

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

*На правах рукописи*

**Ткач Николай Тимофеевич**

**«СЕВЕРНЫЙ КАСПИЙ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ:  
ЛИТОЛОГИЯ, СТРАТИГРАФИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ»**

Специальность 1.6.5 — Литология

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук

доцент

Сорокин Валентин Михайлович

Москва — 2024 г.

## Содержание

Введение .....	5
Глава 1. Геолого-географический очерк .....	10
1.1. Особенности геологического строения .....	10
1.1.1. Тектоника .....	10
1.1.2. Геологическое строение.....	11
1.1.3. Современные вертикальные тектонические движения.....	17
1.2. Физико-географические условия.....	18
1.3. Источники осадочного материала .....	23
1.3.1. Твердый материковый сток.....	24
1.3.2. Сток растворенных веществ .....	25
1.3.3. Эоловые наносы.....	25
1.3.4. Биогенные вещества .....	26
1.4. Современные осадки Северного Каспия .....	27
1.4.1. Литологические типы современных осадков.....	27
1.4.2. Минералогический состав современных осадков .....	27
Глава 2. История изучения региона.....	37
Глава 3. Материалы и методы .....	44
3.1. Материалы .....	44
3.2. Методы.....	45
3.2.1. Изучение химического состава отложений .....	45
3.2.2. Изучение гранулометрического состава отложений .....	46
3.2.3. Потери при прокаливании.....	46
3.2.4. Изучение минералогического состава .....	46
3.2.6. Создание базы данных абсолютных определений возраста .....	47
3.2.7. Обобщение малакофаунистических данных .....	47
Глава 4. Строение, биостратиграфия и геохронология верхнечетвертичных отложений Северного Каспия.....	48

4.1. Сейсмостратиграфическое расчленение отложений .....	48
4.2. Ательские отложения.....	51
4.2.1. Литологические типы отложений .....	51
4.2.2. Биостратиграфия.....	53
4.2.3. Возраст.....	54
4.3. Хвалынские отложения .....	54
4.3.1. Литологические типы отложений .....	54
4.3.2. Биостратиграфия.....	59
4.3.3. Возраст.....	60
4.4. Мангышлакские отложения .....	61
4.4.1. Литологические типы отложений .....	64
4.4.2. Биостратиграфия.....	65
4.4.3. Возраст.....	65
4.5. Новокаспийские отложения.....	65
4.5.1. Литологические типы отложений .....	68
4.5.2. Биостратиграфия.....	69
4.5.3. Возраст.....	70
Глава 5. Вещественный состав верхнечетвертичных отложений Северного Каспия	72
5.1. Химический состав отложений .....	72
5.1.1. Сравнение с современными осадками.....	90
5.1.2. Химический состав питающих провинций.....	92
5.1.3. Геохимические коэффициенты и показатели .....	94
5.2. Гранулометрический состав отложений .....	95
5.3. Состав глинистых минералов .....	97
5.3.1. Состав глинистых минералов в источниках терригенного материала ...	109
5.4. Минералогический состав отложений.....	110
5.4.1. Тяжелая подфракция песка .....	111
5.4.1. Лёгкая подфракция песка.....	116

Глава 6. Палеогеографическая реконструкция и история геологического развития .....	118
6.1. Колебания уровня моря и малакофаунистические данные .....	118
6.1.1. Унификация малакофаунистических данных .....	118
6.1.2. Результат обобщения данных абсолютного датирования .....	123
6.2. Скорости осадконакопления. ....	125
6.3. Палеогеографические этапы .....	126
6.3.1. Ательский этап .....	126
6.3.2. Хвалынский этап .....	130
6.3.3. Мангышлакский этап .....	135
6.3.4. Новокаспийский этап .....	137
Заключение .....	140
Список литературы .....	142
Приложение 1. Литологические колонки. Район 1 .....	157
Приложение 2. Литологические колонки. Район 2 .....	158
Приложение 3. Литологические колонки. Район 3 .....	159
Приложение 4. Литологические колонки. Район 4 .....	160
Приложение 5. Литологические колонки. Район 5 .....	161
Приложение 6. Литологические колонки. Район 6 .....	162

## **Введение**

Работа посвящена изучению верхнечетвертичных отложений северной части крупнейшего в мире изолированного водоёма — Каспийского моря. Строение и состав толщи этих отложений отражает в себе разномасштабные палеогеографические изменения как в самом бассейне, так и на прилегающей территории. Несмотря на длительную историю изучения Северокаспийского региона, многие вопросы стратиграфии, палеогеографии, истории осадконакопления и колебаний уровня моря остаются нерешёнными. Во многом это связано с тем, что вплоть до конца XX века основой для изучения региона были обнажения речных и морских террас и разрезы скважин в прибрежных областях суши, где геологическая летопись позднечетвертичного времени фрагментарна. Диссертационное исследование основано на изучении гораздо более полного архива геологической записи — отложений разных участков современной акватории Северного Каспия.

**Актуальность работы** обусловлена потребностью разрешить дискуссионные вопросы верхнечетвертичной геологии Каспийского региона, выявить и проследить закономерности его геологического развития в позднем плейстоцене и голоцене на новых материалах отложений Северного Каспия. В диссертационном исследовании проведена попытка внести вклад в решение части вопросов, на которые ранее было проблематично дать ответ, исследуя только береговые разрезы. Наиболее дискуссионными для позднечетвертичного времени в регионе являются вопросы, связанные с последней крупной трансгрессией Каспийского моря – хвалынской: её отложениями, временными рамками, палеогеографическими условиями. Поэтому работа соискателя посвящена изучению преимущественно второй половины верхнечетвертичных отложений региона, к которым относятся и осадки, сформировавшиеся во время хвалынской трансгрессии.

**Цель исследования** — выявление особенностей позднечетвертичного седиментогенеза на шельфе Северного Каспия.

### **Основные задачи:**

- 1) стратиграфическое расчленение верхнечетвертичных отложений Северного Каспия;
- 2) изучение вещественного состава отложений;
- 3) минералогический анализ отложений и определение питающих провинций по комплексам обломочных и глинистых минералов;
- 4) геохимическая характеристика отложений Северного Каспия, анализ распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) для определения изменений в питающих провинциях;

5) обобщение и анализ опубликованных малакофаунистических данных и определений абсолютного возраста отложений;

6) палеогеографическая интерпретация результатов.

**Объектом исследования** являются верхнечетвертичные отложения Северного Каспия. **Предметом** — история седиментогенеза и палеогеография Северного Каспия.

**Фактический материал и личный вклад автора.** В основу работы положены материалы исследований 40 скважин и 22 сейсмоакустических профилей, полученных в ходе инженерно-геологических изысканий преимущественно в центральной части Северного Каспия в 2002-2017 гг.

В исследовании использованы литологические описания для всех 40 скважин (1200 п.м.), для 32 из них — керновый материал или результаты аналитических исследований. Рентгенодифрактометрический анализ состава глинистых минералов отложений выполнен для 246 образцов соискателем и н.с. В.Л. Лукшой. Гранулометрический, рентгенофлуоресцентный анализ и потери при прокаливании также выполнены диссертантом, начиная с этапа отбора проб керна до получения и анализа результатов. Помимо этого, соискателем построены литологические колонки и обобщающий разрез через несколько изученных районов Северного Каспия. В работе использованы данные определения ископаемой малакофауны к.б.н. Е.В. Бабак, а также опубликованные и полученные впервые данные об абсолютном возрасте отложений, которые были обобщены и унифицированы диссертантом. По результатам анализа этих материалов соискателем составлены две базы данных, которые используются в работе для биостратиграфического и геохронологического расчленения верхнечетвертичной толщи отложений.

**Методы исследований.** Изучение литологического состава отложений, их строения, биостратиграфических и геохронологических данных позволило описать литологические типы пород и обосновать выделение ательского, хвалынского, мангышлакского и новокаспийского горизонтов. Характер строения толщи верхнечетвертичных отложений, а также серия аналитических исследований (малакофаунистических, литологических, геохимических) и обобщения литературных данных позволили выявить смены условий осадконакопления в регионе и изменений в питающих провинциях. Полученные результаты использованы для палеогеографической реконструкции.

**Научная новизна.** Впервые дана комплексная характеристика отложений позднего плейстоцена и голоцена Северного Каспия, включающая литологический, геохимический, стратиграфический и геохронологический аспекты. В диссертационном исследовании автором выявлены и показаны изменения в питающих провинциях Северного Каспия по данным РЗЭ и состава глинистых минералов в позднечетвертичное время. Установлены

закономерности распределения минералов тяжёлой фракции в верхнечетвертичных отложениях Северного Каспия. Впервые прослежены хронологические границы палеогеографических этапов и накопления горизонтов, выделяемых в верхнечетвертичных отложениях региона.

**Защищаемые положения:**

1. В последовательности верхнечетвертичных отложений Северного Каспия по смене комплексов фауны моллюсков и литологических признаков выделяются и четко коррелируются по сейсмоакустическим профилям четыре горизонта, разделенных серией разновозрастных врезов. Возраст ательского горизонта до 30 т.л.н., хвалынского — 30-11,5 т.л.н., мангышлакского — 11,5-8 т.л.н., новокаспийского — 8-0 т.л.н. Отложения горизонтов, маркирующих периоды падения уровня моря, выполняют палеопонижения и отличаются по условиям залегания от соответствующих подъемам уровня моря.

2. В центральной части Северного Каспия в позднечетвертичное время формировалась единая волжская терригенно-минералогическая провинция, трансформировавшаяся по мере удаления от дельты Волги. В периоды подъема уровня моря преобладал сток Камского бассейна, а в периоды падения уровня моря — Верхневолжского.

3. Позднечетвертичная история Северного Каспия включает два регрессивных и два трансгрессивных этапа: окончание регрессивного ательского этапа соответствует времени до 30 т.л.н., когда уровень моря опускался до -55 м от современного уровня Каспия (от СК) (-83 м абс. Балтийской системы), а осадконакопление происходило в дельтовых и ильменно-озёрных пресноводных обстановках; хвалынский этап, продолжавшийся от 30 до 11,5 т.л.н., за время которого уровень моря поднимался как минимум дважды: до +38 – +40 м от СК (+20 – +22 м абс. БС) и до +73 – +78 м от СК (+45 – +50 м абс. БС) в максимум трансгрессии, а отложения накапливались непрерывно в морских – солоноватоводных условиях; регрессивный мангышлакский этап, соответствующий периоду 11,5-8 т.л.н., когда уровень моря опускался до отметок -72 м от СК (-100 м абс. БС), осадки накапливались в дельтовых и ильменно-озёрных пресноводных обстановках; новокаспийский этап, начавшийся с 8 т.л.н., характеризовавшийся осцилляциями уровня моря в пределах от -12 м от СК (-40 м абс. БС) до +6 м (-22 м абс. БС), в результате чего условия в Северном Каспии менялись от пресноводных до солоноватоводных, а осадконакопление происходило с перерывами, которые отмечаются в проксимальной к дельте Волги области.

**Практическая значимость.** Результаты исследования могут быть использованы при составлении стратиграфической и палеогеографической схемы Каспийского региона для позднего плейстоцена и голоцена, для понимания строения толщи отложений при инженерно-геологических изысканиях и для возможного средне- и долгосрочного

прогнозирования динамики изменения уровня Каспия, а также в образовательных целях — в лекционных курсах Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

**Степень достоверности.** Аналитические исследования, проведенные соискателем лично или при его непосредственном участии, выполнялись с чётким соблюдением всех методических указаний для каждого вида анализа. Для гранулометрического анализа достоверность результатов подтверждается повторяемостью измерений – не менее 5 для каждого образца. Для комплекса геохимических методов результаты измерений для одних и тех же компонентов методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией (ЛА-ИСП-МС) показали высокую сходимость. Сравнение созданной палеогеографической реконструкции климатически обусловленных колебаний уровня Каспийского моря с изотопно-кислородной кривой NGRIP, отражающей климатические изменения в северном полушарии, позволяет убедиться в достоверности проведенной работы.

**Апробация работы.** Результаты исследования и основные положения диссертации представлены диссертантом на российских и международных научных форумах: X Всероссийское совещание по изучению четвертичного периода (Москва, 2017), LXIV сессия Палеонтологического общества при РАН (Санкт-Петербург, 2018), XXXVI Пленум геоморфологической комиссии РАН (Москва, 2018), UNESCO-IUGS-IGCP 610 and INQUA ROCAS Joint Plenary Conference (Анталья, 2018), INQUA (Дублин, 2019), Экзолит-2019 (Москва, 2019), IX Всероссийское литологическое совещание (2019), INQUA IFG 1709F ROCAS (Тегеран, 2019), V Всероссийской научной конференции с международным участием «Динамика экосистем в голоцене» (Москва, 2019), Экзолит – 2020 (Москва, 2020), Марковские чтения (Москва, 2020), Экзолит – 2021 (Москва, 2021), Очевские чтения (Москва-Самара-Тольятти, 2021), Geological Society of America Meeting (Вашингтон, 2021), Пути эволюционной географии (Москва, 2021), INQUA SEQs (Вроцлав, 2021), PAGES AGADIR (Агадир, 2022), IAL IPA 2022 Lagos, Memorias del Territorio (Сан-Карлос-де-Барилоче, 2022), LXIX сессия Палеонтологического общества при РАН (Санкт-Петербург, 2023), XXXVII пленум Геоморфологической комиссии РАН (Москва, 2023), Всероссийская конференция «Каспий в плейстоцене и голоцене: эволюция природной среды и человек» (Волгоград, 2023).

Результаты проведенного диссертационного исследования изложены в 7 статьях в рецензируемых изданиях (журналах) из списка Scopus, WoS и RSCI (из них 3 статьи в зарубежных журналах) и в изданиях из перечня, рекомендованных Минобрнауки РФ, в коллективной монографии, где диссертант является соавтором одного из разделов, а также

в 42 статьях в сборниках и материалах всероссийских и международных конференций и в 12 тезисах докладов. Во всех работах вклад автора является определяющим.

**Структура работы.** Диссертационная работа состоит из 6 глав, введения и заключения, включающих 82 рисунка, 25 таблиц и 6 приложений. Объем диссертации составляет 162 страницы, основной текст изложен на 141 странице. В работе содержится 6 приложений. Список литературы включает 156 источников (из них 49 на иностранных языках).

**Благодарности.** Диссертант выражает глубокую благодарность своему научному руководителю проф., д.г.-м.н. В.М. Сорокину за организационную и научную помощь в работе и безграничную поддержку; Ю.П. Безродных и Б.Ф. Романюку за предоставленный фактический материал; н.с В.Л. Лукше за помощь в анализе состава глинистых минералов; коллективу кафедры нефтегазовой седиментологии и морской геологии и особенно с.н.с. А.Г. Рослякову за ценные замечания; заведующей НИЛ НОиПП Географического факультета МГУ проф. д.г.н. Т.А. Яниной и её коллегам за конструктивную критику, а также к.г.н. А.А. Ткач за безграничную поддержку и понимание.

## **Глава 1. Геолого-географический очерк**

Каспийское море представляет собой крупнейший в мире бессточный водоем. Сегодня оно является озерной системой, однако геологическое строение, значительные размеры, солоноватые воды и водный режим, сходный с морским, а также связь с Мировым, неоднократно устанавливавшаяся в геологической истории, сформировали традиционное отношение к Каспию как к морскому бассейну.

Геологическая и физико-географическая обстановки Каспийского региона детально рассматривались во многих трудах, поэтому в данном разделе приведена лишь краткая характеристика Каспийского моря, позволяющая рассмотреть аспекты, соответствующие цели и задачам диссертационного исследования. Поскольку данная работа посвящена изучению акватории Северного Каспия, в главе представлены сведения, главным образом, об этой наиболее мелководной части Каспийского моря.

### **1.1. Особенности геологического строения**

#### ***1.1.1. Тектоника***

В пределах Северного Каспия распространены следующие геоструктуры: Восточно-Европейская докембрийская платформа, Скифско-Туранская плита (представляющая собой эпигерцинскую платформу), а также крупный тектонический элемент — кряж Карпинского (Рис. 1). Основную часть Северного Каспия занимает южная окраина Русской платформы — Прикаспийская синеклиза. Аграхано-Эмбенский разлом разделяет Северный Каспий на две части с северо-востока на юго-запад.

Имеющиеся геолого-геофизические данные свидетельствуют о том, что центральная часть Прикаспийской синеклизы характеризуется большими глубинами залегания подошвы осадочного чехла. Поверхность кристаллического фундамента находится на глубинах 8-11 км. Она выражена моноклинально с воздыманием в северном и северо-западном направлении. Фундамент в изучаемом регионе разбит глубинными разломами на крупные блоки. Среди разломов преобладают широтное и субмеридиональное направления, только Астраханско-Гурьевский разлом протягивается в ЮЗ-СВ направлении. Именно его можно считать границей между Скифской и Туранской платформами, поскольку резкая тектонически выраженная граница между ними отсутствует.

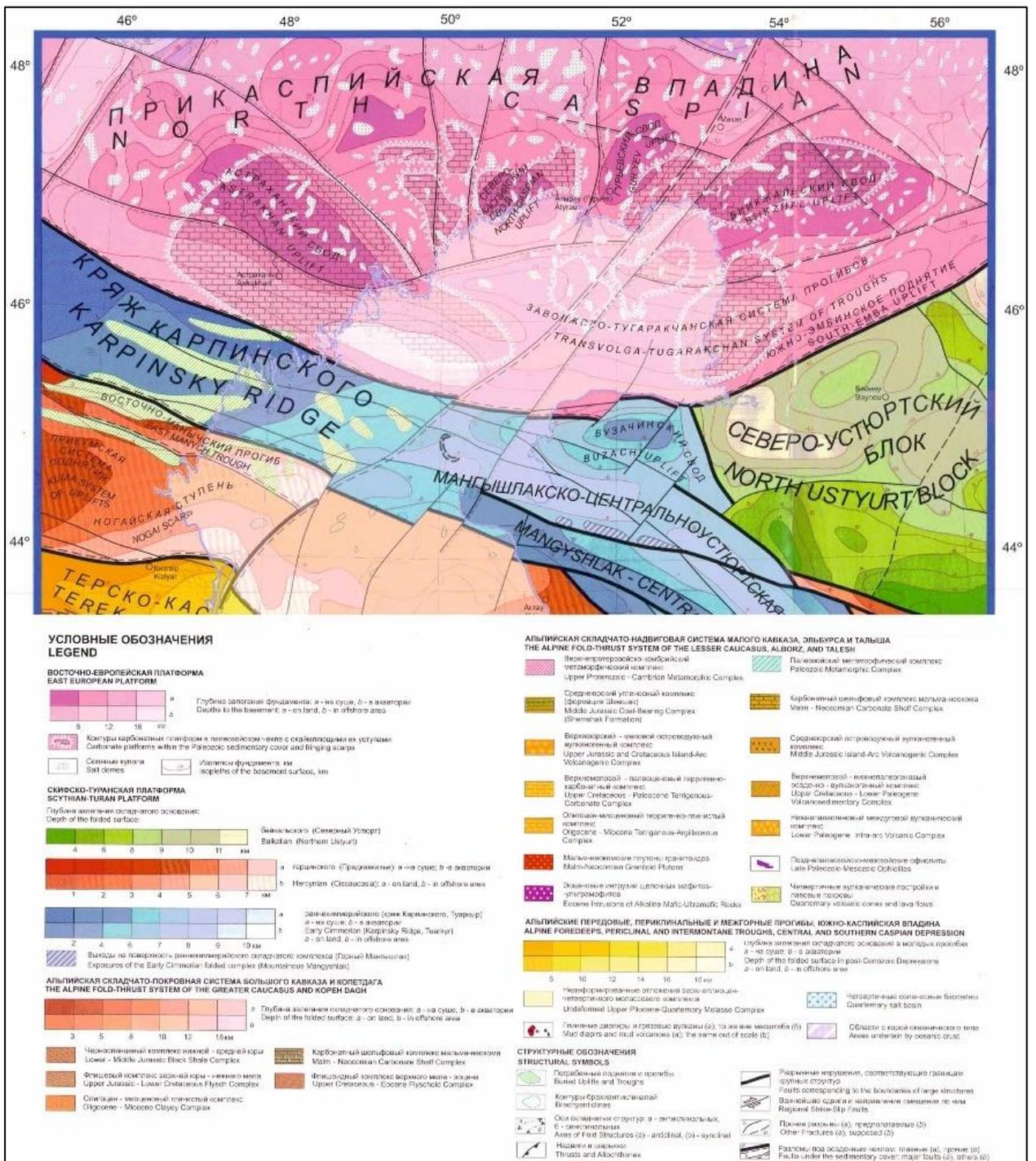


Рис. 1. Фрагмент международной тектонической карты Каспийского моря и его обрамления (2003).

