.) J.B.Petersen	<i>Synedra vaucheriae</i> (Kütz.) Kütz.; <i>Ctenophora vaucheriae</i> (Kütz.) Schönfeldt; <i>Fragilaria vaucheriae</i> var. <i>parvula</i> (Kütz.) A.Cleve; <i>Ceratoneis vaucheriae</i> (Kütz.) H.Kobayasi; <i>Ceratoneis vaucheriae</i> (Kütz.) H.Kobayashi; <i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> (Kütz.) Lange-Bertalot	p	i	alf	c
<i>Fragilariforma bicapitata</i> (A.Mayer) D.M.Williams & Round	-	b	h	acf	b

<i>Frustulia amosseana</i> Lange-Bertalot	<i>Frustulia vulgaris</i> var. <i>capitata</i> Krasske; <i>Vanheurckia vulgaris</i> var. <i>capitata</i> (Krasske) Frenguelli; <i>Frustulia spicula</i> var. <i>alpina</i> Amosse; <i>Berkella linearis</i> R.Ross & P.A.Sims; <i>Berkella alpina</i> J.R.Carter	b	h	-	-
<i>Frustulia saxonica</i> Rabenhorst	<i>Navicula saxonica</i> (Rab.) Lagerstedt; <i>Frustulia rhomboides</i> var. <i>saxonica</i> (Rab.) De Toni; <i>Vanheurckia rhomboides</i> var. <i>saxonica</i> (Rab.) Holmboe; <i>Navicula rhomboides</i> var. <i>saxonica</i> (Rab.) Budde	b	-	-	-
<i>Geissleria schoenfeldii</i> (Hustedt)	<i>Navicula schoenfeldii</i> (Hust.); <i>Navigeia schoenfeldii</i> (Hust.); <i>Placogeia schoenfeldii</i> (Hust.)	b	i	alf	b
<i>Gomphocymbellopsis ancyli</i> (Cleve) Krammer	<i>Cymbella ancyli</i> Cleve; <i>Gomphocymbella ancyli</i> (Cleve) Hustedt	b	i	ind	a-a
<i>Gomphonella calcarea</i> (Cleve) R.Jahn & N.Abarca	<i>Gomphonema calcareum</i> Cl.; <i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>calcareum</i> (Cl.) Van Heurck; <i>Gomphoneis olivacea</i> var. <i>calcareum</i> (Cl.) B.Hartley	b	-	-	-
<i>Gomphonella olivacea</i> (Hust.) Aysel	<i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>minutissimum</i> (Hust.); <i>Gomphonema calcifugum</i> (L.-B. & Reichardt)	b	h	c	c
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehr.	-	pb (b)	hf	alf	c
<i>Gomphonema acuminatum</i> var. <i>longiceps</i> (Ehr.) N.Abarca & R.Jahn	<i>Gomphonema longiceps</i> Ehr.	b	i	ind	c
<i>Gomphonema affine</i> Kütz.	<i>Gomphonema dichotomum</i> var. <i>affine</i> (Kütz.) G.Rabenhorst; <i>Gomphonema lanceolatum</i> var. <i>affine</i> (Kütz.) Cleve-Euler	pb	-	-	c
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kütz.) Rabenhorst	<i>Sphenella angustata</i> Kütz.; <i>Sphenoneis angustata</i> (Kütz.) Trevisan	pb	i	alf	c
<i>Gomphonema angustatum</i> var. <i>undulatum</i> Grun.	<i>Gomphonema angustatum</i> f. <i>undulatum</i> (Grun.) Mayer; <i>Gomphonema angustatum</i> f. <i>undulata</i> (Grun.) Hustedt	b	i	-	c
<i>Gomphonema angustum</i> C.Agardh	-	pb	i	ind	c
<i>Gomphonema augur</i> Ehr.	<i>Gomphonema apiculatum</i> (Ehr.)	b	h	alf	c
<i>Gomphonema auritum</i> A.Braun ex Kütz.	<i>Gomphonema dichotomum</i> var. <i>auritum</i> (Braun) Rabenh.; <i>Gomphonema gracile</i> var. <i>auritum</i> (A.Braun ex Kütz.) Van Heurck	b	-	-	-
<i>Gomphonema brebissonii</i> Kütz.	<i>Gomphonema acuminatum</i> var. <i>brebissonii</i> (Kütz.) Grun.; <i>Gomphonema acuminatum</i> f. <i>brebissonii</i> (Kütz.) Grun.	pb	i	alf	c
<i>Gomphonema capitatum</i> (Ehr.) Grun.	-	b	i	alf	b
<i>Gomphonema coronatum</i> Ehr.	<i>Gomphonema acuminatum</i> f. <i>coronatum</i> (Ehr.) Cleve; <i>Gomphonema acuminatum</i> var. <i>coronatum</i> (Ehr.) Rabenhorst	pb	i	ind	c
<i>Gomphonema dichotomum</i> Kütz.	<i>Gomphonema intricatum</i> var. <i>dichotomum</i> (Kütz.) Grun.; <i>Gomphonema gracile</i> var. <i>dichotomum</i> (Kütz.) Grun.	pb	i	ind	c
<i>Gomphonema gracile</i> Ehr.	-	b	i	ind	a-a

<i>Gomphonema insigne</i> W.Gregory	<i>Gomphonema lanceolatum</i> var. <i>insigne</i> (W.Greg.) Cleve; <i>Gomphonema affine</i> var. <i>insigne</i> (W.Greg.) G.W.Andrews	b	-	-	Ha, Pt
<i>Gomphonema minutum</i> (C.Agardh) C.Agardh	<i>Licmophora minuta</i> C.Agardh;	b	oh	alf	c
<i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>minutissimum</i> Hustedt	<i>Gomphoneis olivacea</i> var. <i>minutissima</i> (Hustedt) Bukhtiyarova; <i>Gomphoneis olivaceum</i> (Hustedt) Aysel	b	i	alf	b
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kütz.) Kütz.	<i>Sphenella parvula</i> Kütz.; <i>Sphenoneis parvula</i> (Kütz.) Trevisan; <i>Gomphonella parvula</i> (Kütz.) Rabenh.	b	i	ind	c
<i>Gomphonema subclavatum</i> (Grun.) Grun.	<i>Gomphonema montanum</i> var. <i>subclavatum</i> Grun.; <i>Gomphonema longiceps</i> var. <i>subclavatum</i> (Grun.) Hustedt	b	i	ind	c
<i>Gomphonema trigonocephalum</i> Ehr.	<i>Gomphonema acuminatum</i> f. <i>trigonocephalum</i> (Ehr.) Cleve; <i>Gomphonema acuminatum</i> var. <i>trigonocephalum</i> (Ehr.) Van Heurck	b	i	alf	b
<i>Gomphonema truncatum</i> (Ehr.)	<i>Gomphonema constrictum</i> var. <i>truncatum</i> (Ehr.)	b	i	alf	c
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kütz.) Rabenhorst	<i>Sphenella angustata</i> (Kütz.); <i>Sphenoneis angustata</i> (Kütz.) Trevisan	pb	i	alf	c
<i>Grammatophora macilenta</i> (W.Smith) Grun.	<i>Grammatophora macilenta</i> W.Smith	b	mh	-	-
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rabenhorst	<i>Frustulia acuminata</i> (Kütz.); <i>Sigmatella acuminata</i> (Kütz.) Bréb. & Godey; <i>Navicula acuminata</i> (Kütz.) Kütz.; <i>Pleurosigma acuminatum</i> (Kütz.) W.Smith; <i>Pleurosigma acuminatum</i> (Kütz.) Grunow; <i>Navicula spenceri</i> (Bailey ex Quekett); <i>Gyrosigma spenceri</i> (Bailey ex Quekett) Griffith & Henfrey; <i>Gyrosigma spenceri</i> (W.Smith) Griffith & Henfrey; <i>Pleurosigma gracilentum</i> (Rabenhorst); <i>Scalptrum spenceri</i> (Quekett) Kuntze	b	i	alf	c
<i>Gyrosigma attenuatum</i> (Kütz.) Rabenh.	<i>Frustulia attenuata</i> Kütz.; <i>Sigmatella attenuata</i> (Kütz.) Bréb. & Godey; <i>Navicula attenuata</i> (Kütz.) Kütz.; <i>Pleurosigma attenuatum</i> (Kütz.) W.Smith; <i>Scalptrum attenuatum</i> (Kütz.) Kuntze	pb	i	alf	c
<i>Halamphora coffeiformis</i> (C.Agardh) Mereschowsky	<i>Frustulia coffeiformis</i> C.Agardh; <i>Cymbella coffeiformis</i> (C.Agardh) C. Agardh; <i>Cymbophora coffeiformis</i> (C.Agardh) Brébisson; <i>Amphora coffeiformis</i> (C.Agardh) Kützing	b	mh	alf	c
<i>Halamphora holsatica</i> (Hust.) Levkov	<i>Amphora holsatica</i> Hust.	b	mh	alf	c
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr.) Grun.	<i>Eunotia amphioxys</i> (Ehr.); <i>Nitzschia amphioxys</i> (Ehr.); <i>Homoeocladia amphioxys</i> (Ehr.)	b	i	alf	c
<i>Hantzschia calcifuga</i> E.Reichardt & Lange-Bertalot	-	b	-	-	-
<i>Hantzschia virgata</i> (Roper) Grun.	<i>Nitzschia virgata</i> (Roper); <i>Homoeocladia virgata</i> (Roper) Kuntze	b	mh	-	c
<i>Hantzschia vivax</i> (W.Smith) Grun.	<i>Nitzschia amphioxys</i> var. <i>vivax</i> (W.Smith) Grun.; <i>Nitzschia vivax</i> (W.Smith)	b	hf	alb	c

<i>Hippodonta abunda</i> A.Pavlov, Z.Levkov, D.M.Williams & M.Edlund	-	b	-	-	-
<i>Hippodonta costulata</i> (Grun.) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski	<i>Navicula costulata</i> Grun.; <i>Schizonema costulatum</i> (Grun.) Kuntze	b	-	-	-
<i>Hippodonta hungarica</i> (Grun.) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski	<i>Navicula hungarica</i> Grun.; <i>Navicula viridula</i> var. <i>hungarica</i> (Grun.) Peragallo & Peragallo; <i>Navicula capitata</i> var. <i>hungarica</i> (Grun.) R.Ross	b	i	-	c
<i>Hippodonta lesmonensis</i> (Hust.) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski	<i>Navicula lesmonensis</i> Hustedt	b	-	-	-
<i>Hippodonta lunebergensis</i> (Grun.) Lange-Bertalot, Metzeltin & A.Witkowski	<i>Navicula hungarica</i> var. <i>luneburgensis</i> Grun.; <i>Navicula capitata</i> var. <i>luneburgensis</i> (Grun.) R.M.Patrick	b	hf	ind	b
<i>Hippodonta subcostulata</i> (Hust.) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski	<i>Navicula subcostulata</i> Hustedt	b	-	-	-
<i>Homoeocladia angularis</i> W.Smith	-	p	-	-	-
<i>Humidophila contenta</i> (Grun.) Lowe, Kociolek, J.R.Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová	<i>Navicula contenta</i> Grun.; <i>Schizonema contentum</i> (Grun.) Kuntze; <i>Diademsis contenta</i> (Grun.) D.G.Mann	b	-	-	-
<i>Iconella bifrons</i> (Ehr.) Ruck & Nakov	<i>Surirella bifrons</i> (Ehr.) Ehr.; <i>Navicula fastuosa</i> (Ehr.)	pb	i	ind	c
<i>Iconella capronii</i> (Bréb. & Kitton) Ruck & Nakov	<i>Surirella capronii</i> Bréb. & Kitton	pb, s	i	ind	c
<i>Iconella helvetica</i> (Brun) Ruck & Nakov	-	b	i	ind	b
<i>Iconella linearis</i> (W.Smith) Ruck & Nakov	<i>Surirella linearis</i> W.Smith; <i>Suriraya linearis</i> (W.Smith) Pfitzer	pb	i	ind	Ha
<i>Iconella spiralis</i> (Kütz.) E.C.Ruck & T.Nakov	<i>Surirella spiralis</i> Kütz.; <i>Campylodiscus spiralis</i> (Kütz.) W.Smith; <i>Spirodiscus spiralis</i> (Kütz.) Jurilj	b	i	-	a,c