### 1.1.2. Геологическое строение

Северную часть Северного Каспия занимает область дорифейского фундамента Прикаспийской впадины (Глумов, 2004). В области Скифско-Туранской плиты верхний структурный ярус фундамента представлен нижнепермо-триасовыми породами и перекрывается мезозойско-кайнозойским комплексом. Северокаспийское продолжение кряжа Карпинского характеризуется постепенным уклоном поверхности фундамента в юго-восточном направлении, уже в 30 км к западу от полуострова Тюб-Караган отмечается

резкое погружение ее с 3,5-4,0 км до глубины 7,0 км и более. Вероятно, эта ступень является зоной сочленения Скифской и Туранской плит на описываемом участке (Глумов, 2004).

В вертикальном разрезе осадочного чехла морской части Прикаспийской синеклизы Русской платформы выделяются три комплекса: подсолевой палеозойский, соленосный кунгурский и надсолевой.

Палеозойский комплекс представлен отложениями девона, карбона и перми, сложенными разными формациями: терригенной, терригенно-карбонатной, глубоководной и карбонатной. Мощность палеозойских докунгурских отложений в пределах морского продолжения Южно-Эмбинского авлакогена и Каракульско-Смушковой зоны дислокаций достигает 6-7 км, и к северу она сокращается, составляя 2-3 км на южных склонах Новобогатинского и Биикжалско-Кульсаринского сводовых поднятий. В северной части эпигерцинской платформы выделяется крупная Промыслово-Бузачинская зона поднятий, на западе которой находится Пегровско-Зюдевское поднятие с глубиной залегания кровли меловых отложений около 600-700 м. Укатненская депрессия представляет собой крупную впадину, осложнённую локальными поднятиями. К югу от этой депрессии располагается Северо-Кулалинское поднятие, южный борт которого опускается в сторону Южно-Бузачинского прогиба.

Граница распространения нижнепермской соленосной кунгурской толщи на восточном побережье отмечается в пределах локального поднятия Южное, западнее она проходит через Гамбурцевское поднятие, а на северо-западном побережье — между Астраханским сводовым поднятием и Каракульско-Смушковой зоной дислокаций. Мощные соленосные отложения на территории Нижнего Поволжья представлены в основном галитом. Мозаичное гравитационное поле на территории Прикаспийской синеклизы обуславливается проявлениями солянокупольной тектоники.

Надсолевой комплекс представлен верхнепермскими, мезозойскими и кайнозойскими отложениями. Повсеместно распространены верхнепермские и триасовые отложения мощностью до 650 м, сложенные красноцветными алевролитами, которые размыты в верхней части (Геология СССР, 1970). Мезозойско-кайнозойские отложения, без пермских и триасовых, имеют мощность до 1500 м. Они увенчаны мощным чехлом неоген-четвертичных отложений.

В основу четвертичных стратиграфических построений для Каспийского моря первоначально был положен принцип изучения разновозрастных морских террас, расположенных на разных гипсометрических уровнях, и изучения отложений, обнажающихся в них. Только во второй половине XX века полученные таким образом сведения и фрагментарные по бурению прилегающей к морю суше, были дополнены

сведениями, полученные путем бурения морских скважин (преимущественно извлеченных из акватории Среднего Каспия). Тем не менее, неизменным на протяжении многих лет остается выделение в четвертичной истории Каспийского моря нескольких этапов: апшеронского, бакинского, хазарского, хвалынского и новокаспийского. Каждый соответствующий указанным этапам ярус неоднороден по характеру отложений и включает в себя закономерно сменяющиеся в пространстве и времени трансгрессивные, регрессивные и континентальные серии осадков, поскольку вся четвертичная летопись Каспийского моря несет в себе историю расширения и сокращения границ моря в связи с изменением природных условий (главным образом, климатических и геотектонических).

В начале неоплейстоцена в котловине Каспийского моря существовал тюркянский бассейн. Соответствующий горизонт представлен аллювиально-пролювиальными песками и галечниками, а также глинистыми и песчано-глинистыми отложениями озерно-лиманного и морского происхождения. Об осадках тюркянской свиты известно немного, вероятно, они сходны с древним аллювием Волги, сырцовыми образованиями междуречья Волги и Урала и с отложениями нижней части каракумской свиты Западной Туркмении. Морское осадконакопление происходило лишь в котловинах Среднего и Южного Каспия, где была сосредоточена водная масса тюркянского бассейна. На прилегающих территориях накапливались континентальные отложения (аллювиальные, дельтовые, озерные, субаэральные), отражающие обстановку длительной и глубокой регрессии. В тюркянских отложениях Азербайджана установлена граница геомагнитных эпох Брюнес-Матуяма (Асадуллаев, Певзнер, 1973; Гурарий и др., 1976), возраст которой определен примерно, как 780 тыс. лет назад. Датирование трековым методом свидетельствует о времени существования данного бассейна в период от 950 до 1050 тыс. лет назад (Ганзей, 1984).

Осадки бакинского моря широко развиты на всех побережьях Каспия. В Куринской и Западно-Туркменской депрессиях мощность бакинской толщи максимальна среди всех неоплейстоценовых осадков Каспия, в то время как в Прикаспийской впадине она лишь немного уступает нижнехвалынским образованиям. Распространение и характер бакинских отложений свидетельствуют о развитии ингрессионных заливов на начальных этапах трансгрессии, по которым море глубоко проникало вглубь окружавшей его суши. С увеличением площади бассейна изменялся и характер отложений – возрастало содержание песков, ракушечников, скоплений гравийно-галечного материала. В наиболее полных разрезах отмечается определенная стратификация бакинских отложений: песчано-глинистые и илистые в основании, выше они, как правило, сменяются сначала песками с прослоями грубообломочного материала, а в кровле – галечниковыми и известняковыми

отложениями. Мощность осадков в зависимости от структурных условий изменяется в пределах первых метров.

Работами ряда стратиграфов (Федоров, 1953), изучавших макрофаунистические остатки, представители моллюсков рода *Didacna* были признаны руководящими при стратиграфических построениях в Каспийском регионе. Особенности строения и литологического состава наиболее полных разрезов бакинских отложений Азербайджана позволяют расчленить их на слои (подсветы), отражающие стадии развития данного бассейна: начальную ингрессионную (нижний слой – тонкие глинистые осадки с *Didacna parvula*), максимальную трансгрессивную (средний слой – песчано-глинистые осадки с господством катиллоидных дидакн и заключительную стадию стабилизации уровня и начала регрессии (верхний слой – грубообломочные отложения с множеством массивных *D. rudis* и *D. carditoides*, с линзами дрейссен). Согласно данным Т.А. Яниной (2012) раннебакинская холодноводная трансгрессия моря, развивавшаяся на фоне похолодания климата в начале-середине раннего неоплейстоцена, сопровождавшаяся пониженными значениями солености вод, сменилась повышением температуры воды в позднебакинское время, а также понижением уровня моря.

Возраст пород верхней части свиты по данным трекового анализа составляет порядка 700 тыс. лет, в то время как возраст тефры в осадках, содержащих раковинный материал позднебакинского фаунистического комплекса, составляет около 510 тыс. лет (Кошкин, 1984).

В основании среднего плейстоцена залегает урунджикский горизонт, синхронный времени сингильской эпохи в Нижнем Поволжье (Седайкин, 1988) Дискуссионность выделения урунджикского этапа в истории Каспия отмечалась рядом работ – результаты одной группы исследователей (Федоров, 1953; Москвитин, 1962; Рычагов, 1977, 1997; Янина, 2008 и др.) свидетельствуют в пользу существования самостоятельного этапа развития моря, против установления которого выступили, например, А.В. Мамедов и Б.Д. Алескеров (1987), а позднее и Н.И. Лебедева (1977). Горизонт объединяет разнообразные генетические типы отложений, в частности, выделяются следующие свиты: урунджикские морские, охарактеризованные специфичной фауной дидакн (например, *D. eulachia*, *D. čelekenica*, *D. pravoslavlevi* и др.); сингильские озерно-лиманские, содержащие остатки пресноводных моллюсков (родов *Unio*, *Sphaerium*, *Lithoglyphus*) и остракод (Седайкин, 1988), а также костные остатки крупных млекопитающих (Алексеева, 1977); венедские аллювиальные (Федоров, 1978). Несмотря на то, что осадки урунджикского горизонта широко распространены на побережьях Каспия, отметим – в Северном Прикаспии они установлены не были (Янина, 2012), что, вероятно, связано с их небольшой первоначальной

мощностью и последующим размывом в ходе трансгрессивных этапов развития Каспийского моря (Рычагов, 1997). В целом горизонт соответствует эпохе обширной регрессии, разделяющей бакинскую и хазарскую трансгрессивные эпохи Каспия и развивавшейся в теплую межледниковую эпоху, что подтверждается энтомологическими (Бидашко, 2005) и спорово-пыльцевыми (Седайкин, 1988) данными. Обнаружение урунджикских отложений на значительных высотах в Азербайджане свидетельствует о существенных тектонических подвижках, произошедших в конце регрессивной эпохи. Этот вывод подкрепляется наличием углового несогласия между данным горизонтом и залегающими над ним хазарскими отложениями, глубокими врезами рек (Москвитин, 1962).

Во время хазарского этапа, пришедшегося на конец среднего и начало раннего неоплейстоцена, происходило накопление отложений трех горизонтов: гюргянского (нижнехазарского), чернойарского и верхнехазарского.

Гюргянский горизонт представлен морскими образованиями хазарской свиты. Отложения соответствуют подбиозоне *trigonoïdes-crassa*, прослеживаемой по малакофауне из разрезов западного побережья и Северного Прикаспия. Отложения раннехазарской трансгрессии широко развиты на всех побережьях Каспия, далеко проникая вглубь побережий по впадинам и древним депрессиям рельефа. В целом для отложений характерны мелководные прибрежно-мелководные фации. Отмечено обилие гравийно-галечного материала дальнего переноса, а также песчаного и песчано-галечного материала терригенно-карбонатного состава. Максимальная мощность отмечается в Куринской депрессии, где достигает 600 м. Начальный этап хазарской трансгрессии развивался в условиях холодного климата, литологическими свидетельствами которого можно считать проявления мерзлотных процессов в соответствующих отложениях Северного Прикаспия.

Результаты датирования нижнехазарских (гюргянских) отложений указывают, что их образование проходило в среднем неоплейстоцене. Если судить по мощности осадков, в тектонических депрессиях превышающей 500 м, длительность их накопления составляла не менее 100 тыс. лет. Возраст отложений нижнехазарского горизонта в Азербайджане (террасы на высотных отметках 160 и 180 м), вероятно, составляет 300 или более тыс. лет. Резкие перепады мощности хазарских отложений и характер фаунистических комплексов свидетельствуют о разной продолжительности данного этапа в различных районах Каспийского региона. Наиболее продолжительным было существование бассейна на западном побережье в районах активных тектонических погружений. Здесь отмечаются максимальные мощности морских осадков, колебания положения их кровли и сопутствующие фаунистические изменения. В Северном Прикаспии, за исключением

самого юга и долины Нижней Волги, небольшая мощность хазарских отложений и монодоминантный комплекс дидакн свидетельствуют о том, что трансгрессия раннехазарского моря была непродолжительной.

Раннехазарская трансгрессивная эпоха сменилась регрессией, когда уровень моря располагался ниже современных отметок (Федоров, 1957; Москвитин, 1962; Свиточ, 1991 и др.). К этому времени относится накопление так называемого «черноярского аллювия». Черноярский горизонт представлен осадками древней волжской долины – черноярской свиты в долине Волги. Это преимущественно русловые разнородные пески, диагонально-косослоистые, включающие многочисленные костные остатки крупных млекопитающих хазарского фаунистического комплекса (находки костей *Mammuthus trogontherii*, *Equus caballus chosaricus*, *Bison priscus longicornis*), возраст которого определяется серединой среднего плейстоцена, а ландшафты обитания – как степные (Громов, 1935). Известны также находки мелких млекопитающих (Кириллова, Тесаков, 2004). Отложения черноярской свиты развиты от Райгорода до Никольского, они с размывом залегают на нижнехазарских или сингильских отложениях, по резкому контакту перекрыты сверху ательскими осадками. Южнее осадки черноярской свиты исчезают и, возможно, частично переходят в верхнехазарские морские отложения, которые в целом, несомненно, моложе. Данный аллювиальный комплекс отложений подразделяется на русловую и пойменную (включающую старичную) фации. Первая представлена, как правило, более светлыми: серыми, желтоватыми и буроватыми косослоистыми песками, наполненными гравием, галькой и раковинами пресноводных и переотложенных солоноватоводных моллюсков апшеронского, бакинского и хазарского возраста (Янина, 2012). Важно подчеркнуть, что черноярский аллювий содержит переотложенные дидакны не моложе раннехазарских, что позволяет установить его стратиграфическое положение между ранней и поздней хазарскими трансгрессиями. Пойменная и старичная фации представлены бурыми и серыми песчанистыми глинами и алевролитами мощностью до 4–5 м. Отложения черноярского горизонта охарактеризованы палинологическими спектрами лесостепного и степного типов. Стратиграфическое и гипсометрическое положение черноярских песков, содержащаяся в них фауна моллюсков, млекопитающих и литологические особенности указывают, что формирование их осуществлялось в русле крупной реки в середине – конце среднего плейстоцена на уровнях, близких к современной межени р. Волги, либо несколько выше.

В других районах каспийских побережий одновозрастными аналогами осадков черноярской свиты можно условно считать верхнюю толщу аллювия каракумской свиты и толщу континентальных отложений с погребенными почвами, перекрывающими

гюргянские отложения структуры Мишовдаг. В целом осадки черноморского горизонта, накапливавшиеся в ходе непродолжительного временного интервала во второй половине – конце среднего плейстоцена, имеют ограниченное распространение на каспийских побережьях.

Особый интерес в рамках диссертационного исследования представляют осадки верхнего плейстоцена, которые в Каспийском регионе представлены отложениями верхнехазарского, ательского и хвалынских горизонтов. Поскольку диссертационное исследование посвящено изучению ательских, хвалынских, а также голоценовых – мангышлакских и новокаспийских горизонтов, подробная их характеристика будет дана позже в соответствующих главах, здесь же остановимся на верхнехазарских отложениях.

Судя по распространению и залеганию отложений позднехазарской трансгрессивной фазы Каспийского моря, уровень был лишь немногим выше современного. Последующие трансгрессии на большей части побережья Каспия перекрывали и деформировали отложения верхнего хазара, что затрудняет их анализ (Леонтьев и др., 1977). На юге Нижнего Поволжья морские отложения, маркирующие распространение вод Каспия, располагающиеся на отметках около 0 м, достоверно установлена в разрезе Сероглазовка (Свиточ, 2014). В буровых колонках Северного Каспия верхнехазарский горизонт представлен, как правило, переслаиванием в нижней части: мелкозернистого песка серого цвета, содержащего детрит, а иногда и целые раковины (пресноводных видов моллюсков *Viviparus*, *Valvata* и *Dreissena polymorpha*) и растительные остатки, с глинами; в верхней: более крупного песка с обилием детрита и раковинного материала, с глинами разных оттенков серого с тонкими прослоями хемогенного карбоната алевроитовой размерности (Bolikhovskaya et al., 2024). В фаунистическом сообществе доминируют *Dreissena caspia*; также встречаются *Dreissena polymorpha*, *Dr. rostriformis distincta*, *Monodacna caspia* и *Theodoxus pallasi*.

### **1.1.3. Современные вертикальные тектонические движения**

Важным аспектом, который стоит рассмотреть при изучении геологической истории Северного Каспия и особенно изменений уровня моря, являются современные движения земной коры. Характер вертикальных движений земной коры позволит говорить о типе наблюдаемых колебаний уровня моря: эвстатическом (связанных с изменением объема водной массы) или относительном (связанных с различными геодинамическим факторами, в т.ч. изостатическими). В работе И.Ф. Глумова и соавторов (2004) приводится обобщение предыдущих разрозненных данных (Рис. 2).