<i>Iconella constricta</i> (Grun.) Bukhtiyarova	<i>Surirella linearis</i> var. <i>constricta</i> Grun.; <i>Surirella grunowii</i> Kulikovskiy, Lange-Bertalot & Witkovski	b	i	ind	b
<i>Karayevia kolbei</i> Hustedt	-	p	i	ind	c
<i>Lindavia radiosa</i> (Grun.) Lemmermann	<i>Cyclotella comta</i> var. <i>radiosa</i> Grun.; <i>Lindavia radiosa</i> (Grun.) De Toni & Forti; <i>Puncticulata radiosa</i> (Grun.) Håkansson; <i>Handmannia radiosa</i> (Grun.) Kociolek & Khursevich	p	i	alb	c
<i>Lindavia socialis</i> Schütt	<i>Cyclotella tecta</i> Håkansson & R.Ross.; <i>Lindavia socialis</i> (Schütt) De Toni & Forti	pb	i	alf	c
<i>Lyrella lyra</i> (Ehr.) Karajeva	<i>Navicula lyra</i> (Ehr.); <i>Schizonema lyra</i> (Ehr.) Kuntze; <i>Clevia lyra</i> (Ehr.) Mereschkowsky	pb	h	-	b
<i>Lyrella lyroides</i> (Hendey) D.G.Mann	<i>Navicula lyroides</i> (Hendey); <i>Navicula lyra</i> var. <i>elliptical</i> (Schmidt)	b	i	-	b
<i>Melosira lineata</i> (Dillwyn) C.Agardh	<i>Conferva lineata</i> Dillwyn; <i>Gaillonella lineata</i> (Dillwyn) Bory; <i>Lysigonium lineatum</i> (Dillwyn) Trevisan	p	mh	-	-



<i>Melosira nummuloides</i> Agardh	-	pb	mh	ind	c
<i>Melosira varians</i> Ehr.	<i>Gallionella varians</i> (Ehr.)	p	hf	ind	c
<i>Metascolioneis tumida</i> (Bréb.ex Kütz.) Blanco & Wetzel	<i>Navicula tumida</i> Bréb. ex Kütz.; <i>Scoliopleura tumida</i> (Bréb. ex Kütz.) Rabenh.; <i>Microstigma tumida</i> (Bréb.) Meister; <i>Scoliotropis tumida</i> (Bréb. ex Kütz.) R.M.Patrick & Freese; <i>Scolioneis tumida</i> (Bréb. ex Kütz.) D.G.Mann	b	-	mh	-
<i>Navicula angusta</i> Grun.	<i>Pinnularia radiosa</i> var. <i>angusta</i> (Grun.) G.Rabenh.; <i>Navicula cari</i> var. <i>angusta</i> (Grun.) Grun.; <i>Navicula cincta</i> var. <i>angusta</i> (Grun.) Cleve; <i>Navicula falaisensis</i> var. <i>angusta</i> (Grun.) Mayer	b	hf	acf	c
<i>Navicula avenacea</i> (Rabenhorst) Bréb. ex Grun.	<i>Navicula viridula</i> var. <i>avenacea</i> (Bréb.) Van Heurck	b	-	acf	c
<i>Navicula capitata</i> Ehr.	-	b	hf	alf	c
<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain	<i>Navicula cryptocephala</i> var. <i>intermedia</i> (Grun.); <i>Navicula salinarum</i> var. <i>intermedia</i> (Grun.) Cleve	pb	i	-	c
<i>Navicula cari</i> Ehr.	<i>Navicula cincta</i> var. <i>cari</i> (Ehr.) Cleve	pb	i	ind	c
<i>Navicula cincta</i> Ehr.	<i>Pinnularia cincta</i> (Ehr.)	b	hf	alf	c
<i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.	-	pb	i	alf	c
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	-	b	-	ind	c
<i>Navicula digitoradiata</i> (Greg.) Ralfs	-	b	mh	alb	c
<i>Navicula eidrigeana</i> J.R.Carter	-	b	-	-	-
<i>Navicula libonensis</i> Schoeman	<i>Navicula viridula</i> var. <i>pamirensis</i> (Hustedt); <i>Navicula schubartii</i> var. <i>africana</i> (R.E.M.Archibald)	b	-	-	-
<i>Navicula margalithii</i> Lange-Bertalot	-	b	h	alf	mt
<i>Navicula menisculus</i> Schumann	<i>Navicula peregrina</i> var. <i>menisculus</i> (Schum.) Grun.; <i>Navicula meniscus</i> var. <i>menisculus</i> (Schum.) A.Cleve	b	i	alf	c
<i>Navicula oblonga</i> (Kütz.) Kütz.	<i>Frustulia oblonga</i> Kütz.; <i>Pinnularia oblonga</i> (Kütz.) W.Smith; <i>Schizonema oblongum</i> (Kütz.) Kütz.	b	i	acf	c
<i>Navicula oblonga</i> var. <i>subcapitata</i> Pantocsek	-	b	i	alf	c
<i>Navicula oppugnata</i> Hust.	-	b	i	-	c
<i>Navicula phyllepta</i> Kütz.	<i>Navicula lanceolata</i> var. <i>phyllepta</i> (Kütz.) Van Heurck	b	hf	-	c
<i>Navicula radiosa</i> Kütz.	<i>Navicula gracilis</i> var. <i>radiosa</i> (Kütz.) Rabenhorst; <i>Schizonema radiosum</i> (Kütz.) Kuntze; <i>Pinnularia acuta</i> W.Smith; <i>Pinnularia radiosa</i>	b	i	ind	c

	Rabenhorst; <i>Navicula radiosa</i> var. <i>acuta</i> (W.Smith) Grun.; <i>Navicula acuta</i> (W.Smith) O'Meara				
<i>Navicula reinhardtii</i> Grun.	<i>Stauroneis reinhardtii</i> Grun.	b	i	ind	c
<i>Navicula rhynchocephala</i> Kütz.	-	b	hf	alf	c
<i>Navicula salinarum</i> Grun.	<i>Platessa salinarum</i> (Grun.) L.-B.	b	mh	cn	c
<i>Navicula slesvicensis</i> (Grun.)	<i>Navicula viridula</i> var. <i>slesvicensis</i> (Grun.) Grun.	b	i	-	-
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F.Müller) Bory	<i>Vibrio tripunctatus</i> O.F.Müller	b	i	ind	c
<i>Navicula vara</i> Hust.	-	b	-	-	-
<i>Navicula veneta</i> Kütz.	<i>Navicula cryptocephala</i> var. <i>veneta</i> (Kütz.) Rabenh.; <i>Navicula cryptocephala</i> f. <i>veneta</i> (Kütz.) Hust.	b	hf	alf	c
<i>Navicula rostellata</i> Kütz.	<i>Navicula rhynchocephala</i> var. <i>rostellata</i> (Kütz.) Cleve & Grun.; <i>Navicula viridula</i> var. <i>rostellata</i> (Kütz.) Cleve	b	i	alf	c
<i>Neidium affine</i> var. <i>undulatum</i> (Grun.) Cleve	-	b	i	acf	b
<i>Neidium dubium</i> (Ehr.) Cleve	<i>Navicula dubia</i> Ehr.; <i>Navicula iridis</i> var. <i>dubia</i> (Ehr.) van Heurck; <i>Neidium iridis</i> var. <i>dubia</i> (Ehr.) Frenguelli; <i>Neidium affine</i> var. <i>dubia</i> (Ehr.) Frenguelli;	b	i	alf	c
<i>Neidium iridis</i> (Ehr.) Cleve	<i>Navicula iridis</i> Ehr.; <i>Pinnularia iridis</i> (Ehr.) Rabenhorst; <i>Navicula firma</i> var. <i>iridis</i> (Ehr.) Lewis; <i>Schizonema iridis</i> (Ehr.) Kuntze	pb	-	-	-
<i>Neidium ladogensense</i> (Cleve) Foged	<i>Navicula ladogensis</i> Cleve; <i>Caloneis ladogensis</i> (Cl.) Cl.; <i>Schizonema ladogensense</i> (Cl.) Kuntze	b	i	ind	-
<i>Nitzschia amplexans</i> Hust.	-	p	-	-	c
<i>Nitzschia communis</i> Rabenh.	-	pb	i	alf	c
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kütz.) Rabenh.	-	b	i	alf	c
<i>Nitzschia frequens</i> Hust.	-	b	-	acf	c
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kütz.) Grun.	<i>Synedra frustulum</i> Kütz.; <i>Homoeocladia frustulum</i> (Kütz.) Kuntze; <i>Nitzschia frustulum</i> var. <i>genuina</i> Mayer; <i>Nitzschia austriaca</i> Hustedt	b	hf	alf	c
<i>Nitzschia gracilis</i> Hantzsch	<i>Homoeocladia gracilis</i> (Hantzsch) Kuntze	pb	i	ind	c
<i>Nitzschia heufleriana</i> Grun.	<i>Homoeocladia heufleriana</i> (Grun.) Kuntze; <i>Hantzschia heufleriana</i> (Grun.) Heinzerling	b	i	alf	c
<i>Nitzschia heufleriana</i> var. <i>elongata</i> Pantocsek	-	b	i	ind	b

<i>Nitzschia intermedia</i> Hantzsch	<i>Homoeocladia intermedia</i> (Hantzsch) Kuntze; <i>Nitzschia subtilis</i> var. <i>intermedia</i> (Hantzsch) Schonfeldt	b	i	ind	c
<i>Nitzschia linearis</i> W.Smith	<i>Homoeocladia linearis</i> (W.Smith) Kuntze	b	i	alf	c
<i>Nitzschia minuta</i> Bleisch	<i>Nitzschia communis</i> var. <i>minuta</i> (Bleisch) Kirchner	b	i	-	-
<i>Nitzschia ovalis</i> H.J.Arnott	-	-	mh	-	-
<i>Nitzschia palea</i> (Kütz.)	<i>Synedra palea</i> (Kütz.); <i>Homoeocladia palea</i> (Kütz.)	b	i	ind	c
<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch ex Rabenh.	<i>Nitzschia vitrea</i> var. <i>recta</i> (Hantzsch; Grunow) van Heurck	b	i	alf	c
<i>Nitzschia sigma</i> (Kütz.) W.Smith	<i>Synedra sigma</i> Kütz.; <i>Homoeocladia sigma</i> (Kütz.) Kuntze; <i>Sigmatella sigma</i> (Kütz.) Frenguelli	b	mh	alf	c
<i>Nitzschia sociabilis</i> Hustedt	<i>Nitzschia subtubicola</i> H.Germain	b	hf	-	-
<i>Oestrupia ergadensis</i> (W.Greg.) Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin	<i>Pinnularia ergadensis</i> W.Greg.; <i>Navicula ergadensis</i> (W.Greg.) Ralfs	b	-	-	-
<i>Opephora marina</i> (W.Greg.) Petit	<i>Meridion marinum</i> W.Greg.; <i>Sceptroneis marina</i> (W.Greg.) Lagersted; <i>Grunoviella marina</i> (W.Greg.) H.Peragallo & M.Peragallo	b	-	-	-
<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.)	<i>Gaillonella sulcata</i> (Ehr.); <i>Melosira sulcata</i> (Ehr.)	pb	mh	alf	c
<i>Parlibellus delognei</i> (Van Heurck) E.J.Cox	<i>Navicula delognei</i> (Van Heurck)	p	-	-	a,b
<i>Petroplacus platystoma</i> Zaova	-	b	i	ind	b,mt
<i>Pinnularia abaujensis</i> (Pant.) Ross	-	b	-	acf	-
<i>Pinnularia aestuarii</i> Cleve	<i>Schizonema aestuarii</i> (Cleve) Kuntze	b	i	-	b
<i>Pinnularia borealis</i> Ehr.	<i>Navicula borealis</i> (Ehr.) Kütz.; <i>Schizonema boreale</i> (Ehr.) Kuntze	b	i	ind	c
<i>Pinnularia brebissonii</i> (Kütz.)	<i>Navicula brebissonii</i> ; <i>Stauroptera brebissonii</i> (Kütz.); <i>Pinnularia microstauron</i> var. <i>brebissonii</i> (Kütz.)	b	hf	ind	c
<i>Pinnularia brevicostata</i> Cleve	<i>Schizonema brevicostatum</i> (Cleve) Kuntze; <i>Navicula brevicostata</i> (Cleve) Fricke	b	i	ind	c
<i>Pinnularia brevicostata</i> var. <i>triangulata</i> Cleve-Euler	-	b	-	-	-
<i>Pinnularia cruciformis</i> (Donkin) Cleve	<i>Navicula cruciformis</i> (Donkin); <i>Pinnularia brebissonii</i> var. <i>cruciformis</i> (Donkin)	b	mh	-	-
<i>Pinnularia fonticola</i> (Hustedt)	-	b	i	ind	b
<i>Pinnularia intermedia</i> (Lagerstedt) Cleve	<i>Navicula intermedia</i> Lagerst.	b	i	ind	b