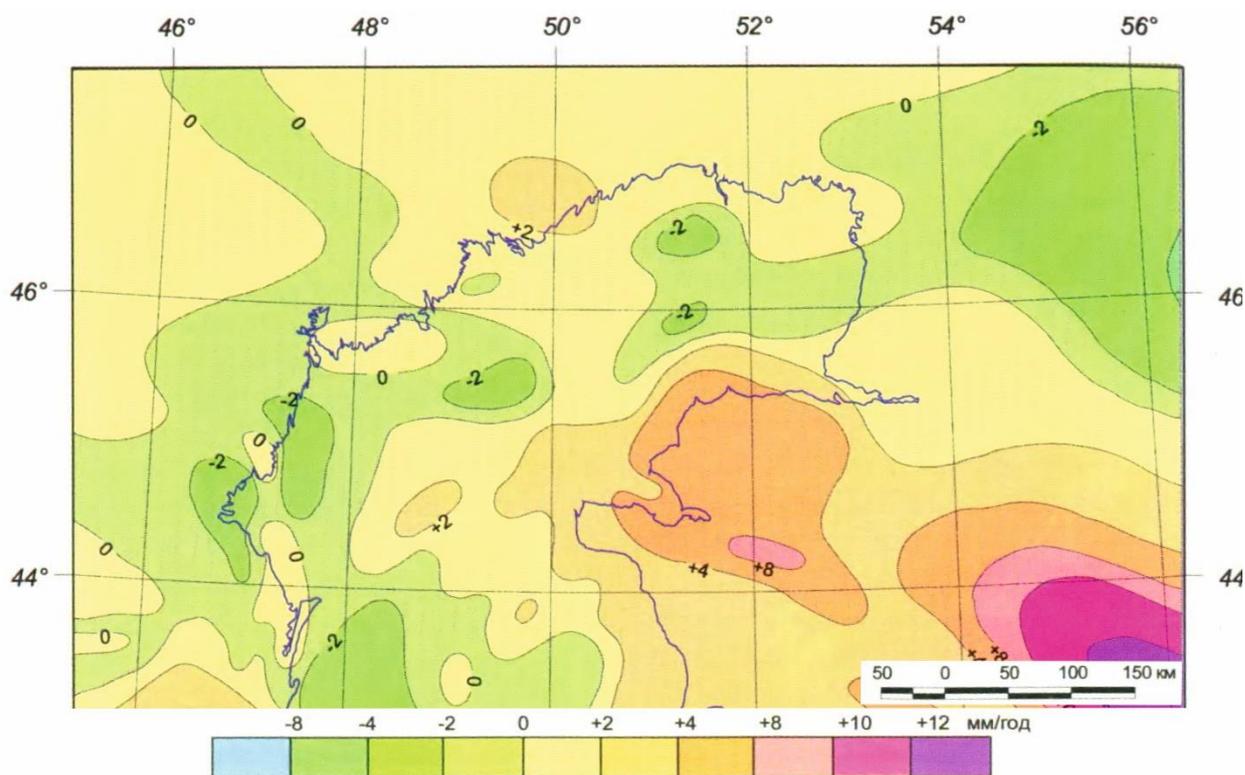


Рис. 2. Фрагмент схемы современных вертикальных движений земной коры в Каспийском регионе (Глумов и др., 2004)

Большая часть территории региона относится к стабильной с точки зрения вертикальных движений области, а участки, где движения есть, имеют разную направленность: в западной, центральной и восточной частях она отрицательная, а в районе Мангышлакского порога на границе со Средним Каспием — положительная. Однако скорость этих движений достаточно низкая и в рамках рассматриваемого в работе хронологического периода существенного влияния на реконструкции уровня моря не имеет.

## 1.2. Физико-географические условия

Помимо геологического строения для понимания особенностей формирования современных осадков Северного Каспия и впоследствии применения метода актуализма необходимо также рассмотреть физико-географические характеристики региона.

По морфологическим и физико-географическим особенностям в Каспийском море выделяются три зоны: северная, средняя (также называемая центральной) и южная. В данной работе основное внимание сосредоточено на северной – самой мелководной части, представляющей собой отдельную геолого-геоморфологическую провинцию (рис. 3, 4).

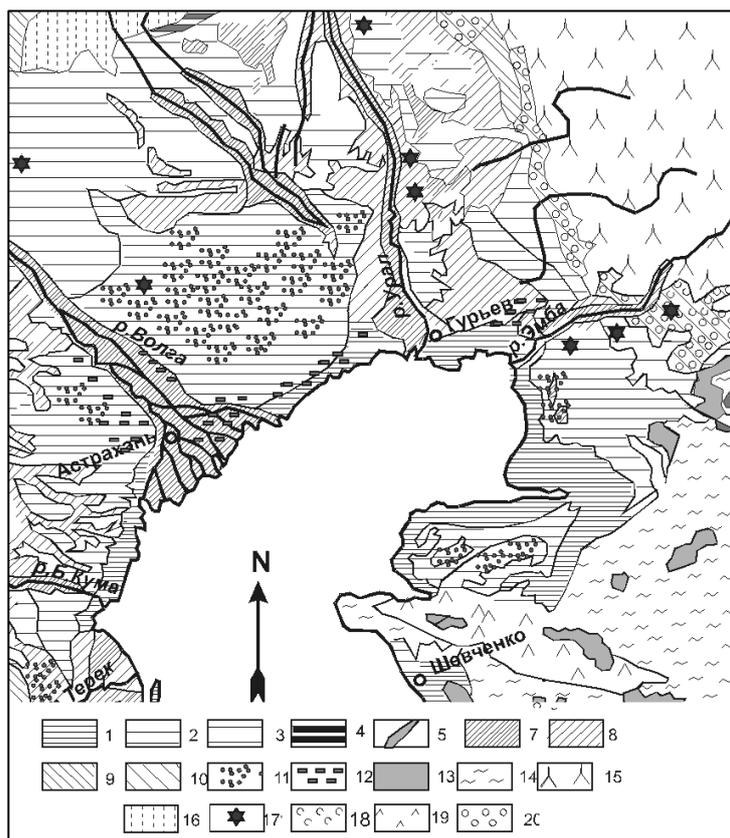


Рис. 3. Геоморфологическая карта побережья Каспийского моря (Болгов и др., 2007 по Леонтьеву, 1965 с изменениями). Морские равнины: 1 – новокаспийская, 2 – верхнехвалынская, 3 – нижнехвалынская, 4 – хазарская, 5 – комплекс древних морских террас. Флювиальный рельеф: 7 – поймы крупных рек, современные дельты и разливы, 8 – хвалынские, 9 – хазарские террасы, дельты и разливы, 10 – пролювиальные и флювиогляциальные древнекаспийские равнины. Золовый: 11 – золовые пески, 12 – бэровские бугры, 13 – бессточные впадины. Денудационный: 14 – аридно-денудационные плато, 15 – эрозионно-денудационные возвышенности, 16 – то же, с покровом лессовых отложений, 17 – останцовые низкие горы, связанные с соляной тектоникой, 18 – грязевые вулканы, 19 – аридно-денудационные низкие горы, мезезойды, 20 – аридно-денудационные и эрозионно-денудационные низкие горы, альпийские.

густо покрытых растительностью и заполненных выносами рек, широко распространены отмели.

Дно Северного Каспия с геоморфологической точки зрения представляет собой слабо наклоненную на юг поверхность (шельф), обрамляющую с севера глубоководную

Условной границей, отделяющей Северный Каспий от Среднего, является линия, простирающаяся от о. Чечень на западе до мыса Тюб-Караган на востоке, проходящая по серии возвышенностей – Мангышлакскому порогу, глубины которого в среднем составляют порядка 10-15 м. Средняя глубина всего Северного Каспия составляет около 5 – 8 м.

Различие геоструктурного положения отдельных частей акватории Каспия определяет характер его берегов (рис. 3). Рассматриваемый в данной работе Северный Каспий характеризуется низменными берегами, роль которых существенна при колебаниях уровня моря, так как при его подъеме (или спаде) площадь акватории увеличивается (или уменьшается, соответственно), что, в свою очередь, существенно сказывается на его водном балансе – ведет к изменению величины испарения (Болгов и др., 2007). На обрамлении многих берегов, особенно в обширных дельтах,

Среднекаспийскую котловину (Рис. 4). Её формирование связано с заполнением северной части Каспийской депрессии аллювиальным материалом, выносимым Волгой и поступающим с предгорий Кавказа. Бровка шельфа маркируется возрастанием уклонов дна, прибрежными осадками и обширным дельтовым конусом Волги периода мангышлакской регрессии в дугообразной полосе на глубине 50-70 м от современной поверхности моря.

Четвертичные отложения на дне Каспийского моря развиты практически повсеместно. Рассмотрим геоморфологическое строение и строение осадочного чехла Северного Каспия более подробно.

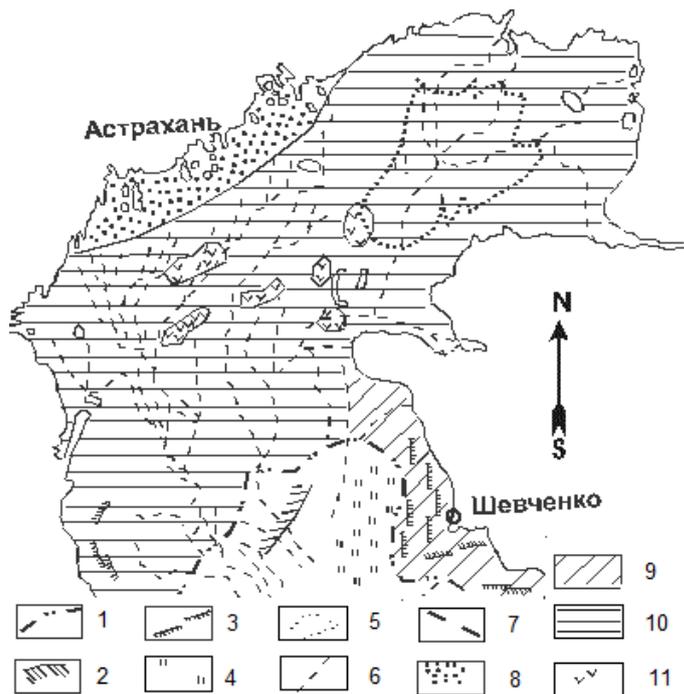


Рис. 4. Геоморфологическая карта Каспийского моря (Болгов и др., 2007 по Леонтьеву, 1965 с изменениями). 1 – бровка (перегиб шельфа), 2 – бровка и поверхность древнего шельфа, 3 – абразионные уступы на различных глубинах моря; районы развития: 4 – временных потоков, 5 – граница Уральской бороздины, 6 – следы древних русел рек, 7 – оси основных антиклинальных зон, 8 – авандельта р. Волги; шельф: 9 – абразионный, 10 – аккумулятивный, 11 – участки мелкорасчлененного рельефа, связанного с новейшими поднятиями

Северная его часть, до глубин 5-6 м, представляет собой придельтовую равнину, характерными элементами новокаспийского покрова в которой являются прослой заторфованных глинистых отложений и многочисленные разновозрастные врезы, перекрытые современными осадками. Южнее, на глубинах 10-13 м, располагается замкнутая плоскодонная котловина, ограниченная с юга серией крупных возвышений – банок, рассматриваемых нередко как части так называемого Мангышлакского порога. Котловина отличается небольшой мощностью слоя новокаспийских осадков (до 2 м), представленных преимущественно ракушечным и ракушечно-песчаным материалом. Банки представляют собой крупные аккумулятивные

сооружения новокаспийского времени высотой до 7-9 м, налегающие на окраину указанной котловины. Они сложены песками, местами оолитовыми, и ракушечными отложениями, отличаются изрезанным холмисто-грядовым рельефом, наличием невысоких эрозионных останцов и эрозионных желобов у основания возвышений. Южнее, с глубины 15-17 м до

бровки шельфа, простирается пологой наклонной внешней шельфовой равниной, характеризующаяся волнистым абразионно-аккумулятивным рельефом и малой мощностью новокаспийских отложений (до 2 м), представленных ракушей и ракушечно-песчаными отложениями.

Для всей северной части Каспийского моря типичен эрозионный рельеф, который постепенно выравнивается осадконакоплением (Козина, 2015). При общей выровненности рельефа дна здесь наблюдаются положительные и отрицательные формы рельефа. К первым относятся различные банки, острова; ко вторым – бороздины и замкнутые котловины (Леонтьев и др., 1977). Максимальные глубины сосредоточены вблизи Мангышлакского порога, полуострова Тюб-Караган и в районе Уральской бороздины. В силу высокоамплитудных разнонаправленных колебаний уровня на фоне палеогеографических изменений рельеф Северного Каспия богат реликтовыми субаквальными и субаэральными формами – в частности, фрагментами речных долин. Эта затопленная сеть ориентирована, главным образом, с севера на юг, и отклоняется к западу лишь при приближении к Мангышлакскому порогу, который в рельефе выражается в виде мелководья. В то время как дно северной части моря покрыто песком и ракушечником, устьевые участки заполнены выносами рек, которые образуют множество отмелей, формируя сложную конструкцию рельефа дна исследуемой области. Элементы речной сети формируют две области – западную и восточную, граница которых проходит приблизительно по меридиану 50° в.д., при этом западная область включает протоки волжской дельты, а также устьевые области Кумы и Терека, тем самым тяготея к дагестано-калмыцкому побережью, при этом восточная область сопрягается с низовьями долин Урала и Эмбы (рис. 4).

Приток большого количества воды в Северный Каспий за счет впадающих рек и конфигурация речной сети отчасти объясняет (Леднев, 1943) направление циркуляции воды в бассейне – в целом она осуществляется против часовой стрелки: от устьев Волги вдоль западного берега на юг, у берегов Ирана поворачивая на восток, а позже вдоль восточного берега снова оборачиваясь к северной части моря. В Северном Каспии также есть отдельный центр циркуляции в районе Уральской бороздины (рис. 5). Поверхностные течения Каспия в целом совпадают с направлением основных ветров юго-восточного и северо-западного направлений (Янина, 2012), в то время как глубинные связаны с неравномерной плотностью, соленостью и температурой воды.

Наряду с ветрами и пространственной неоднородностью характеристик водной толщи к факторам, влияющим на режим течений, можно также отнести сложную конфигурацию береговой линии и рельефа дна (рис. 3, 4), а также речной сток, влиянию которого особенно подвержен мелководный Северный Каспий – на предустьевых взморьях

крупных рек часто возникают течения, связанные с их стоком. Важно упомянуть и колебания, связанные со сгонно-нагонными явлениями, которые особенно сильны в Северном Каспии и порой достигают 2-3 м. В последние годы большое значение приобретает исследование режима течений Каспия путем численного моделирования (Лебедев и др., 2015). Сложность и разнообразие факторов, определяющих систему течений Северного Каспия и ее изменчивость, особенно важны в контексте данного диссертационного исследования, поскольку они определяют транспорт и перераспределение вещества на поверхности дна.



Рис. 5. Карта течений в Северном Каспии (Леднев, 1943)

В целом физико-географические особенности Каспийского моря предопределены его вытянутостью с севера на юг, при этом сам Каспий является важным климатообразующим фактором за счет больших объема водной массы и площади (Маев, 1994), отчасти определяющим характер движения воздушных масс и рельеф прилегающей территории.

Климат региона формируется под воздействием континентальных полярных, арктических и тропических воздушных масс. Весной и осенью преобладают континентальные полярные массы, эпизодически на территорию влияет также тропический воздух (Леонтьев и др., 1980). Летом главным климатообразующим фактором являются массы тропического воздуха при сравнительно редких вторжениях прогретых континентальных полярных воздушных масс (Свиточ, 1991). В зимние периоды зачастую формируются местные атмосферные фронты и циклоны, иногда в северокаспийском секторе сказывается влияние средиземноморских циклонов, которые в весенний период вызывают таяния снега и льда.

Огромный объем воды оказывает зимой отепляющее, а летом – охлаждающее воздействие. Наблюдается уменьшение количества выпадающих атмосферных осадков по мере удаления от берега к центральным районам.

Большая часть водосборного бассейна Каспия находится в зоне умеренно-континентального и умеренного климата, в то время как южная часть акватории простирается в зону субтропического климата. В силу господства преимущественно аридных условий, коэффициент увлажнения в зоне водосбора больше 1, тогда как над акваторией – меньше 1. Годовое количество осадков на территории водосборного бассейна

составляет более 500 мм, в пределах акватории порядка 250-500 мм, в восточной части моря около 100 мм и только на крайнем юго-западе более 1000 мм. Такое физико-географическое положение главного водосбора Каспия и его акватории является определяющим для его водного баланса и, как следствие, его уровня.

Соленость Каспийского моря пространственно неоднородна, что особенно заметно в Северном Каспии. Современные среднегодовые показатели составляют от 2-3‰ до 10‰ в зависимости от сезона и конкретного положения точки измерения. Существенное опресняющее влияние оказывают впадающие реки. В районе устья Волги соленость составляет лишь 1-3‰, то есть эта часть практически пресноводна (с этим связано, например, присутствие здесь пресноводной малакофауны). Влияние на показатель солености также оказывает льдообразование, южная граница которого примерно совпадает с границей Северного Каспия. По этой же причине зимой соленость Каспия повышается.

Температура морской воды в Северном Каспии наиболее нестабильна по сравнению с другими участками, что объясняется, в первую очередь, его мелководностью. В то же время, среднегодовая температура воздуха в северной части моря составляет порядка 8-10°C. Годовая амплитуда температуры воды здесь достигает 25-26°C. Она уменьшается по мере продвижения на юг, в то время как температурный максимум увеличивается. На глубоководных участках моря температурные контрасты отсутствуют, однако все же могут наблюдаться в теплое время года, что связано с вертикальной циркуляцией вод. Прогретые воды северного мелководья движутся вдоль западного побережья. В это же время на восточном побережье температуры воды могут быть достаточно низкими, что связано с подъемом глубинных вод (апвеллингом), которому способствует разница давления и местный ветровой режим, преобладание сгонных восточных и юго-восточных ветров. Современная среднегодовая температура по разным оценкам составляет от +10°C до +15°C.

### **1.3. Источники осадочного материала**

В позднечетвертичное время основные источники современного поступления седиментационного материала в Северный Каспий принципиально не менялись, менялось лишь соотношение материала, принесенного из них.

Каспийское море отличается тем, что имеет черты морей как аридной зоны, так и гумидной. Интенсивное химическое выветривание на главном водосборе (особенно в средней части Волги) способствует поступлению большого количества пелита и алевролита в Северный Каспий. В нижнем течении Волги преобладает физическое выветривание и эоловый перенос, которые поставляют более крупный материал.

Северный Каспий является солоноватоводным бассейном, содержащим большое количество тяжелых сернокислых и углекислых солей кальция и магния, с меньшим количеством хлоридов по сравнению с океаном. Их содержание больше сходно с таковым в Аральском море. Солевой состав меняется от гидрокарбонатно-кальциевого волжского до хлоридно-натриевого морского (Хрусталева, 1978). Перенасыщение карбонатами способствует хемогенному образованию твердой фазы  $\text{CaCO}_3$ , например, в Уральской бороздине.

Основным фактором, определяющим гранулометрический и химический состав взвеси и донных отложений, а также интенсивность осадконакопления, является поступление в акваторию седиментационного материала, который по условиям образования можно подразделить на аллохтонный и автохтонный (рис. 6). К аллохтонным веществам относятся выносы рек в растворенном, взвешенном и влекомом состоянии, эоловые наносы; к автохтонным — хемогенное образование минералов, остатки планктонных и бентосных организмов.

**1.3.1. Твёрдый материковый сток**

Основная часть седиментационного материала поступает в бассейн Северного Каспия с речным стоком. Наиболее крупные реки (Волга и Урал) впадают с севера, являются равнинными и пересекают

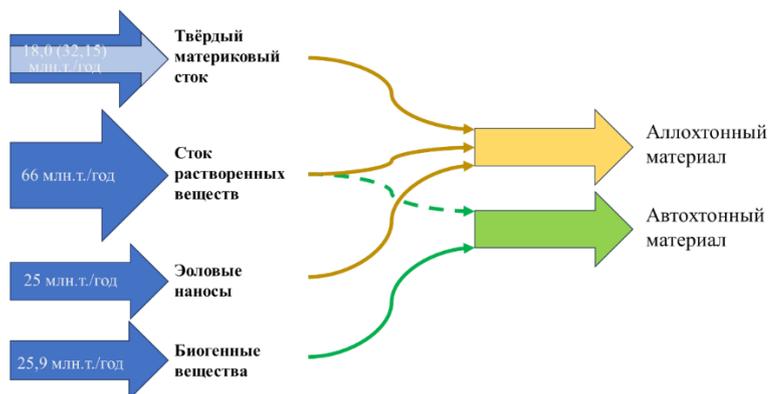


Рис. 6. Схема поступления седиментационного материала в Северный Каспий.