<i>Pinnularia legumen</i> Ehr.	<i>Navicula legumen</i> (Ehr.); <i>Schizonema legumen</i> (Ehr.) Kuntze	b	oh	alf	c

<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehr.) Cleve	<i>Stauroptera microstauron</i> Ehr.; <i>Stauroneis microstauron</i> (Ehr.) Kütz.; <i>Navicula microstauron</i> (Ehr.) O'Meara; <i>Navicula interrupta</i> var. <i>microstauron</i> (Ehr.) Wolle; <i>Schizonema microstauron</i> (Ehr.) Kuntz.	b	i	ind	c
<i>Pinnularia neglecta</i> (Ant.Mayer) Berg	<i>Pinnularia flexuosa</i> var. <i>neglecta</i> Ant.Mayer	b	-	-	-
<i>Pinnularia neomajor</i> Krammer	-	b	-	acf	-
<i>Pinnularia neomajor</i> var. <i>intermedia</i> (Cleve) Krammer	<i>Pinnularia viridis</i> var. <i>intermedia</i> Cl.; <i>Navicula viridis</i> var. <i>intermedia</i> (Cl.) Fricke	b	-	acf	-
<i>Pinnularia sublaceolata</i> (J.B.Petersen) Cleve-Euler	-	b	-	-	-
<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehr.	<i>Bacillaria viridis</i> (Nitzsch); <i>Navicula viridis</i> (Nitzsch) Ehr.; <i>Frustulia viridis</i> (Nitzsch) Kütz.; <i>Schizonema viride</i> (Nitzsch) Kuntze	pb	i	ind	c
<i>Placoneis elginensis</i> (W.Greg.) E.J.Cox	<i>Pinnularia elginensis</i> W.Greg.; <i>Navicula elginensis</i> (W.Greg.) Ralfs; <i>Navicula dicephala</i> var. <i>elginensis</i> (W.Greg.) Cleve; <i>Placoneis dicephala</i> var. <i>elginensis</i> (Greg.) Mereschk.	b	i	ind	c
<i>Placoneis exigua</i> (W.Greg.) Mereschk.	<i>Pinnularia exigua</i> (Greg.); <i>Navicula gastrum</i> var. <i>exigua</i> (Greg.) Grun.; <i>Navicula exigua</i> (Greg.) Grun.; <i>Placoneis gastrum</i> var. <i>exigua</i> (Greg.) Mereschk.; <i>Placoneis elginensis</i> f. <i>exigua</i> (Greg.) Bukhtiyarova	b	i	alf	c
<i>Placoneis gastrum</i> (Ehr.) Mereschk.	<i>Pinnularia gastrum</i> Ehr.; <i>Navicula gastrum</i> (Ehr.) Kütz.; <i>Schizonema gastrum</i> (Ehr.) Kuntze	b	i	ind	c
<i>Placoneis hambergii</i> (Hust.) K.Bruder	<i>Navicula hambergii</i> Hust.	b	-	-	-
<i>Planothidium haynaldii</i> (Schaarschmidt) Lange-Bertalot	<i>Achnanthes haynaldii</i> (Schaar.); <i>Achnanthes adnata</i> (Bory)	b	-	alf	c
<i>Planothidium rostratum</i> (Østrup)	<i>Achnanthes rostrata</i> Østrup; <i>Microneis lanceolata</i> var. <i>rostrata</i> (Oestrup) Schulz; <i>Achnanthes lanceolata</i> f. <i>rostrata</i> (Oestrup) Hustedt; <i>Achnanthes lanceolata</i> subsp. <i>rostrata</i> (Oestrup) Lange-Bertalot; <i>Achnantheiopsis rostrata</i> (Østrup) Lange-Bertalot	b	-	acf	-
<i>Prestauroneis protracta</i> (Grunow) Kulikovskiy	<i>Navicula protracta</i> Grun.; <i>Schizonema protractum</i> (Grun.) Kuntz.; <i>Placoneis protracta</i> (Grun.) Mereschkowsky; <i>Navicula lundstroemii</i> var. <i>protracta</i> (Grun.) Kolbe; <i>Parlibellus protractus</i> (Grun.) Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin	b	hl	ind	c
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> D.M.Williams & Round	<i>Staurosira brevistriata</i> (Grun.) Grun.; <i>Fragilaria brevistriata</i> Grun.; <i>Nematoplata brevistriata</i> (Grun.) Kuntze	pb	i	alf	c
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> var. <i>inflata</i> (Pantocsek) M.B.Edlund	<i>Fragilaria inflata</i> (Pant.); <i>Fragilaria brevistriata</i> var. <i>inflata</i> (Pant.) Hustedt	pb	i	alf	c
<i>Pseudostaurosira elliptica</i> (Schumann) Edlund, Morales & Spaulding	<i>Fragilaria elliptica</i> Schumann; <i>Fragilaria mutabilis</i> var. <i>elliptica</i> (Schumann) Grunow; <i>Fragilaria pinnata</i> var. <i>elliptica</i> (Schumann)	b	-	-	c

	G.W.F.Carlson; <i>Fragilaria construens</i> var. <i>elliptica</i> (Schumann) Frenguelli; <i>Staurosira elliptica</i> (Schumann) D.M.Williams & Round				
<i>Pseudostaurosira parasitica</i> (W.Smith) E.Morales	<i>Odontidium parasiticum</i> W.Smith; <i>Fragilaria parasitica</i> (W.Smith) Heiberg; <i>Staurosira parasitica</i> (W.Smith) Petit; <i>Staurosira construens</i> var. <i>parasiticum</i> (W.Smith) P.Petit; <i>Nematoplata parasitica</i> (W.Smith) Kuntze; <i>Synedra parasitica</i> (W.Smith) Hustedt; <i>Synedrella parasitica</i> (W.Smith) Round & Maidana	b	i	alf	c
<i>Pseudostaurosira robusta</i> (Fusey) D.M.Williams & Round	<i>Fragilaria construens</i> f. <i>robusta</i> Fusey; <i>Fragilaria robusta</i> (Fusey) Manguin	p	-	-	-
<i>Pseudostaurosira subconstricta</i> (Grun.) Kulikovskiy & Genkal	<i>Fragilaria parasitica</i> var. <i>subconstricta</i> Grun.; <i>Synedra parasitica</i> var. <i>subconstricta</i> (Grun.) Hustedt; <i>Synedrella subconstricta</i> (Grun.) Round & Maidana; <i>Pseudostaurosira parasitica</i> var. <i>subconstricta</i> (Grun.) E.Morales; <i>Punctastriata subconstricta</i> (W.Smith) Kulikovskiy & Genkal	ep	i	alf	c
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	<i>Gomphonema abbreviatum</i> (C.Agardh); <i>Gomphonema rotundatum</i> (Ehr.); <i>Gomphonema curvatum</i> (Kütz.); <i>Rhoicosphenia curvata</i> (Kütz.) Grun.; <i>Rhoicosphenia curvata</i> var. <i>major</i> (Cleve); <i>Rhoicosphenia curvata</i> var. <i>subacuta</i> (M.Schmidt); <i>Gomphonema augur</i> var. <i>rotundatum</i> (Ehr.) Playfair; <i>Rhoicosphenia curvata</i> var. <i>genuina</i> (Cleve-Euler)	pb	i	alf	c
<i>Rhopalodia gibba</i> Ehr.	<i>Navicula gibba</i> (Ehr.); <i>Pinnularia gibba</i> (Ehr.); <i>Eunotia gibba</i> (Ehr.)	b	i	ind	c
<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehr.) Otto Müller	<i>Eunotia gibberula</i> (Ehr.); <i>Epithemia gibberula</i> (Ehr.) Kütz.; <i>Cystopleura gibberula</i> (Ehr.) Kuntze; <i>Rhopalodia musculus</i> var. <i>gibberula</i> (Ehr.) Peragallo & Peragallo	b	mh	ind	c
<i>Sellaphora americana</i> (Ehr.) D.G.Mann	<i>Navicula americana</i> (Ehr.); <i>Schizonema americanum</i> (Ehr.) Kuntze; <i>Navicula americana</i> f. <i>minor</i> (M.Peragallo & Héribaude-Joseph); <i>Navicula americana</i> var. <i>minor</i> (M.Peragallo & Héribaude) M.Peragallo	b	i	alf	b
<i>Sellaphora bacillum</i> (Ehr.) D.G.Mann	<i>Navicula bacillum</i> Ehr.	b	i	alf	c
<i>Sellaphora pupula</i> (Kütz.) Mereschk.	<i>Navicula pupula</i> Kütz.; <i>Schizonema pupula</i> (Kütz.) Kuntze	b	hf	ind	c
<i>Sellaphora stroemii</i> (Hustedt) H.Kobayasi	<i>Navicula stroemii</i> Hustedt	b	oh	alf	c
<i>Shionodiscus caspicus</i> Gogorev & Kovaleva	-	p	mh	-	-
<i>Stauroneis acuta</i> W.Smith	<i>Pleurostaurum acutum</i> (W.Smith) Rabenh.; <i>Schizonema acutum</i> (W.Smith) Kuntze; <i>Navicula acuta</i> (W.Smith) Hustedt	b	i	alf	c
<i>Stauroneis alpina</i> Hustedt	<i>Stauroneis norvegica</i> Hustedt	b	-	-	-

<i>Stauroneis amphicephala</i> Kütz.	<i>Stauroneis anceps</i> var. <i>amphicephala</i> (Kütz.) Grun.; <i>Stauroneis anceps</i> var. <i>amphicephala</i> (Kütz.) Van Heurck; <i>Navicula anceps</i> var. <i>amphicephala</i> (Kütz.) Hustedt	b	oh	-	a-a
<i>Stauroneis anceps</i> Ehr.	<i>Schizonema anceps</i> (Ehr.); <i>Navicula anceps</i> (Ehr.)	b	i	ind	c
<i>Stauroneis dilatata</i> Ehr.	-	b	i	ind	a-a
<i>Stauroneis legumen</i> Ehr.	-	b	h	ind	b
<i>Stauroneis nobilis</i> (Ehr.) Kütz.	<i>Stauroptera legumen</i> (Ehr.); <i>Pleurostaurum legumen</i> (Ehr.) Rabenhorst; <i>Navicula legumen</i> (Ehr.) F.W.Mills	b	i	ind	-
<i>Stauroneis phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehr.	<i>Bacillaria phoenicenteron</i> Nitzsch; <i>Cymbella phoenicenteron</i> (Nitzsch) C.Agardh; <i>Navicula phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehr.; <i>Schizonema phoenicenterum</i> (Ehr.) Kuntze	b	i	ind	c
<i>Stauroneis schulzii</i> Jousé	<i>Stauroneis lauenburgiana</i> Hustedt	b	i	-	b
<i>Stauroneis smithii</i> Grun.	<i>Pleurostaurum smithii</i> (Grun.) Grun.	b	i	-	b
<i>Staurosira construens</i> Ehr.	<i>Fragilaria construens</i> (Ehr.) Grun.; <i>Staurosira venter</i> var. <i>construens</i> (Ehr.); Cleve & Möller; <i>Nematoplata construens</i> (Ehr.) Kuntze	pb	i	alf	c
<i>Staurosira subsalina</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	<i>Fragilaria construens</i> var. <i>subsalina</i> Hust.; <i>Fragilaria construens</i> f. <i>subsalina</i> (Hust.) Hust.; <i>Staurosira construens</i> f. <i>subsalina</i> (Hust.) Bukhtiyarova; <i>Staurosira construens</i> var. <i>subsalina</i> (Hustedt) N.A.Andresen, Stoermer & R.G.Kreiss; <i>Pseudostaurosira subsalina</i> (Hustedt) E.A.Morales	b	i	alf	c
<i>Staurosira leptostauron</i> (Ehr.) D.M.Williams & Round	<i>Staurosira leptostauron</i> (Ehr.) Kulikovskiy & Genkal; <i>Staurosira pinnata</i> (Ehr.); <i>Dimeregramma pinnatum</i> (Ehr.) Ralfs; <i>Staurosira construens</i> var. <i>pinnata</i> (Ehr.) Schumann; <i>Staurosira harrisonii</i> (Roper) Grun.	b	h	alf	b