несколько климатических зон с разными преобладающими типами выветривания. С запада в Северный Каспий впадает горная река Терек, однако принесенный ею материал преимущественно распределяется вдоль западного берега моря и переносится на юг — в Средний Каспий. Существенно меньший вклад в твердый сток вносят реки Сулак, Кума, впадающие с запада, и Эмба — с востока.

В первой половине XX века до зарегулирования Волги твердый сток в вершине дельты в среднем ежегодно составлял 25,7 млн. т, что составляет 80% общего стока в Северный Каспий. Суммарный твердый сток в Северный Каспий (от Волги, Урала, Терека, Сулака и Кумы) составлял 32,15 млн. т. В 1950-1960-ые годы произошло резкое уменьшение привноса взвешенных веществ Волгой после строительства каскада водохранилищ,

Тереком – после сооружения Каргалинского гидроузла и изъятия вод для орошения. В настоящее время объем твердого стока, по-видимому, не превышает 18,0 млн. т (Хрусталеv, 1978).

Гранулометрический состав наносов рек схож. Влекомыe наносы в стоке Волги, Терека и Урала составляют лишь 5-10 %, остальные частицы соответствуют алевритовой и пелитовой размерности. Такое же соотношение фракций характерно и для рек Урал и Терек.

### **1.3.2. Сток растворенных веществ**

Наряду со взвешенными и влекомыми частицами в Северный Каспий выносятся большое количество растворенного материала, который впоследствии участвует в осадкообразовании. В данном случае наибольший вклад в сток вновь вносит Волга. Общая масса растворенных солей, поступающих с волжской водой в Северный Каспий, составляет в среднем 45-66 млн. т в год. В ионном стоке преобладают карбонаты (табл. 1). Ежегодно в Северный Каспий поступает около 74 млн. т растворенных солей, что способствует осаждению карбонатов в море.

*Таблица 1. Среднемноголетний ионный сток в северную часть Каспийского моря, млн.т/год (Хрусталеv, 1978)*

<b>река</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Na + K</b>	<b>HCO<sub>3</sub></b>	<b>SO<sub>4</sub></b>	<b>Cl</b>	<b>Σ ионов</b>
Волга	10,4	2,3	4,9	28,4	13,4	66	66
Урал	0,5	0,1	0,6	1,7	0,6	0,7	4,2
Терек	0,7	0,1	0,2	1,7	0,9	0,2	3,8
<i>Всего</i>	<i>11,6</i>	<i>2,5</i>	<i>5,7</i>	<i>31,8</i>	<i>14,9</i>	<i>7,5</i>	<i>74</i>

### **1.3.3. Эоловые наносы**

Существенный вклад в седиментационный баланс Северного Каспия вносит эоловый перенос. Этому способствует наличие обширных аридных областей на побережьях моря (особенно на востоке), а также отсутствие орографических барьеров. Значительная масса седиментационного вещества переносится ветром скачкообразно на малых высотах и составляет 21,4 млн. т материала ежегодно (табл. 2).

Таблица 2. Поступление эолового материала в Северный Каспий (Хрусталеv, 1989)

Область	S тыс. км <sup>2</sup>	Интенсивность	Кол-во
		поступления, г/м <sup>2</sup> в год	поступившего материала, млн. т в год
Прибрежная (<1 м)	13,7	560	7,7
Мелководная (1-3 м)	25,7	235	6
Глубоководная (> 3м)	42,1	162	7,7
Всего	81,5	957	21,4



Рис. 7. Космический снимок пыльной бури над Северным и Средним Каспием 18 мая 2014 года (<https://visibleearth.nasa.gov>)

Наиболее значительная составляющая эоловых наносов поступает в прибрежные области с востока моря путем сальтации. Область к востоку от Северного Каспия практически бессточная, поэтому эоловый перенос – основной способ поступления материала из этой зоны. Здесь преобладает осаждение, главным образом, песчаного материала. В центральные районы бассейна эоловый материал поступает с песчаными бурями (рис. 7) разной

интенсивности, эти отложения, как правило, имеют более тонкий гранулометрический состав. Таким образом, по мере удаления от берега вглубь бассейна гранулометрический состав наносов изменяется от более крупного к тонкому, поэтому в центральной части Северного Каспия осаждаются эоловые частицы алевритовой и пелитовой размерности (Хрусталеv, 1989).

#### 1.3.4. Биогенные вещества

Органогенный материал играет важную роль в современном осадконакоплении. Он способствует накоплению карбонатных осадков.

Кремнистые остатки диатомовых водорослей также являются одним из компонентов в осадках Северного Каспия. Величина годовой продукции диатомей составляет 14,4 млн. т аморфного кремнезема. Большая продуктивность диатомовых водорослей не влияет на высокую интенсивность кремненакопления в Северном Каспии, средняя концентрация в современных донных отложениях составляет всего 0,33%.

Большое влияние на осадконакопление в Северном Каспии оказывает населяющий дно бентос, который состоит из массы раковин и их тканей. Ежегодно в донные осадки Северного Каспия переходило до 25,95 млн. т осадочного материала биогенного происхождения, из них 25 млн. т в виде карбонатной ракушки, и 0,95 млн. т в виде органического вещества и аморфного кремнезема.

## **1.4. Современные осадки Северного Каспия**

### ***1.4.1. Литологические типы современных осадков***

Для понимания фациальной принадлежности при палеогеографической интерпретации верхнечетвертичных отложений в рамках диссертационного исследования важно также рассмотреть состав современных осадков и характер их распределения на изучаемой территории.

Современные осадки Северного Каспия впервые были подробно описаны Ю.П. Хрустальевым (1978), позже на эту тему большая обобщающая работа была проведена Н.В. Козиной (2015). Ими установлено, что современные осадки изучаемой области отличаются широким спектром литологических типов – от терригенных песков, алевритов и глин до ракушняков и биогенно-детритовых песков. Терригенные типы приурочены к дельтам и придельтовым участкам Волги, Урала и других рек. Преимущественно биогенные разности располагаются широкой субширотной полосой, протягивающейся на глубинах 10-20 м от о. Чечень до Уральской бороздины.

### ***1.4.2. Минералогический состав современных осадков***

Донные осадки Северного Каспия являются весьма сложными в литолого-минералогическом отношении образованиями. В состав аксессуарных компонентов входят терригенные и аутигенные минералы. Среди терригенных минералов обнаружены кварц, халцедон, мусковит, серицит, полевые шпаты, гидрослюды, биотит, хлорит, эпидот, цоизит, клиноцоизит, рутил, анатаз, брукит, сфен, шпинель, оливин, циркон, дистен, апатит, андалузит, силлиманит, ставролит, гранаты, пироксены, амфиболы, ильменит, магнетит, лейкоксен, титаномагнетит. Аутигенные минералы представлены пиритом, гипсом, карбонатами кальция. Кроме того, в донных осадках часто встречаются обломки пород различного состава, но преимущественно кремнистых и глинистых. В составе

тонкопелитовой фракции обнаружены гидрослюды, монтмориллонит, каолинит, хлорит и смешаннослойные минералы.

Ю.П. Хрусталёвым (1978) была составлена карта минералогических провинций Северного Каспия, дополненная позже другими исследователями (Козина, 2014) (Рис. 8). Согласно этой карте, основная часть фактического материала приурочена к провинциям, определяющимся привносом волжского материала.

**Терригенные минералы.** Как указывалось выше, основными источниками поступления терригенного материала в акваторию Северного Каспия являются выносы рек Волги, Терека, Урала, а также эоловые наносы. В волжском аллювии среди минералов легкой фракции преобладают кварц, плагиоклазы, калиевые полевые шпаты, глауконит, кальцит. В составе тяжелой фракции присутствуют окислы и гидроокислы железа, пирит, эпидот, роговая обманка, циркон, гранат, турмалин и др. Для выносов Терека характерны пироксены (10-30%), роговая обманка (10-30%), хлорит (10-30%), гранаты, турмалин, ставролит. В аллювии реки Урал преобладающими минералами тяжелой фракции являются эпидот, роговая обманка, ильменит, гранаты. Реже встречаются пироксены, апатит, турмалин, циркон, стресс-минералы, окислы и гидроокислы железа. В составе эоловой пыли присутствуют следующие минералы тяжелой фракции: гематит, магнетит, турмалина, эпидота, циркона, рутила. Основная масса сложена карбонатом (83%), кварцем (11%), обломками кремнистых и глинистых пород.

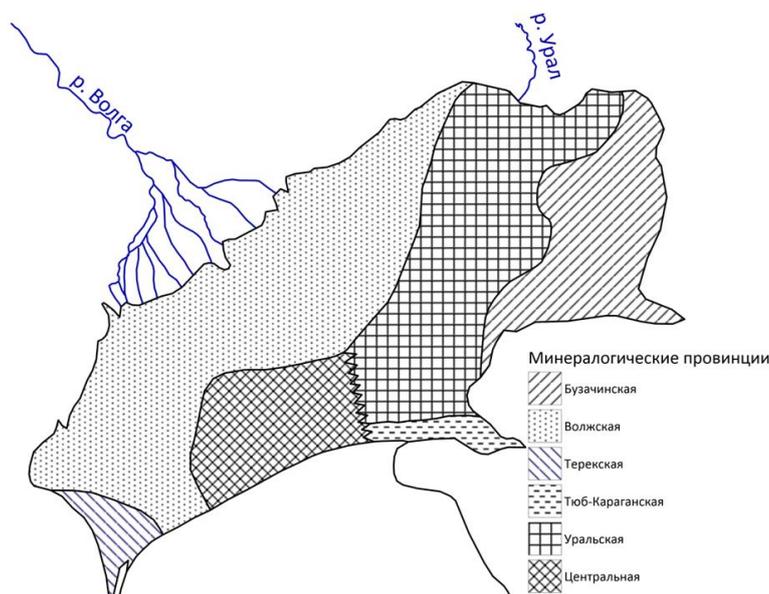


Рис. 8. Минералогические провинции Северного Каспия  
(Хрусталев, 1978 с дополнениями Козина, 2014)

#### Минералы тяжелой фракции

Минералы группы амфиболов наряду с ильменитом и эпидотом являются самыми распространенными в осадках Северного Каспия. Они представлены обыкновенной роговой обманкой, реже глаукофаном, актинолитом,

тремолитом, рибекитом и базальтической роговой обманкой. Актинолит, тремолит, базальтическая роговая обманка встречаются эпизодически в количестве, не превышающем

значений «единичные зерна». Глаукофан присутствует почти повсеместно в количестве до 0,8%. Наиболее часто щелочные амфиболы встречаются в восточной и южной частях Северного Каспия и в придельтовом пространстве Волги.

Обыкновенная роговая обманка представлена призматическими зернами с неровными краями. Размер их колеблется от 0,01 до 0,25 мм, преобладают зерна 0,05—0,15 мм размерности. Цвет темно-зеленый, зеленый, реже голубовато- и светло-зеленый, плеохроизм заметный, в зеленых тонах. В западной части Северного Каспия окраска минералов темнее. Более темные разновидности роговой обманки, по-видимому, поступают в основном с волжским аллювием, тогда как магнезиальные роговые обманки с более низким показателем преломления (1,650-1,660) присущи аллювию Урала и эоловым наносам с южного и юго-восточного побережий.

Содержание роговой обманки колеблется от 3,58 до 18,09% от массы тяжелой фракции. Минимальные значения имеют осадки юго-восточной (район к югу от дельты Эмбы — до 4%) и юго-западной (предустьевое пространство Терека — до 4-6%) частей Северного Каспия. Эти участки обрамляются обширными площадями с содержанием роговой обманки до 10%. На остальной территории, включая Уральскую бороздину, северную часть, частично южную окраину Северного Каспия, количество колеблется от 10 до 12%, иногда достигая 16%. Максимальные значения (до 18%) приурочены к осадкам Мангышлакского залива. Высокие содержания роговой обманки здесь вызваны поступлением терригенного материала вследствие размыва берегов, сложенных породами с повышенным количеством амфиболов, и эоловых наносов.

Минералы группы эпидота также широко распространены в донных отложениях Северного Каспия. Они представлены в основном эпидотом, реже цоизитом и клиноцоизитом. Широкое и сравнительно равномерное распространение минералов группы эпидота и сходство их типоморфных признаков затрудняет процесс выяснения влияния основных источников питания на донные осадки, чему также способствует интенсивный разнос и перемешивание последних на мелководье Северного Каспия. Тем не менее, для различных районов наблюдается неодинаковое соотношение между разрушенными и полуразрушенными зернами эпидота. Свежие зерна эпидота встречаются весьма редко. В осадках можно наблюдать все стадии разрушения, вплоть до полного превращения эпидота в бурые окислы железа. Как правило, такие зерна при скрещенных николях сохраняют местами яркую интерференционную окраску, где цвета расположены кольцами или имеют агрегатное погасание. Наибольшее количество разрушенных зерен эпидота тяготеет к донным отложениям Мангышлакского залива и западной части Северного Каспия, а минимальные значения полосой окаймляют берега моря и приурочены к отложениям

Уральской бороздины. Подобное распределение разрушенных зерен эпидота можно объяснить двумя причинами. Часть минералов, находящихся в прибрежной зоне, есть результат эолового сноса. По мере транспортировки в процессе волочения зерна трутся друг о друга, тем самым уничтожая частично или полностью образовавшуюся в результате химического выветривания пленку. Обилие разрушенных зерен эпидота в Мангышлакском заливе и в западной части объясняется гидрохимическими условиями. Здесь наряду с пленкой, состоящей из гидроокислов железа, можно наблюдать различные стадии нарастания на минералах карбонатов кальция и образование оолитов, ядра которых довольно часто представлены эпидотом.

Повышенные содержания эпидота (более 15%) наблюдаются в мелководных осадках северной части водоема, поскольку основными поставщиками его являются взвешенные и влекомые вещества Волги и Урала. В Терекском заливе количество эпидота достигает 15%, в Мангышлакском заливе – 15-18%, на остальной территории – 10-15%.

Для клиноцоизита можно выделить три участка повышенной концентрации: первый тяготеет к Аграханскому полуострову, второй приурочен к Тюб-Караганскому заливу и району, расположенному к северу от него, третий – полосой протягивается вдоль берега от восточного края дельты Волги до Эмбы. Несколько меньше клиноцоизита содержится в осадках преддельтового пространства Волги.

Пироксены (моноклинные – авгит, диопсид, ромбические – гиперстен) повсеместно распространены в осадках Северного Каспия при содержании от «единичных знаков» до 10,3%. В значительных количествах они концентрируются в донных отложениях юго-западной части. Здесь выделяется две зоны: первая (Терекская) с содержанием пироксенов более 5% и вторая, внешняя зона, простирающаяся на северо-восток до дельты Волги, с содержанием 3-5%. Повышенное содержание зерен пироксена в отложениях обусловлено выносами Терека и, вероятно, частичным перемещением терригенного материала в северном направлении. Несмотря на то, что в уральском аллювии, как известно, немного минералов этой группы, в предустьевом пространстве Урала и к югу от него зафиксированы значительные концентрации пироксенов (до 5%). На остальной части акватории Северного Каспия их содержится 1–3, редко 4%. По-видимому, благодаря малой подвижности пироксенов создаются благоприятные условия для обогащения ими донных отложений взморья Урала.

Группа устойчивых минералов представлена гранатом, цирконом, рутилом, турмалином, апатитом, анатазом, брукином и сфеном. Гранаты в осадках Северного Каспия пользуются повсеместным распространением. Представлены они угловатыми и угловатоокатанными зернами размером от 0,05 до 0,2 мм, чаще размерности 0,07-0,1 мм.

Форма зерен изометричная, но в восточной части акватории встречаются удлиненные гранаты. В предустьевом пространстве Терека они покрыты карбонатной коркой обрастания. В донных отложениях гранаты встречены в количестве от 1,6 до 21,86%. Наибольшее количество их (более 15%) приурочено к придельтовому пространству Волги. В остальных осадках Северного Каспия <10%.

Циркон также широко распространен в донных отложениях Северного Каспия. Повышенные концентрации его отмечаются в преддельтовых пространствах Волги, Урала, в Уральской бороздине и в пределах Мангышлакского порога, минимальные (1-3%) — в осадках Тюб-Караганского залива. В распределении циркона наблюдается закономерность — часть его (наиболее крупная) концентрируется в непосредственной близости от основных поставщиков терригенного материала (преддельтовые пространства Волги, Урала), другая часть, имеющая размерность мелкого алеврита, обогащает тонкозернистые осадки Уральской бороздины. Локализацию повышенных концентраций циркона в донных отложениях Мангышлакского порога можно объяснить наличием местного источника, а именно размывом коренных пород дна или поперечным перемещением циркона из Среднего Каспия.

Рутил тяготеет к мелкозернистым осадкам наиболее глубоководных частей Северного Каспия, где его содержание в отдельных пробах достигает 5%.

Анализ, брукит, сфен повсеместно присутствуют в составе донных отложений. Отмечается тенденция к увеличению содержания их в осадках Уральской бороздины до 7%, а также в западной и центральной частях преддельтового пространства Волги, Мангышлакского залива и восточной половины Мангышлакского порога. На остальной акватории количество их колеблется от 2 до 5%.

Несмотря на близкий удельный вес, поведение в отдельности каждого минерала этой группы по акватории Северного Каспия различно, что, по-видимому, обусловлено различием минералогического состава основных источников поступления терригенного материала. Максимальные концентрации анатаза тяготеют к южной (Мангышлакский порог) и восточной частям Северного Каспия. Несколько отлично распределение в осадках брукита и сфена. Повышенные содержания брукита приурочены к свалу глубин преддельтового пространства Волги, к отложениям Мангышлакского порога и залива, а также участка, расположенного южнее устья Урала. Повышенные концентрации сфена тяготеют к осадкам дельты Волги, Уральской бороздины и восточной части Мангышлакского порога.

Анализ распределения минералов группы анатаз-брукит позволяет заключить, что основные источники поступления брукита и сфена идентичны – ими являются аллювий рек

Волги, Урала, а также породы, размытые на дне Мангышлакского порога и в результате абразии берегов Тюб-Караганского полуострова. Не исключена возможность поступления этих минералов и из Среднего Каспия.

Турмалин встречается в осадках Северного Каспия в количестве 1-5%, редко до 7%. Повышенное содержание отмечается в преддельтовых пространствах Волги и Терека, то есть в непосредственной близости от источников питания.

Для апатита характерно довольно пестрое распределение в донных осадках. Повышенные (более 3%) концентрации зафиксированы в Уральской бороздине, в пределах Мангышлакского порога и предустьевом пространстве Терека. Пониженные концентрации отмечаются в преддельтовом пространстве Волги и в районе, расположенном южнее устья Урала.

Метаморфические минералы. В эту группу включены минералы, типичные для метаморфических пород. К ним относятся так называемые стресс-минералы: дистен, ставролит, силлиманит, андалузит. Для минералов данной группы характерно повышенное содержание в осадках Мангышлакского порога (5-8%), южнее устья Эмбы (5-15%) и в преддельтовом пространстве Волги (5-8%). Пониженные значения отмечены в Мангышлакском заливе и к северу от него, а также в районе, опоясывающим с севера Уральскую бороздину.