<i>Staurosirella lapponica</i> (Grun.)	<i>Fragilaria lapponica</i> (Grun.); <i>Staurosira brevistriata</i> var. <i>lapponica</i> (Grun.); <i>Nematoplata lapponica</i> (Grun.); <i>Fragilaria pinnata</i> var. <i>lapponica</i> (Grun.); <i>Staurosira lapponica</i> (Grun.)	b	i	ind	c
<i>Staurosirella martyi</i> (Héribaud) Morales & Manoylov	<i>Opephora martyi</i> (Héribaud-Joseph)	b	i	alf	c
<i>Stephanocyclus meneghinianus</i> (Kütz.) Kulikovskiy, Genkal & Kociolek	<i>Cyclotella meneghiniana</i> (Kütz.); <i>Stephanocyclus meneghiniana</i> (Kütz.) Skabitshevsky; <i>Cyclotella kutzingiana</i> var. <i>meneghiniana</i> (Kütz.) Brun	pb	hf	alf	c
<i>Stephanodiscus astraes</i> (Kütz.) Grun.	<i>Cyclotella astraes</i> Kütz.	p	i	alb	c
<i>Stephanodiscus minutulus</i> (Kütz.) Cleve & Möller	<i>Cyclotella minutula</i> Kütz.; <i>Discoplea minutula</i> (Kütz.) Trevisan; <i>Cyclotella operculata</i> var. <i>minutula</i> (Kütz.) Brun; <i>Stephanodiscus astraes</i> var. <i>minutulus</i> (Kütz.) Grun.; <i>Cyclotella rotula</i> var. <i>minutula</i> (Kütz.) Ivanov; <i>Stephanodiscus niagarae</i> var. <i>minutula</i> (Kütz.) Okuno;	p	i	alf	c

	<i>Stephanodiscus astraea</i> subsp. <i>minutula</i> (Kütz.) Skabichevskii; <i>Stephanodiscus rotula</i> var. <i>minutulus</i> (Kütz.) R.Ross & P.A.Sims				
<i>Surirella angusta</i> Kütz.	<i>Surirella ovalis</i> var. <i>angusta</i> (Kütz.) Van Heurck; <i>Suriraya ovalis</i> var. <i>angusta</i> (Kütz.) Gutwinski; <i>Surirella ovata</i> var. <i>angusta</i> (Kütz.) A.Cleve	pb	i	alf	c
<i>Surirella brebissonii</i> Krammer & Lange-Bertalot	-	b	i	alf	c
<i>Surirella brebissonii</i> var. <i>kuetzingii</i> Krammer & Lange-Bertalot	-	b	-	-	-
<i>Surirella librile</i> Bréb.	<i>Cymbella solea</i> Bréb.; <i>Surirella librile</i> (Ehr.) Ehr.	pb	i	alf	c
<i>Surirella minuta</i> Bréb. ex Kütz.	<i>Suriraya ovata</i> var. <i>minuta</i> (Bréb. ex Kütz.) Tömösváry; <i>Surirella ovalis</i> var. <i>minuta</i> (Bréb.) Van Heurck; <i>Surirella ovalis</i> f. <i>longior</i> (Bréb. ex Kütz.) Van Heurck	b	i	ind	c
<i>Surirella ovalis</i> (Bréb.)	<i>Suriraya ovalis</i> (Bréb.) Pfitzer; <i>Surirella ovata</i> var. <i>ovalis</i> (Bréb.) Kirchner; <i>Surirella lanceolata</i> (H.P.Gandhi)	pb	mh	alf	c
<i>Surirella robusta</i> Ehr.	<i>Surirella saxonica</i> Auerswald ex Rabenhorst	pb	h	ind	c
<i>Surirella salina</i> W.Smith	<i>Surirella ovata</i> var. <i>salina</i> (W.Smith) Rabenh.; <i>Surirella ovalis</i> var. <i>salina</i> (W.Smith) Van Heurck	b	i	ind	c
<i>Surirella smithii</i> Ralfs	-	b	-	-	-
<i>Surirella striatula</i> (Turpin)	<i>Navicula striatula</i> (Turp.) Ehr.; <i>Novilla striatula</i> (Turp.) Heiberg; <i>Suriraya striatula</i> (Turp.) Pfitzer	pb	mh	alf	c
<i>Surirella subsalsa</i> (W. Smith)	-	pb	mh	-	-
<i>Surirella visurgis</i> Hustedt	-	pb	-	-	-
<i>Surirella librile</i> (Ehr.) Ehr.	<i>Navicula librile</i> Ehr.; <i>Sphinctocystis librilis</i> (Her.) Hassal; <i>Frustulia librilis</i> (Ehr.) Jenner; <i>Cymatopleura librile</i> (Ehr.) Pantocsek	pb	i	alf	c
<i>Synedra famelica</i> Kützing	<i>Nitzschia famelica</i> (Kütz.) Rabenh.; <i>Nitzschia palea</i> f. <i>famelica</i> (Kütz.) Rabenh.; <i>Nitzschia palea</i> var. <i>famelica</i> (Kütz.) M.Peragallo; <i>Fragilaria famelica</i> (Kütz.) Lange-Bertalot	b	i	ind	c
<i>Tabularia fasciculata</i> (C.Agardh) D.M.Williams & Round	<i>Diatoma fasciculata</i> C.Agardh; <i>Echinella fasciculata</i> (C.Ag.) Lyngbye; <i>Lyngbyea fasciculata</i> (C.Ag.) Sommerfelt; <i>Exilaria fasciculata</i> (C.Ag.) Greville; <i>Exilaria fasciculata</i> Kütz.; <i>Synedra fasciculata</i> (C.Ag.) Kütz.; <i>Synedra tabulata</i> var. <i>fasciculata</i> (C.Ag.) Grun. ex Hustedt ; <i>Fragilaria fasciculata</i> (C.Ag.) Lange-Bertalot	b	hl	acf	c



<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehr.) Cleve	<i>Coscinodiscus eccentricus</i> (Ehr.); <i>Thalassiosira excentrica</i> (Ehr.) Cleve; <i>Coscinodiscus kryophilus</i> (Grun.); <i>Thalassiosira kryophila</i> (Grun.) E.Jørgensen; <i>Thalassiosira excentrica</i> (Karsten); <i>Thalassiosira excentrica f. velata</i> (Cleve-Euler); <i>Thalassiosira excentrica</i> var. <i>fasciculata</i> (Chernov); <i>Thalassiosira excentrica f. major</i> (Jousé)	p	mh	ind	b
<i>Thalassiosira hyperborea</i> (Grun.) Hasle	<i>Coscinodiscus hyperboreus</i> (Grun.)	p	mh	-	a,b