Рудные минералы (ильменит, магнетит, лейкоксен, окислы и гидроокислы железа) — наиболее распространенные минералы тяжелой фракции донных осадков Северного Каспия. Отличаясь высоким удельным весом, они образуют повышенные концентрации вблизи основных источников поступления терригенного материала. В преддельтовом пространстве Волги содержание ильменита достигает 19%, в районе Аграханского полуострова — 17-23%, в Тюб-Караганском заливе — 20% и в прибрежной полосе восточной части — 22%, куда ильменит, по-видимому, переносится при сильных ветрах восточных румбов. По мере удаления от берега содержание его понижается. Аналогичную картину можно наблюдать и в пространственном распределении лейкоксена и ильменита — четко прослеживается приуроченность редких минералов к основным источникам поступления терригенного материала. Распределение окислов и гидроокислов железа по площади Северного Каспия во многом напоминает размещение ильменита и лейкоксена, отличаясь лишь большим ареалом развития в южной части. Концентрация рудных минералов связана с процессами подводного размыва пород, слагающих дно Мангышлакского залива, и перемещением окислов и гидроокислов железа в северном направлении при интенсивных волнениях, развиваемых юго-восточными ветрами. Не исключена возможность перемещения минералов со Среднего Каспия также за счет

размыва коренных пород, имеющих непосредственный выход на дно на участке от мыса Песчаного до п-ова Мангышлак. Повышенное содержание минералов в районе Аграханского полуострова можно объяснить как выносами Терека, так и переносом вдоль полуострова аллювия Судака, богатого окислами железа.

*Минералы легкой фракции.*

Наиболее широко распространенным минералом является кварц, который, как правило, встречается в виде хорошо окатанных зерен различной окраски: прозрачных, желтоватых, розовато-желтых, матовых. Содержание кварца максимально в песках восточного мелководья (91%), минимальные концентрации (30%) зафиксированы в осадках Мангышлакского залива.

Минералы группы полевых шпатов в осадках Северного Каспия встречаются в виде таблитчатопризматических, угловатых и угловато-окатанных зерен, обычно хлоритизированных. Максимальные их содержания достигают 22% в глинистых илах Мангышлакского залива. Донные отложения с концентрацией этих минералов более 10% располагаются на взморье Урала, частично Волги, в Уральской бороздине и в западной части Северного Каспия. В пределах всей остальной территории содержание полевых шпатов составляет менее 10% и подвержено значительным колебаниям.

Слюда (преимущественно мусковит) благодаря своим морфологическим особенностям и небольшому удельному весу, высокой степени плавучести, казалось бы, должна перемещаться в глубоководные области Северного Каспия. Однако обогащены ею обычно осадки, расположенные на продолжении основных рукавов и русел Волги, Урала, Терека или Уральской бороздины. Повышенные количества мусковита зафиксированы и в донных отложениях Мангышлакского залива. На остальной акватории Северного Каспия мусковит встречается крайне редко. Максимальные значения (до 5%) приурочены к осадкам, находящимся южнее о-ва Чечень.

Распределение глауконита на акватории Северного Каспия тяготеет к источникам поступления седиментационных веществ, а также показывает пути перемещения песчаных наносов. Очевидно, что основная масса глауконита, соответствующего по размерности песчаной фракции, осаждается ограниченным ареалом непосредственно на взморье.

В составе легкой фракции большую роль играют обломки горных пород. Максимальное количество (22%) их обнаружено в глинистых и мелкоалевритовых осадках Мангышлакского залива, что вполне естественно, поскольку основная масса обломочного материала поступает сюда в результате абразии берегов, сложенных терригенными и карбонатными породами. Повышенные значения отмечены на взморьях рек и в Уральской бороздине. Характерно, что если в осадках преддельтовых областей Волги, Терека

преобладают обломки кремнистых пород, то в отложениях на взморье Урала широко распространены обломки глинистых и алевритовых пород.

**Аутигенные минералы.** Одним из существенных компонентов донных отложений Северного Каспия являются аутигенные минералы, представленные кальцитом, арагонитом и сульфидами железа. Наиболее широко распространены в осадках карбонаты кальция.

Сульфиды железа (гидротроиллит, пирит, марказит и мельниковит) присутствуют в донных отложениях на ограниченном пространстве и, как правило, в незначительных количествах. Обычны они в мелкоалевритовых и глинистых илах Кизлярского и Мангышлакского заливов и Уральской бороздины. Гидротроиллит встречается в поверхностном слое осадка в виде сплошных черных масс. Пирит представлен кристалликами и сростками, имеющими более или менее правильные грани, фрамбоидальными разновидностями, псевдоморфозами, развитыми по растительным остаткам, створкам диатомей и раковинам моллюсков. Встречается пирит в единичных зернах. Приведенные данные свидетельствуют о слабой интенсивности процессов сульфидообразования в Северном Каспии. Основные причины — малое количество органического вещества в донных отложениях, устойчивого к разложению, хорошая аэрация водной толщи и постоянное взмучивание осадочного материала, то есть гидродинамические условия и вызванные ими изменения биотических и абиотических параметров являются определяющими не только для количества сульфидов железа, но и для качественного их состава. Как показали исследования, в отложениях, находящихся под современным слоем, концентрация сульфидов железа и особенно пирита возрастает, чему способствовали природные условия осадконакопления. По-видимому, небольшие глубины водоема благоприятствовали быстрой седиментации взвешенного органического вещества и незначительной его минерализации. Химические, микробиальные и ферментативные превращения свежего органического вещества в донных осадках создавали необходимые предпосылки для активного течения сульфатредукционных процессов и образования сульфидов железа.

**Глинистые минералы.** Важной составляющей был анализ распределения глинистых минералов в современных осадках Северного Каспия. Оно было подробно прослежено по всему Каспию в конце прошлого века Д.С. Туровским и соавторами (1981), после чего обобщающих работ на эту тему не проводилось. В современных осадках им было прослежено распределение гидрослюда, монтмориллонита, каолинита и хлорита. Отмечено, что в Северный Каспий гидрослюда поступает примерно в равных пропорциях почти по всей акватории, где есть глинистая составляющая (Рис. 9). Небольшое увеличение содержания есть в зоне непосредственно перед впадением р. Урал.

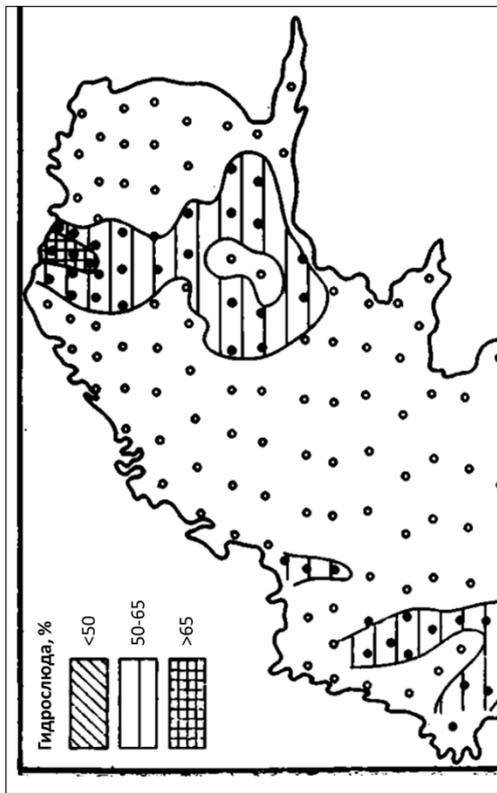


Рис. 9. Распределение гидрослюда в современных осадках Северного Каспия (Туровский и др., 1981)

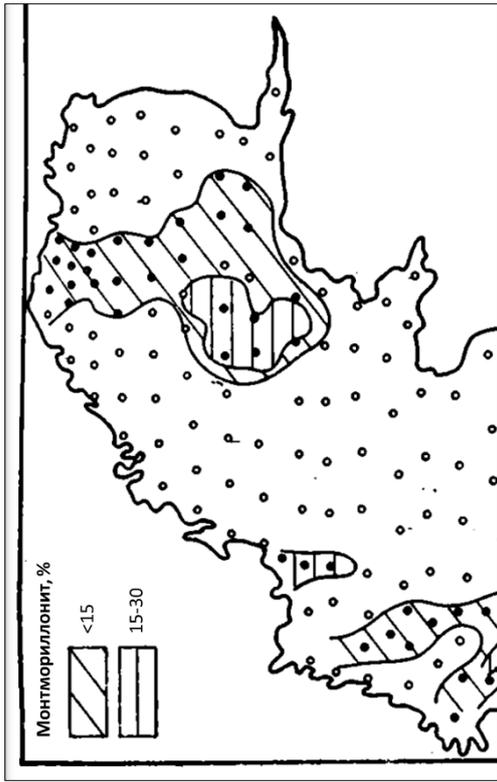


Рис. 10. Распределение монтмориллонита в современных осадках Северного Каспия (Туровский и др., 1981)

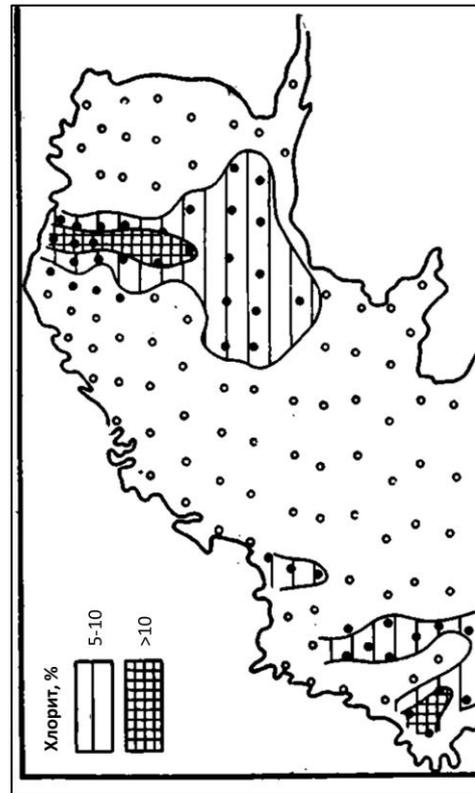


Рис. 11. Распределение хлорита в современных осадках Северного Каспия (Туровский и др., 1981)

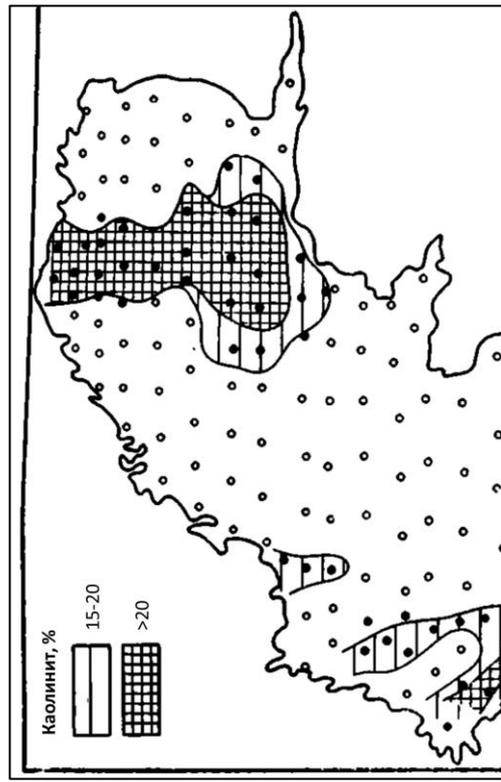


Рис. 12. Распределение каолинита в современных осадках Северного Каспия (Туровский и др., 1981)

Монтмориллонит (Рис. 10) в современных осадках также имеет относительно равномерное распределение (<15 %), но есть участок, к которому приурочены повышенные концентрации — это Уральская бороздина.

Хлорит (Рис. 11) и каолинит (Рис. 12) в современных осадках поступают в основном с водосбора р. Урал и Кума, хотя и не в больших пропорциях по сравнению с волжским привносом.

## Глава 2. История изучения региона

Верхнечетвертичная стратиграфия Каспия (в том числе Северного) до последнего времени была разработана по большей части на основе изучения морских, аллювиальных и прибрежных отложений Прикаспийской низменности (Федоров, 1957; Рычагов, 1977, 1997; Квасов, 1975; Свиточ, 1991; Маев, 1994; Свиточ, Янина, 1997; Безродных и др., 2015; Чепалыга, 2004; Янина, 2012; Макшаев, Ткач, 2023; Chepalyga et al., 2008, 2009; Yanina, 2012, 2014, 2018; Krijgsman et al., 2019 и др.). Более того, в настоящее время не существует четко разработанной, достоверно датированной событийной хронологии Каспийского моря, принятой большинством исследователей. В большинстве работ, в первую очередь, уделяется внимание отложениям наиболее обширных трансгрессий Каспия, что создает некоторую ограниченность представлений о стратиграфии в силу слишком продолжительных перерывов осадконакопления на низменности. Несмотря на то, что акватория Северного Каспия осушалась в позднечетвертичное время, она имеет гораздо более полную летопись осадконакопления и, соответственно, предоставляет более надежные основания для составления стратиграфической схемы, изучения отложений и реконструкции палеогеографических событий.

В акватории Северного Каспия геологические наблюдения велись с середины XX века (Кленова, 1951, Кленова и др., 1962) однако, в большей степени, внимание уделялось изучению современных осадков и процессов осадконакопления (Хрусталёв, 1978, 1989). Отдельные исследования по изучению строения отложений в акватории проводились, но они не были системными. В 1959-1964 гг. Нижневолжской партией НИЛНефтегаз была пробурена серия скважин в северо-западной части акватории Северного Каспия (Рихтер, Гофман, 1962; Гофман, Рихтер, 1963). В результате был построен профиль от пос. Икрыное до о. Малый Жемчужный, а также дана характеристика бакинских, хазарских, хвалынских и новокаспийских отложений. Однако профиль был построен на материалах низкого качества: выход керна при бурении достигал лишь 10-15%, литологическая характеристика проводилась по шламу, более того, отмечались ошибки в номерах скважин и в строении самого профиля.

Позже эти материалы были пересмотрены и дополнены (в том числе дублирующими скважинами) (Мяконин, Тураев, 1970). Тем не менее эти работы вновь позволили получить лишь ограниченное представление о строении отложений в акватории по нескольким причинам: 1) в них была приведена только текстовая характеристика строения без профилей и колонок, что затрудняет понимание общей картины; 2) стратиграфическое расчленение проводилось не путем определения руководящих видов моллюсков рода *Didacna*, а по

данным анализа остракод, эволюция которых происходит очень медленно в масштабах позднечетвертичной истории (Шнейдер, 1958), – на протяжении всего четвертичного времени в Каспии существовали почти одни и те же виды, с незначительными изменениями; 3) кроме того, в работах отсутствовала характеристика хвалынского и новокаспийского горизонтов, представляющих наибольший интерес для диссертационного исследования.

Обширная работа по изучению осадков всего Каспия была проведена Л.И. Лебедевым и коллегами (1973), ими, в частности, изучена стратиграфия верхнечетвертичных отложений Северного Каспия. Глинистые минералы в современных осадках Каспия были изучены Д.С. Туровским (1981). Некоторые выводы об отложениях и палеогеографии Северного Каспия также сделаны в работах по изучению палеodelьт Волги на Мангышлакском пороге по данным сейсмоакустических исследований (Лохин, Маев, 1990) — авторами выявлено две генерации древних дельт, соотнесенных с ательской и енотаевской регрессиями.

В начале 1990-ых гг. были проведены работы по сейсмоакустическому профилированию зоны Мангышлакского порога (Куприн, Росляков, 1991), в том числе было обнаружено погребенное палеоруло в восточной части порога, которое было соотнесено с палео-Уралом.

Тогда же было обнаружено погребенное русло в западной части Мангышлакского порога и к югу от него, которое отнесли к палео-Волге, развивавшейся синхронно палео-Уралу в восточной части. В палеоруле была заложена и изучена скважина ПРВ-1 глубиной 2 км (Куприн и др., 1992). Однако в ней не было уделено достаточно внимания верхнечетвертичным отложениям, так что использовать эти материалы в рамках работы довольно сложно.

Северный Каспий привлек внимание исследователей с целью детального изучения его четвертичного геологического строения значительно позже (на рубеже XX и XXI вв.), несмотря на свою, казалось бы, доступность и мелководность. Это было связано с обнаружением нефтяных залежей в регионе и разработкой технологий, позволяющих их освоить. Например, обширные данные по геолого-геофизическим исследованиям были приведены И.Ф. Глузовым и соавторами (2004), эти сведения в основном ориентированы на перспективы нефтегазоносности Каспийского региона. При поисково-разведочных работах внимание четвертичному осадочному чехлу, тем более верхней его части, не уделялось. Но он был достаточно подробно изучен и опробован в процессе инженерно-геологических изысканий. Именно эти материалы и стали основой для немногочисленных работ по стратиграфии отложений, литологии и палеогеографии Северного Каспия.

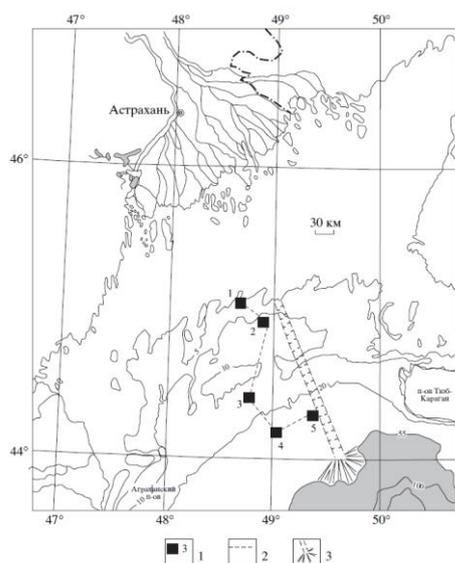


Рис. 13. Участки работ Безродных и др. (2004). 1 – площадь исследования; 2 – увязочные профили; 3 – погребенная речная долина и замыкающий её конус выноса

Первая работа, посвященная верхнечетвертичным отложениям Северного Каспия, была представлена Ю.П. Безродных и соавторами (2004). Ими были представлены материалы изучения кернов скважин в интервале глубин моря 7-37 м, а также сейсмоакустические профили по пяти участкам в центральной части Северного Каспия (Рис. 13). В большей степени внимание в работе уделено биостратиграфии, абсолютным датировкам и палеогеографическим реконструкциям.

Авторами выделены 3 горизонта для верхней части верхнечетвертичных отложений: сверху вниз последовательно сменяются новокаспийские, мангышлакские и хвалынские отложения. Каждый из горизонтов охарактеризован отличным друг от друга видовым составом моллюсков, в том числе эндемичного рода *Didacna*, на которых строится биостратиграфия региона. Каждому горизонту также даны возрастные оценки на основе результатов радиоуглеродного датирования раковин.

Новокаспийский горизонт (НГ) авторы разделяют на три слоя, однако (судя по содержанию статьи) делают это исключительно по разнице в составе малакофауны. Верхний слой НГ охарактеризован комплексом с преобладанием *Dreissena polymorpha caspia*, *Didacna baeri*, а также четко выделяется по присутствию *Mytilaster lineatus* и *Abra ovata* (Безродных и др., 2004); при описании собственных данных в соответствующих главах диссертант придерживается названий, предложенных в экспертном листе (Wesselingh et al, 2019), в котором также рассмотрены вопросы синонимии некоторых таксонов. Радиоуглеродные датировки, полученные по подошве слоя, позволяют оценить возраст в 1 тыс. лет назад. Однако, по-видимому, датировки в статье не были калиброваны, что затрудняет их интерпретацию.

Средний слой НГ охарактеризован комплексом *Dreissena polymorpha caspia*, *Didacna barbotdemarnyi* с руководящим *Cerastoderma lamarcki*. Радиоуглеродные датировки, полученные по подошве слоя, дают возрастные оценки в 3-4 тыс. лет назад.

Нижний слой НГ отличается отсутствием *Cerastoderma lamarcki*, согласно данным радиоуглеродного датирования начало его формирования пришлось на период около 6 тыс. лет назад.

Ю.П. Безродных с соавторами также отмечают практически полное отсутствие диатомовой флоры в отложениях НГ, лишь в одном образце из подошвы нижнего слоя выделены диатомеи, характерные для пресноводной или слабосоленатоводной (до 5‰) обстановки. Спорово-пыльцевые остатки распределены по горизонту неравномерно, наиболее представительны они также в нижнем слое. К сожалению, интерпретация спорово-пыльцевого спектра в указанной работе для НГ не приведена.

Мангышлакский горизонт содержит комплекс моллюсков *Dreissena polymorpha polymorpha* – *Hypanis (Monodacna) caspia* с примесью пресноводных видов, без *Didacna* sp., а также с бентосными фораминиферами, характерными для вод пониженной солености. По изученным остаткам флоры реконструируются обстановки внутренней части дельты, прибрежной солоноватоводной и пресноводной зон, а также аридный климат. Отложения горизонта представлены фациями небольших русловых потоков и озёрных образований, а также аллювием палеорула Волги. Возрастной интервал, соответствующий мангышлакской регрессии, определен как 8540-6830 тыс. лет назад (Табл. 3).

Таблица 3. Палеогеографическая реконструкция Ю.П. Безродных и соавторов (2004) для Северного Каспия

Событие	Северный район (площади 1, 2). Глубина моря 8–13 м	Средний район (площадь 3). Глубина моря 15–17 м	Южный район (площади 4, 5). Глубина моря 25–37 м
Новокаспий	~860 лет назад – побережье на отметках минус (34–36) м 2895 лет назад – мелководье вблизи дельты 4130 лет назад – авандельта, мелководье	Мелководье 6610 лет назад – мелководье	Мелководье Мелководье, >5790 лет назад – авандельта
Мангышлакская регрессия	Суша 9800–9420 лет назад – наземная дельта с серией озер (ильменей)	Суша 9230 лет назад – авандельта	Суша 8540 лет назад – авандельта
Поздняя хвальнь	17645–16645 лет назад – мелководье	Позднее – глубина 60–75 м 16000 лет назад – мелководье	Позднее – глубина 70–80 м 16900 лет назад – мелководье
Енотаевская регрессия	Авандельта на отметке минус (45–50 м)	Мелководье	Мелководье
Ранняя хвальнь	21460 лет назад – мелководье Глубоководье ~100 м 27200 лет назад – мелководье	Глубоководье ~110 м	21090 лет назад – переход к мелководью Глубоководье ~130 м 30150 лет назад – мелководье
Ательская регрессия	Суша	–	Лагунно-дельтовое мелководье на отметках около минус 100 м

Хвальнский горизонт делится на два подгоризонта: верхний и нижний. Оба представлены разнофациальными морскими отложениями с прослоями раковинного детрита. Два наиболее выдержанных по всем площадям прослоя раковинного материала охарактеризованы разными комплексами моллюсков (ранне- и позднехвальнским) и возрастами 17-16 тыс. лет назад и 30-21 тыс. лет назад, соответственно.

В реконструкции фациальных обстановок в акватории Северного Каспия авторами (Безродных и др., 2004) выделяются енотаевская и ательская регрессии, хотя непосредственно в тексте они не охарактеризованы. Последующие работы дают более детальное представление о конкретном горизонте на разных площадях или подробном строении на одной площади.

Работа (Безродных и др., 2015) описывает строение и возраст отложений на площади Широкая (центральная часть Северного Каспия). В ней вновь подробно охарактеризовано плащеобразное и трёхчленное строение новокаспийского горизонта. За счет калибровки и получения новых радиоуглеродных дат граница начала накопления горизонта сдвинута до 7,7 кал. тыс. лет назад.

Мангышлакский горизонт охарактеризован глинами, торфом, сапропелем и алевритом с растительными остатками, выполняющими палеодепрессии, пресно- и солоноватоводной малакофауной и новыми значениями абсолютного возраста, которые заключают время накопления горизонта в интервал от 11,8 до 8 кал. тыс. лет назад.

Верхнехвалынский подгоризонт описан более подробно. Его верхняя часть представлена дельтовыми песками с растительным детритом, сформировавшимися в мелководных условиях при начавшейся регрессии моря. Нижняя часть отложений представлена алевритовыми песками с прослоями глин. Возрастной рубеж начала накопления отложений горизонта определен как 19 кал. тыс. лет назад.

Нижнехвалынский подгоризонт в верхней части преимущественно сложен глинами с прослоями песка разной мощности, которые, по мнению авторов (Безродных и др., 2015), накапливались на глубине порядка 100 м. Нижняя часть представлена вариациями чередования ракуши с различными глинистыми или песчаными отложениями. Возрастной интервал накопления горизонта — от 34,2 до 21,2 кал. тыс. лет назад.

Характер залегания ательского горизонта описан авторами следующим образом: ательские отложения заполняют палеоложбины и представлены континентальными песками и глинами с растительными остатками и прослоями торфоподобного материала, а также пресноводной малакофауной (*Unio* sp., *Limnea* sp.).

В 2014-2016 г.г. группой исследователей (Безродных и др., 2014; Bezrodnykh, Sorokin, 2016) был подробно описан мангышлакский горизонт в акватории. В северной и центральной части Северного Каспия осадконакопление проходило преимущественно в палеодолине Волги (палеоруло и более мелкие палеопротоки) и субширотных палеодепрессиях (ильменах). По данным сейсмоакустического профилирования выполненная палеодолина Волги прослежена до -108 - -103 м абс. Нижняя часть горизонта отражает динамические условия осадконакопления. Верхняя часть состоит из лагунных

отложений, сформировавшихся при начавшейся последующей трансгрессии. Замкнутые палеопонижения (бывшие ильмени) выполнены карбонатным сапропелем и торфом в основании, тонким песком на склонах, а их основная часть — глиной.

В 2015 году была защищена кандидатская диссертация Н.В. Козиной, посвященная современному осадконакоплению в Каспийском море, в том числе в Северном Каспии. А также появились исследования, посвященные минералогии и геохимии современных и голоценовых осадков Северного Каспия (Маслов и др., 2014, 2016; Козина, 2015; Лукашин и др., 2016; Чеховская и др., 2014, 2018).

Т.А. Яниной и соавторами (2017) было установлено соответствие отложений климатическим изменениям. Эти данные во многом подкрепляются и более поздними работами разных авторов. Ательский горизонт формировался в период регрессии до уровней порядка -100 м абс. БС, в холодных и сухих условиях морской изотопной стадии (МИС) 4. Хвалынский горизонт начал накапливаться во время трансгрессии при потеплении начала МИС 3 и увеличении стока рек. Накопление продолжилось в последний ледниковый максимум (ПЛМ), для которого некоторыми исследователями реконструируется небольшая регрессия, и в ходе следующей трансгрессивной фазы, которая могла быть результатом ряда причин, относительно которых ведется дискуссия по настоящий день – трансгрессия могла поддерживаться исключительно гидроклиматическими факторами (Gelfan et al., 2024), о повышении величины речного стока, в частности, писали (Панин и др., 2005; Sidorchuk et al., 2009; Panin, Matlakhova, 2015), обильным таянием мерзлоты в перигляциальной зоне (Makshaev, Svitoch, 2016), а также подобная динамика уровня моря могла быть связана со смягчением климата в условиях продолжавшейся ледниковой эпохи и деградацией ледникового покрова. В период интерстадиального потепления, которому соответствуют пыльцевые зоны бёллинг и аллерёд, наблюдалась сложная разнонаправленная динамика уровня моря. Этот период, вероятно, отвечает накоплению шоколадных глин в Северном Прикаспии (Makshaev, Svitoch, 2016; Макшаев, Ткач, 2023). В холодную эпоху позднего дриаса многими исследователями отмечался суровый климат, по своим характеристикам приближавшийся к ледниковой эпохе (Muscheler et al., 2008). В этот период уменьшился речной сток и вновь была зафиксирована регрессия (по-видимому, енотаевская). С началом голоцена сформировался теплый трансгрессивный бассейн (позднихвалынский).

В недавние годы была опубликована работа, посвященная детальному описанию характера залегания новокаспийского горизонта (Безродных и др., 2019). В исследовании выделено уже несколько генераций палеоврезов: мангышлакские серии врезов в кровле хвалынского горизонта, а также более молодые — на границах между тремя новокаспийскими подгоризонтами. Формирование новокаспийского горизонта в период

трех трансгрессивных этапов и двух регрессий, разделяющих их, было охарактеризовано с точки зрения малакофауны и абсолютного возраста.

## Глава 3. Материалы и методы

### 3.1. Материалы

В основу диссертации положены материалы инженерно-геологического бурения в Северном Каспии. Помимо этого, использовались доступные литературные данные по региону. Изученные скважины расположены преимущественно в центральной зоне Северного Каспия от дельты Волги до Мангышлакского порога (Рис. 14).

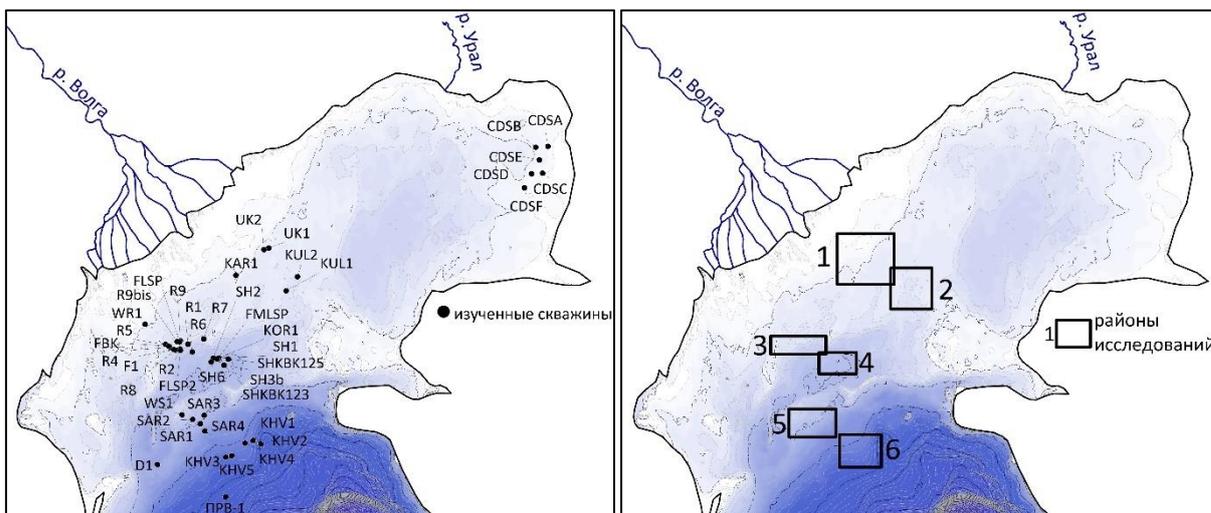


Рис.14. Карта фактического материала (слева — изученные скважины, справа — объединение их в районы исследования и линия сводного разреза через них)

Отбор керна скважин проводился в период 2002-2017 гг. в период инженерно-геологических работ. Работа велась площадками, и каждая скважина сопровождалась серией колонок в окрестности, что позволяло более точно охарактеризовать строение верхней части толщи.

Бурение производилось с бурового понтона ПТС Р05-38АФ, представляющего собой несамоходную плавучую технологическую площадку (ПТС) типа плоскодонного катамарана, оснащенную буровой мачтой, станком ЗИФ-650А и якорными лебедками для стабилизации на точке бурения. Способ бурения — ударно-канатный, с выходом керна от 70 до 100 %, в среднем около 80 %. Длина каждого рейса 0,8-1,4 м. Бурение осуществлялось колонковой трубой длиной 2 м и диаметром 108 мм (внутренний диаметр 96 мм).

Для исключения осыпания стенок скважин в прослоях песка и раковинного детрита бурение осуществлялось с обсадкой трубами диаметром 146 мм. Пробы отложений из керна упаковывались в плотный пластиковый пакет и запаивались до востребования в лаборатории.

Помимо этого, были использованы материалы предшественников, преимущественно, в виде литологических колонок и описаний (колонки в восточном секторе Северного Каспия), а также неопубликованные ранее определения малакофаунистического состава раковин в отложениях (определения к.б.н. Е.В. Бабак).

В работе использовались обширные данные сейсмоакустического профилирования. Проанализированы небольшие профили, не отображенные в виду масштаба на карте (Рис. 14), и серия профилей через палеодолину Волги.

Двухчастотное сейсмоакустическое профилирование позволило изучить донные отложения на глубину до 80 м под поверхностью дна с разрешающей способностью для верхней части разреза глубиной до 10 м не менее 0,5 м, а для глубин более 10,0 м – с разрешающей способностью не менее 2,0 м.

Непрерывное сейсмоакустическое профилирование выполнялось на скорости судна до 5 узлов в двухчастотной модификации: система наблюдений являлась двухчастотной по излучению (низкие частоты – спаркер, высокие частоты – бумер) и двухканальной по приёму сейсмоакустических сигналов, соответственно. Для работ использовался аппаратный многофункциональный технологический комплекс МТК-1 («НИПИокеангеофизика»), выполнялись поочерёдные циклы приёма-излучения низко- и высокочастотных сигналов с интервалом 0,8 с.

В качестве низкочастотных излучателей применялись: в условиях солёных вод — электроискровой источник (спаркер) мощностью 0,42 кДж (линейный многоэлектродный излучатель, 100 электродов), в опреснённых условиях — излучатель Geo-spark 200FW фирмы «GEO Resources» (США). Частотные диапазоны сигналов, генерируемых такими источниками, составляют от 350 до 1300 Гц. В качестве высокочастотного источника применён электродинамический излучатель бумер (СКБ «НИПИокеангеофизика») мощностью 240 Дж с частотным диапазоном сигналов от 1,5 до 3,5 Гц.

## **3.2. Методы**

### ***3.2.1. Изучение химического состава отложений***

Геохимический состав отложений был изучен по серии скважин в районе 3 (KOR-2, KOR-3, KOR-5). При подготовке к анализам пробы отложений были высушены в печи при температуре 50 °С. После этого они были растерты в агатовой ступке до размерности <0.002 мм (истертый материал просеивался через сито без потерь).

Для рентгенофлуоресцентного анализа были изготовлены «таблетки» из истертых проб с подложкой из борной кислоты. Измерения проводились автором на

волнодисперсионном спектрометре «Спектроскан GV» на географическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова, были определены основные оксидные соединения в составе проб.

Редкоземельные элементы, металлы и редкие металлы для тех же проб были определены в ФГБУ ВИМС на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией (Elan-6100, Perkin-Elmer).

### ***3.2.2. Изучение гранулометрического состава отложений***

Гранулометрический состав отложений был изучен соискателем также по пробам преимущественно из района 3. Для определения состава был использован лазерный анализатор «ЛаСка». В процессе подготовки к измерениям в пробах был растворен карбонат (HCl) и органика (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Во избежание коагуляции глинистых частиц перед добавлением материала для измерения в анализатор в пробы был добавлен раствор пирофосфата натрия.

### ***3.2.3. Потери при прокаливании***

Для определения содержания карбонатов и органики в пробах были использованы изменения в массе проб после потерь при прокаливании при разных температурах. Небольшие навески проб сначала взвешивались в керамических тиглях с известной массой, а затем помещались в муфельную печь. Первым этапом был прогрев при температуре 550 °С на протяжении 1 часа для удаления органического вещества с последующим взвешиванием. Вторым этапом удалялась карбонатная составляющая при прогреве на протяжении 1 часа при температуре 950 °С.

### ***3.2.4. Изучение минералогического состава***

#### ***3.2.4.1. Микроскопическое изучение***

Фракция песка (63-125 мкм) была изучена микроскопически. Методом оптической микроскопии был определен минералогический состав тяжелой и легкой подфракций. Подфракции разделялись при помощи бромформа и закреплялись на стеклянные пластины с помощью канадского бальзама. В изученных под микроскопом пробах подсчитывалось около 300-400 зерен в пробе.

#### ***3.2.4.2. Рентгендифрактометрическое изучение***

Состав глинистых минералов для фракции <0.002 мм был изучен рентгендифрактометрическим методом на анализаторе ДРОН-3М с медным анодом на геологическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова. Содержание минералов выявлялись при помощи метода П. Бискайе (Biscaie, 1965). В составе глинистых минералов отложений были определены следующие составляющие: иллит и гидрослюда (далее для простоты обозначения упоминается как «иллит»), смектит и смешаннослойные (далее для простоты обозначения упоминается как «смектит»), каолинит и хлорит.

### ***3.2.6. Создание базы данных абсолютных определений возраста***

Для палеогеографической реконструкции использовались данные радиоуглеродного датирования. В рамках диссертационного исследования были получены 8 радиоуглеродных определений возраста (УМС) по общему органическому углероду в лаборатории Института географии РАН. Помимо этого, были проанализированы литературные данные по хронологии для всех береговых разрезов и морских скважин, где вскрываются морские каспийские отложения.

Диссертантом была создана база данных, включающая в себя следующие данные для каждой даты по протоколу, предложенному N. Khan и соавторами (2019): литературный источник, лабораторный номер, координаты, высотная привязка (от абсолютного 0 м в Балтийской системе), радиоуглеродный возраст и его ошибка, датируемый материал, предположительный генетический тип датированных отложений. Далее были рассчитаны высотные погрешности для каждой датировки в зависимости от типа отбора и определения высотного положения при исследованиях. По совокупности данных была проведена оценка качества этих датировок. Высокая достоверность была присвоена тем датам, для которых существует четкая информация о методе датирования, высоте, координатах и датируемых отложениях. Низкая достоверность — присвоена тем, у которых хотя бы одно из перечисленного не совсем ясно прописано в первоисточнике. Даты, для которых отсутствовала информация о высотной привязке и/или описание отложений, признавались недостоверными и отсеивались.

Далее для каждой даты были рассчитаны поправки на изотопное фракционирование и резервуарный эффект в зависимости от датируемого материала и генезиса отложений с использованием измеренных (Бадинова и др., 1976; Kuzmin et al., 2007) или предполагаемых (Boutton, 1991) данных о содержании  $^{13}\text{C}$ . Скорректированные даты были откалиброваны по калибровочным кривым IntCal20 (Reimer et al., 2020) и Marine20 (Heaton et al., 2020) в зависимости от морского или континентального генезиса датируемого материала.