<i>Thalassiosira incerta</i> I.V.Makarova	<i>Coscinodiscus bulla</i> M.H.Hohn & J.Hellerman	p	-	-	-
<i>Thalassiosira tenera</i> (Proschkina-Lavrenko)	-	p	mh	-	b
<i>Trigonium formosum</i> (Brightwell) Cleve	<i>Triceratium formosum</i> Brightw.; <i>Biddulphia formosa</i> (Brightw.) E. Jørgensen	p	mh	-	-
<i>Tryblionella acuminata</i> W.Smith	-	b	mh	-	c
<i>Tryblionella acuta</i> (Cleve) D.G.Mann	<i>Nitzschia acuta</i> Cleve; <i>Homoeocladia acuta</i> (Cleve) Kuntze	b	i	alf	b
<i>Tryblionella apiculata</i> W.Gregory	<i>Nitzschia apiculata</i> (W.Greg.) Grun.; <i>Homoeocladia apiculata</i> (W. Greg.) Kuntze	b	mh	-	c
<i>Tryblionella gracilis</i> W.Smith	-	b	-	-	-
<i>Tryblionella hantzschiana</i> Grun.	<i>Nitzschia tryblionella</i> Hantzsch; <i>Tryblionella tryblionella</i> Cantonati & Lange-Bertalot	b	hf	alf	c
<i>Tryblionella hungarica</i> (Grun.) Frenguelli	<i>Nitzschia hungarica</i> Grun.; <i>Homoeocladia hungarica</i> (Grun.) Kuntze	pb	mh	alf	c
<i>Tryblionella levidensis</i> W.Smith	<i>Nitzschia tryblionella</i> var. <i>levidensis</i> (W.Smith) Grun.; <i>Nitzschia levidensis</i> (W.Smith) Grun.; <i>Denticula levidensis</i> (W.Smith) De Toni; <i>Tryblionella tryblionella</i> var. <i>levidensis</i> (W.Smith) Prochazka; <i>Tryblionella hantzschiana</i> var. <i>levidensis</i> (W.Smith) Frenguelli	pb	mh	alf	c
<i>Tryblionella littoralis</i> (Grun.) D.G.Mann	<i>Nitzschia littoralis</i> Grun.; <i>Nitzschia tryblionella</i> var. <i>littoralis</i> (Grun.) Grun.; <i>Homoeocladia littoralis</i> (Grun.) Kuntze; <i>Tryblionella tryblionella</i> var. <i>littoralis</i> (Grun.) Prochazka; <i>Tryblionella hantzschiana</i> var. <i>littoralis</i> (Grun.) Tauson	-	-	-	hf
<i>Tryblionella victoriae</i> Grun.	<i>Nitzschia tryblionella</i> var. <i>victoriae</i> (Grun.) Grun.; <i>Nitzschia victoriae</i> (Grun.) Cleve; <i>Tryblionella hantzschiana</i> var. <i>victoriae</i> (Grun.) Playfair; <i>Tryblionella tryblionella</i> var. <i>victoriae</i> (Grun.) Radzimowsky; <i>Nitzschia spectabilis</i> var. <i>victoriae</i> (Grun.) Lak; <i>Nitzschia levidensis</i> var. <i>victoriae</i> (Grun.) Chohnoky;	b	hf	-	b
<i>Tryblionella hantzschiana</i> Grun.	<i>Nitzschia tryblionella</i> Hantzsch; <i>Tryblionella tryblionella</i> Cantonati & Lange-Bertalot	b	hl	alf	c

<i>Ulnaria acus</i> (Kütz.) Aboal	<i>Synedra acus</i> Kütz.; <i>Synedra oxyrhynchus</i> var. <i>acus</i> (Kütz.) Kirchner; <i>Synedra affinis</i> var. <i>acus</i> (Kütz.) Grun.; <i>Synedra goulardi</i> var. <i>acus</i> (Kütz.) Frenguelli; <i>Fragilaria ulna</i> var. <i>acus</i> (Kütz.) Lange-Bertalot; <i>Fragilaria ulna</i> f. <i>acus</i> (Kütz.) Krammer & Lange-Bertalot; <i>Fragilaria acus</i> (Kütz.) Lange-Bertalot; <i>Ulnaria ulna</i> var. <i>acus</i> (Kütz.) Compère	p	i	alb	c
<i>Ulnaria aequalis</i> (Kütz.) Aboal	<i>Ulnaria ulna</i> var. <i>aequalis</i> (Kütz.) Aboal; <i>Frustulia aequalis</i> Kütz.; <i>Synedra aequalis</i> (Kütz.) Kütz.; <i>Synedra splendens</i> var. <i>aequalis</i> (Kütz.) Grun.; <i>Synedra ulna</i> var. <i>aequalis</i> (Kütz.) Brun; <i>Fragilaria ulna</i> var. <i>aequalis</i> (Kütz.) Pankow, Haendel & Richter	b	i	alf	c
<i>Ulnaria capitata</i> (Ehr.) Compère	-	b	i	ind	c
<i>Ulnaria contracta</i> (Østrup) E.A.Morales & M.L.Vis	<i>Synedra ulna</i> var. <i>contracta</i> Østrup; <i>Fragilaria ulna</i> var. <i>contracta</i> (Østrup) Main	-	-	-	-
<i>Ulnaria delicatissima</i> (W.Smith) Aboal & P.C.Silva	<i>Synedra delicatissima</i> W.Smith; <i>Synedra acus</i> var. <i>delicatissima</i> (W.Smith) Rabenhorst; <i>Synedra acus</i> f. <i>delicatissima</i> (W.Smith) Willi Krieger; <i>Fragilaria delicatissima</i> (W.Smith) Lange-Bertalot	-	-	-	-
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	<i>Bacillaria ulna</i> Nitzsch; <i>Frustulia ulva</i> (Nitzsch) C.Agardh; <i>Navicula ulna</i> (Nitzsch) Ehr.; <i>Frustulia ulna</i> (Nitzsch) C.Agardh; <i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehr.; <i>Exilaria ulna</i> (Harvey) Jenner; <i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot; <i>Synedra ulna</i> var. <i>genuina</i> (Grun.); <i>Synedra bicurvata</i> (Biene ex Rabenhorst); <i>Synedra ulna</i> var. <i>bicurvata</i> (Biene ex Rabenhorst) Grun.; <i>Pseudo-eunotia bicurvata</i> (Biene) De Toni; <i>Synedra ulna</i> f. <i>bicurvata</i> (Biene) Mayer	pb	i	alf	c