### ***3.2.7. Обобщение малакофаунистических данных***

Анализ комплексов малакофауны в рамках диссертационного исследования основан на видовых определениях к.б.н. Е.В. Бабак, имеющихся в распоряжении автора диссертации. Диссертантом была проведена унификация важных малакофаунистических данных, которые исследователи региона называли по-разному в разные периоды исследований. Для унификации данных использовалась номенклатура, обоснованная в экспертном заключении (Wesselingh et al., 2019), и информация об условиях обитания видов из различных исследований по современным видам. Результаты рассмотрены в Главе 6.

## Глава 4. Строение, биостратиграфия и геохронология верхнечетвертичных отложений Северного Каспия

В строении верхнечетвертичных отложений всех шести основных районов исследования были обнаружены некоторые принципиальные отличия, которые будут рассмотрены далее. К сожалению, в виду ограниченной доступности материала хазарского горизонта, он был исключен из дальнейшего рассмотрения.

### 4.1. Сейсмостратиграфическое расчленение отложений

По данным сейсмоакустического профилирования во всех районах прослежены четыре основных отражающих горизонта, которые разделяют пять сейсмостратиграфических комплексов, соответствующих четырем толщам отложений: ательским, хвалынским, мангышлакским и новокаспийским, различающимся по своему строению, литологическому составу и возрасту.

*Сейсмостратиграфический комплекс (ССК) 5* развит фрагментарно во всех районах, кроме 6-ого (Рис. 15, 17). Нижний отражающий горизонт неровный, вогнутый или слабовогнутый, маркирует палеопонижения или палеоврезы. Сейсмоакустический рисунок представлен слоистой картиной сейсмозаписи, где слои постепенно выполняют палеопонижения, в целом повторяя характер его нижней границы. Мощность ССК 5 варьирует от 1 до 9 м. Верхняя граница ССК 5 преимущественно ровная, слабоволнистая (ОГ 4). Учитывая вышесказанное, можно утверждать, что отложения ССК 5 маркируют падение уровня моря в ательскую эпоху.

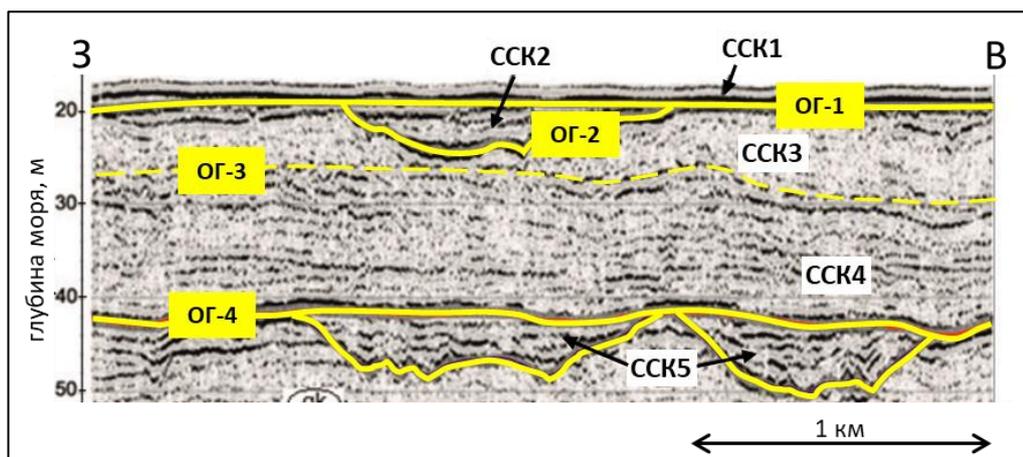


Рис. 15. Фрагмент сейсмоакустического профиля в районе 3 с ательскими отложениями, выполняющими палеоврезы (ССК 5).

*Сейсмостратиграфический комплекс 4* развит повсеместно во всех рассмотренных районах (Рис. 15-17). Нижний отражающий горизонт (ОГ 4) слабоволнистый, практически ровный. Волновая картина резко отличается от ССК 5, сейсмоакустический рисунок

слоистый, слои выдержаны по разрезу, слабоволнистые, практически ровные, повторяют форму ОГ 4. Мощность ССК 4 варьируется от 10 до 17 м, увеличиваясь при этом по мере продвижения на юг, в сторону более глубокой части Каспия. В целом выдержана на каждом отдельно взятом участке.

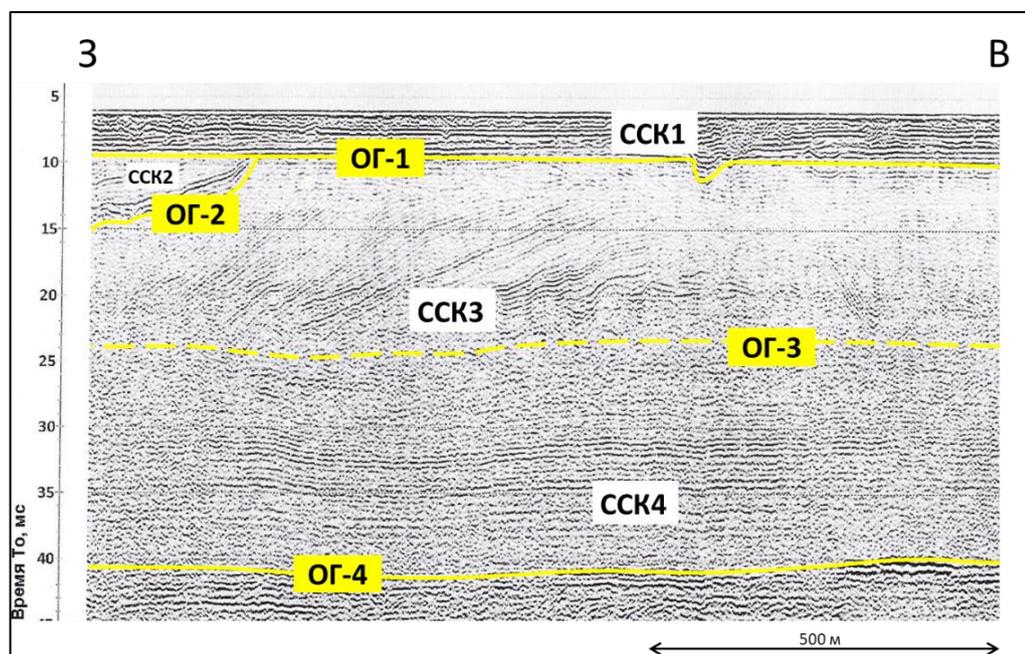


Рис. 16. Фрагмент сейсмоакустического профиля в районе 2 без ательских отложений (ССК 5).

Сеймостратиграфический комплекс 3 развит так же повсеместно во всех районах. Его нижняя граница — ОГ 3 не везде фиксируется чётко, на некоторых участках (Рис. 16) виден плавный переход от слоистой волновой картины ССК 4 к более хаотичной картине ССК 3. В целом сейсмоакустический рисунок ССК являет собой совокупность участков наклонной слоистости с слабовыраженным подошвенным прилеганием и участков хаотичной, крапчатой и слабослоистой волновой картины. Мощность ССК 3 варьируется от 7 до 18 м и сопоставима с ССК 4.

Сеймостратиграфический комплекс 2 представлен фрагментарно, но во всех изученных районах. Нижний отражающий горизонт (ОГ 2) вогнутый на разрезе, неровный, маркирует палеоврезы. Сейсмоакустический рисунок ССК 2 слоистый, слои постепенно выполняют палеоврезы, в основном повторяя форму ОГ 2. Размеры палеоврезов по сейсмоакустическим данным от 100 до 1000 м, мощность до 8 м. В районе 6 (Рис. 18) ССК 2 имеет несколько отличающийся характер: размеры палеовреза превышают 3 км, а мощность 25 м, при этом волновая картина более крапчатая и хаотичная, что позволяет предположить на этом участке палеорусло Волги.

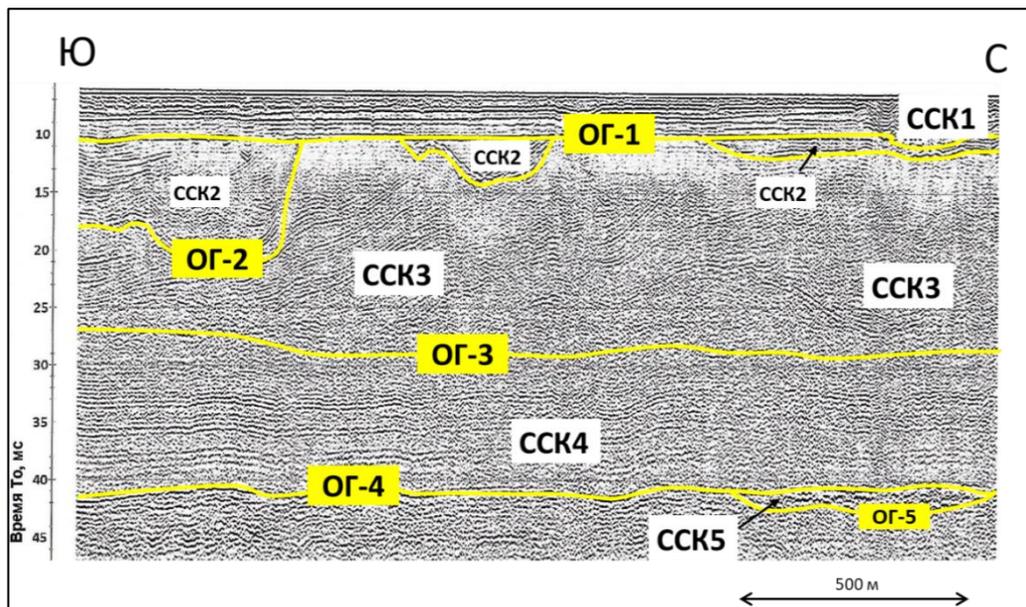


Рис. 17. Фрагмент сейсмоакустического профиля в районе 4.

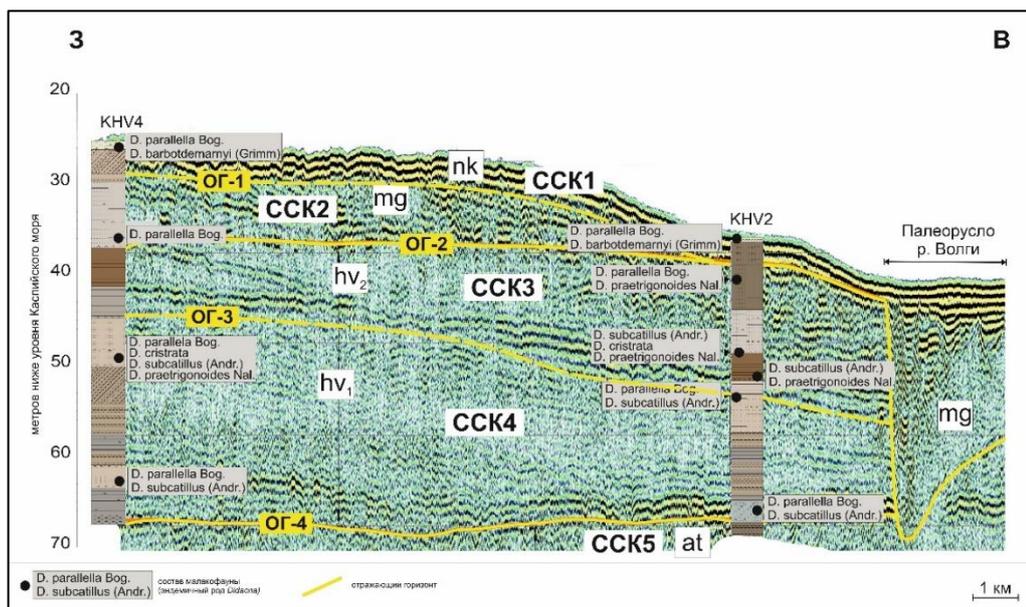


Рис. 18. Фрагмент сейсмоакустического профиля в районе б.

Сейсмостратиграфический комплекс 1 представлен повсеместно во всех изученных районах. Нижняя граница ОГ 1 ровная, чёткая. Волновая картина на сейсмоакустической записи преимущественно слоистая, выдержанная в пространстве. Однако на некоторых участках (районы 1-4) ССК 1 она нарушается двумя сериями палеоврезов (Рис. 19) с более хаотичным слабослоистым сейсмоакустическим рисунком.

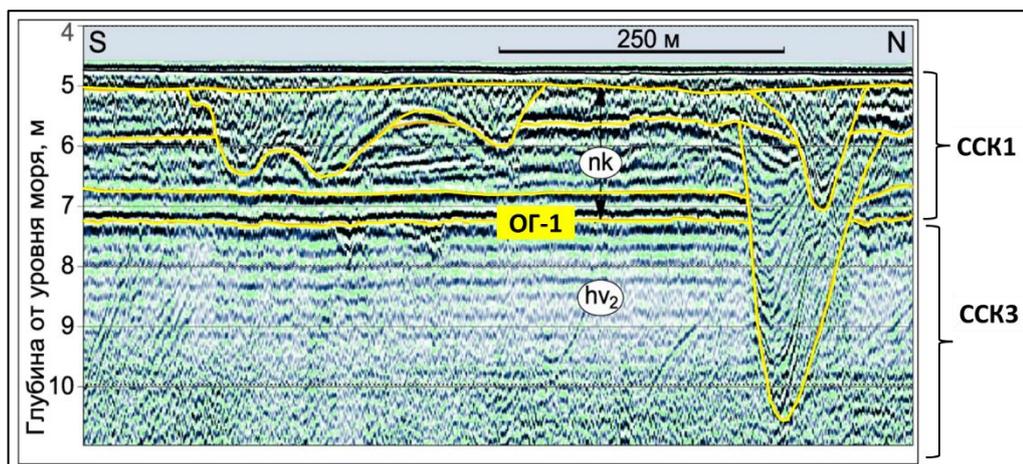


Рис. 19. Фрагмент сейсмоакустического профиля в районе 1.

Таким образом, на основе сейсмостратиграфического расчленения отложений можно утверждать, что толща состоит из двух регрессивно-трансгрессивных ритмов, где регрессиям соответствуют ССК 5 и ССК 2, а трансгрессиям ССК 4, 3 и 1. Ниже рассмотрены отложения, вскрытые скважинами и соответствующие описанным сейсмостратиграфическим комплексам, а также дана их биостратиграфическая и геохронологическая характеристика.

## 4.2. Ательские отложения

В нижней части разреза в каждом из районов (кроме 6-ого, где недостаточно материала для формулировки выводов) залегает ательский горизонт (ССК 5). Он в наименьшей степени изучен из всех рассмотренных в диссертации, так как вскрыт не полностью и фрагментарно.

Ательские отложения соответствуют этапу регрессии Каспийского моря и преимущественно залегают в небольших понижениях палеорельефа дна или даже во врезках (Рис. 15), между которыми они представлены маломощными прослоями.

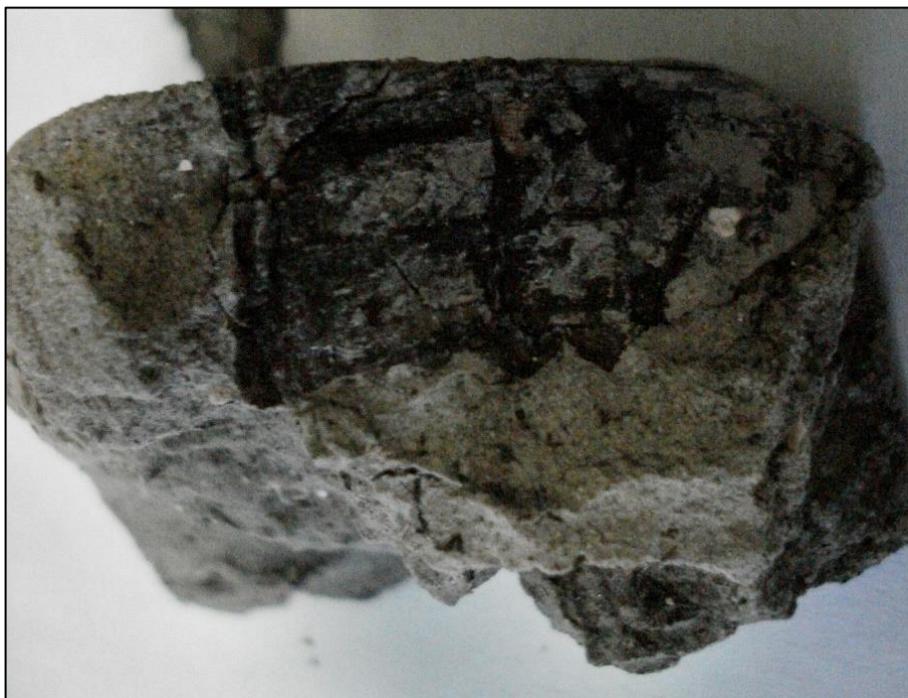
### 4.2.1. Литологические типы отложений

Отложения ательского горизонта неоднородны. В основном они представлены чередованием алевритов и глин в полутвердом или реже в вязкопластичном состоянии. Для врезок, выраженных на сейсмоакустических профилях характерны глины с прослоями алевритистого материала, а для ательских отложений возвышенных областей палеорельефа — в большей степени алевриты.

Так, например, в районе 2 в скважине KUL1 вскрывается верхняя часть ательских отложений, где они представлены коричневым пелитово-алевритовым материалом (Рис. 20). Схожие отложения вскрываются в керне скважин R1 и KOR1 в районе 3 и 4 соответственно. Однако в тех же 3 и 4 районах в большей части скважин ательские отложения представлены более глинистым материалом. В скважине SH3 вскрываются пластичные глины с обилием растительных остатков (Рис. 21). В близлежащих скважинах SHKBK122, SHKBK123 и SHKBK125 отложения представляют собой переслаивания глин с более алевритистым материалом и относительно богаты органическим материалом, что отражается в цвете, переходящем от коричневого к серому и темно-серому.



*Рис. 20. Ательские отложения в скважине R2, переслаивание алевритов и алевритов опесчаненных преимущественно коричневого цвета (интервал от 25,2 справа до-25,8 м слева).*



*Рис. 21. Ательские отложения в скважине SH3 (22.3-22.4 м) с обилием органических остатков.*

Во всех районах для горизонта характерно распространение раковинного детрита и редких раковин моллюсков в разном соотношении.

Помимо вышеописанного, важной чертой отложений ательского горизонта являются обнаруженные в скважине R1 тонкие (~1 мм) вертикальные трещины (Рис. 22) различной ориентировки, заполненные более темным пелитово-алевритистым материалом. По своей структуре они больше всего напоминают структуры усыхания отложений на субаэральных поверхностях.



Рис. 22. Скважина R1, 26.9 м. Трещины усыхания в отложениях ательского горизонта (фото В.М. Сорокина).

#### **4.2.2. Биостратиграфия**

В отложениях этого горизонта отсутствуют раковины эндемичных для региона моллюсков рода *Didacna*, но тем не менее встречаются разнообразные гастроподы и бивальвии: *Dreissena polymorpha polymorpha*, *Valvata piscinalis*, *Theodoxus pallasii*, *Limnea stagnalis*. Эти виды характеризуют пресноводную палеоэкологическую обстановку, однако не несут стратиграфической информации об этих отложениях.

### 4.2.3. Возраст

Возрастных оценок отложений ательского горизонта немного, все они приурочены к районам 3 и 4. В скважинах SHBK122, SHBK123 и SHBK125 по 6 датировкам установлен возраст кровли ательских отложений около 30 тыс. лет назад калиброванных (кал.л.н.). Однако в качестве материала для датирования в данном случае был использован общий органический углерод, который может давать незначительное омоложение результата. По раковинному материалу из ательских отложений скважины R1 была получена датировка 38294 кал.л.н. (ЛУ-5951), а также схожие датировки, приведенные Ю.П. Безродных и соавторами (2017). Таким образом, можно заключить, что накопление отложений ательского горизонта завершилось не позднее 30 000 кал.л.н.

### 4.3. Хвалынские отложения

Отложения, залегающие между 2 и 3 отражающими горизонтами на сейсмоакустических профилях — хвалынские (ССК 4 и ССК 3). Во всех рассмотренных районах они представлены наиболее мощной толщей (18-45 м), которая имеет двучленное строение с разделяющим ее на сейсмоакустических профилях отражающим горизонтом более низкого порядка на нижнюю и верхнюю пачку.

#### 4.3.1. Литологические типы отложений

Практически повсеместно в подошве хвалынский горизонт представлен отложениями, *сильно обогащенными раковинным материалом* разной степени сохранности (от детрита, до сохранившихся створок). Заполнитель в зависимости от района меняется.

В районах 1 и 2 (скважины KAR1 и KUL1) над ательскими отложениями залегают серые глины мощностью до 0,6 м, обогащенные раковинным материалом (Рис. 23).

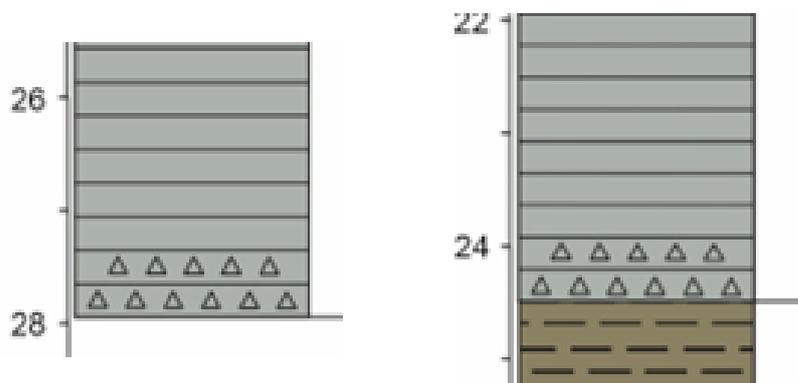


Рис. 23. Фрагменты литологических колонок KAR1 (слева) и KUL1 (справа) с отложениями, обогащенными раковинным материалом с глинистым заполнителем. Условные обозначения в приложении 1.

В более глубоком районе 3 характер этих отложений немного иной: в скважинах R1 и R2 ательский горизонт сначала перекрывается раковинными отложениями с песчаным заполнителем (мощностью 0,5-1,6 м), а затем тонким прослоем (до 0,5 м) — с глинистым

заполнителем (Рис. 24). В обоих случаях для заполнителя характерен серый цвет с голубоватым оттенком.

В районе 4 наблюдается большее разнообразие этих отложений. Например, в скважинах SH2 и SH3b чередуются прослой практически чистого раковинного материала и

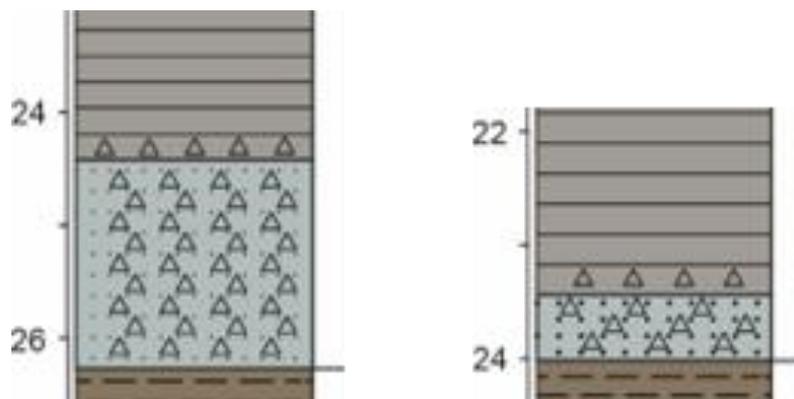


Рис. 24. Фрагменты литологических колонок R1 (слева) и R2 (справа) с отложениями, обогащенными раковинным материалом с песчаным и глинистым заполнителем.

песчаного заполнителя (Рис. 25). При этом мощность отложений этого литологического типа увеличивается до 4,5 м. В скважинах SH6, SHBK122 и SHBK125 этого же района раковинные отложения с песчаным заполнителем в разной степени обогащены глинистым материалом (Рис. 26).

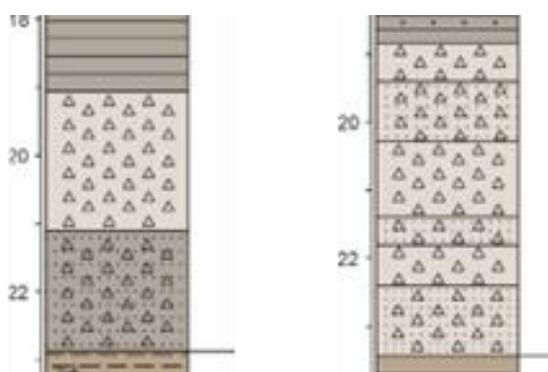


Рис. 25. Фрагменты литологических колонок SH2 (слева) и SH3b (справа) с отложениями, обогащенными раковинным материалом с песчаным заполнителем и практически без заполнителя.

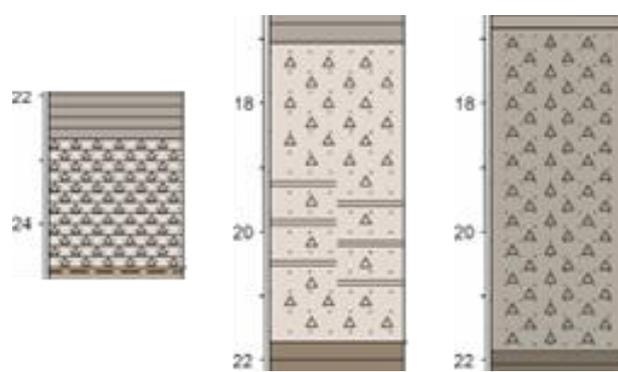


Рис. 26. Фрагменты литологических колонок SH6, SHBK12-2, SHBK12-5 (слева направо) с отложениями, обогащенными раковинным материалом с песчаным заполнителем и глинистыми прослоями

В районе 5 этот литологический тип представлен более глинистыми отложениями: голубовато-серыми глинами с обилием ракуши (Рис. 27). В сравнении с другими районами хвалынские отложения здесь наиболее мощные, поэтому этот литотип находится здесь на наибольших глубинах от дна моря.

В районе 6 литотип вновь характеризуется преобладанием песчаного заполнителя. В скважине KHV2 прослежена его мощность до 2 м, а в KHV5 вскрыта лишь его верхушка (1 м) (Рис. 28).

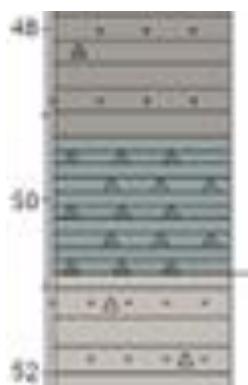


Рис. 27. Фрагменты литологической колонки SAR1 с голубовато-серыми глинистыми отложениями, обогащенными раковинным материалом.

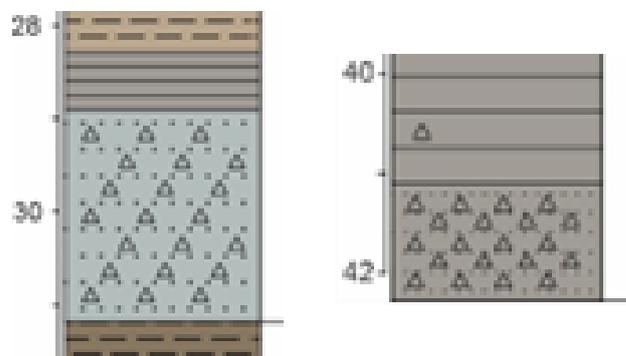


Рис. 28. Фрагменты литологических колонок KHV2 и KHV5 (слева направо) с отложениями, обогащенными раковинным материалом с песчаным заполнителем.

Второй литологический тип осадков, который залегает стратиграфически выше — это *серые глины с прослоями песка и алеврита*. В ближайшем к дельте р. Волги районе 1 этот литологический тип представлен серыми глинами без песчаных прослоев в западной части (KAR1) и схожими коричневато-серыми глинами с редкими включениями малакофауны в восточной части (UK1) мощностью до 4 м. В районе 2 и 3 серые глины схожи между собой, только в скважине FLSP1 (где глины наиболее мощные, 12 м) в них отмечается прослой серого тонкозернистого песка. Южнее, в районе 4, этот литотип немного меняется: в глинах появляются редкие включения малакофауны, опесчаненные интервалы и прослой песка, а мощность непостоянна (до 8 м). Ближе к подводному склону в районе 5 литотип представляет собой опесчаненные серые глины с редкими включениями малакофауны и прослоем тонкозернистого песка в средней части. В самом южном 6 районе литотип представляет собой частое переслаивание серых глин и тонкозернистых песков с прослоями малакофауны и алевритистого материала.

Третий литотип хвалынского отложения — это *серовато-коричневые пылеватые пески с глинистыми прослоями и рассеянной малакофауной*. Они прослеживаются не во всех районах, только в наиболее мелководных (с 1 по 4). Цвет отложений этого типа меняется с коричневатого-серого на серовато-коричневый по мере продвижения с севера на юг, однако сам характер осадка остается весьма постоянным как латерально, так и по разрезу. Толща

осадков этого литотипа достигает мощности  $>10$  м. В районе 4 этот литотип представлен меньшими мощностями (до 3-5 м).

Четвертый литологический тип осадков представлен *коричневыми глинами*. Этот литологический тип представлен так же не во всех районах. Он залегает в кровле третьего литотипа в районах 3 и 4 и в кровле второго – в районе 6. В 3 и 4 районах главной особенностью этих глин являются тонкие (до 10 см) насыщенные гипсом прослои в подошве. В районе 5 данный литотип, по-видимому, фациально замещается песчаными отложениями. В районе 6 глины менее массивные и в одной из скважин (КНВ5) в глинах наблюдается определенная ритмичность (Рис. 29), где градиентно чередуется коричневая глина с более светлым алевритистым материалом. Для глин так же характерны включения малакофауны.

Выше повсеместно наблюдается следующий литологический тип осадков — *алевриты (переслаивание алевритов и алевритов опесчаненных)*. Во всех районах он представлен отложениями с частым и невыдержанным по кернам переслаиванием алевритов опесчаненных



Рис. 29. Скважина КНВ5, 14,8 м. Чередование коричневых глин со светлым алевритистым материалом.

с алевритами. Но есть и некоторые отличия: хоть для всех районов и характерно наличие тонких прослоев раковинного детрита, в районе 3 этих прослоев больше, чем в остальных. А для районов 3 и 4 характерно увеличение прослоев глин, формирующих единый (до 1 м) глинистый прослой в толще осадков этого литотипа.

В районах 5 и 6, которые выступают практически за Мангышлакский порог, отложения этого литологического типа становятся более лёгкими по гранулометрическому составу, образуя толщу плохо отмытого тонкозернистого песка. В верхней части отложений этого литологического типа также отмечены растительные остатки.

Благодаря рассмотрению встреченных литологических типов отложений стало возможным проследить снизу вверх структуру составного хвалынского горизонта:

- в нижней части хвалынский горизонт повсеместно представлен литологическим типом сильно обогащенных раковинным материалом отложений;
- выше он представлен толщей серых глин с песчаными прослоями у Мангышлакского порога и к югу от него;
- над ней — толщей серовато-коричневых пылеватых песков с глинистыми прослоями и рассеянной малакофауной, не представленной в наиболее южных и глубоководных районах;
- ее перекрывает маломощная толща глин в районах 3, 4, 6, замещенная более песчаными отложениями в районе 5, и имеющая высокое содержание гипса в своей подошве в районах 3 и 4;
- венчает хвалынский горизонт толща алевритов песчаных, переслаивающихся с алевритами или иногда (районы 5 и 6) более песчаными отложениями.

На большей части сейсмоакустических профилей хвалынский горизонт разделяется отражающим горизонтом слабой интенсивности (Рис. 30), выше которого залегают толщи, представленные двумя последними из описанных литотипов.

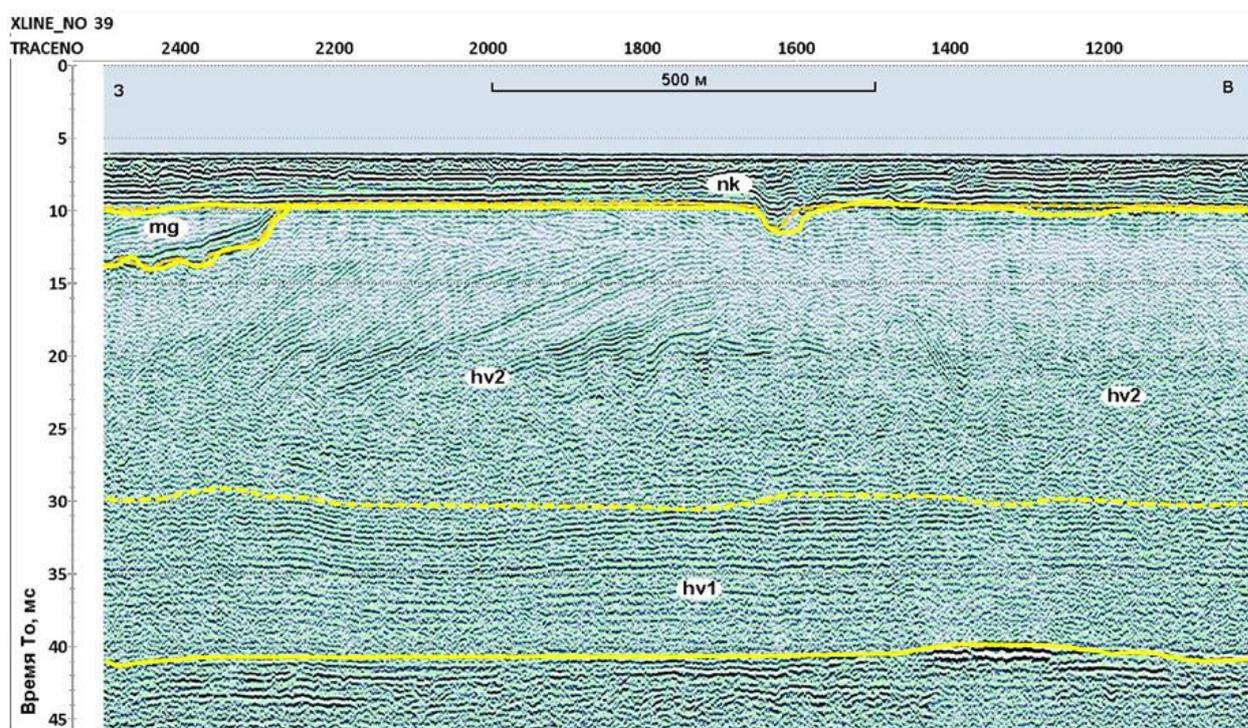


Рис. 30. Сейсмоакустический профиль субширотной ориентировки в районе 3.

Ранее в работах предшественников (Безродных и др., 2015; Yanina et al., 2017) разделение толщи на основе сейсмоакустических данных привело к выделению ниже- и верхнехвалынского подгоризнтов, которые были соотнесены с одноименными подгоризонтами, выделенными на северном побережье Каспия (Попов, 1983, Янина, 2012, Свиточ, 2014).

#### 4.3.2. Биостратиграфия

Описанные толщи несколько иначе охарактеризованы с биостратиграфической точки зрения: состав моллюсков рода *Didacna*, лежащих в основе биостратиграфического расчленения четвертичных отложений региона, отличается в ниже- и верхнехвалынском подгоризнтах.

Для всей толщи нижехвалынских отложений характерно (Рис. 31) обилие раковин вида *Didacna parallela* Vog., который их и маркирует. Чуть меньшее распространение отмечается для вида *Didacna subcatillus* Andrus., который распределен по толще неоднородно: наиболее частая встречаемость отмечена в отложениях литологического типа серых глин с прослоями песка и алевроитов, в осадках остальных литотипов его встречаемость от единичной до частой. Редко, но по всему подгоризнту отмечаются раковины *Didacna cristrata* (Vog.), ближе к границе с отложениями верхнехвалынского подгоризонта встречены только единичные экземпляры. В отложениях всех литотипов, кроме серых глин с прослоями песка и алевроитов, обнаружены раковины *Didana protracta* (Eichw.), которые характерны для хвалынских отложений Прикаспийской низменности в разрезах Волги и Урала. В верхней части отложений нижехвалынского подгоризонта появляются редкие экземпляры раковин видов *Didacna praetigonoides* Nal. et. Anis. и *Didacna zhuckovi* Fed.

Вид	нижехвалынский подгоризонт			верхнехвалынский подгоризонт		
	богатые раковинным материалом отложения	серые глины с песчаными прослоями	серовато-коричневые пылеватые пески с глинистыми прослоями	коричневые глины	переслаивание супесей и суглинков	
<i>Didacna parallela</i> Vog.	■	■	■	■	■	частые
<i>Didacna subcatillus</i> Andrus.	■	■	■	■	■	редкие
<i>Didacna cristrata</i> (Vog.) Fed.	■	■	■	■	■	единичные
<i>Didacna protracta</i> (Eichw.)	■	■	■	■	■	нет
<i>Didacna praetigonoides</i> Nal. et Anis.	■	■	■	■	■	от единичных до частых
<i>Didacna zhuckovi</i> Fed.	■	■	■	■	■	от единичных до редких

Рис. 31. Состав раковин моллюсков рода *Didacna* в разных литологических типах хвалынских отложений.

В отложениях верхнехвалынского подгоризонта в коричневых глинах встречаются все описанные виды *Didacna*, а преобладают *Didacna parallela* Bog. и *Didacna subcatillus* Andrus. В переслаивающихся алевролитах неравномерное распределение *Didacna parallela* Bog., *Didacna subcatillus* Andrus. и *Didacna cristrata* (Bog.), возможно, есть переотложенные формы. Редко встречаются раковины *Didacna praetigonoides* Nal. et. Anis.

#### **4.3.3. Возраст**

Возрастные рамки накопления хвалынских отложений были определены как по литературным данным (Безродных и др., 2004; Безродных и др., 2015), так и по новым неопубликованным датировкам.

Раньше всего (самая древняя датировка 33,8 т.л.н.кал.) началось накопление богатых раковинным материалом отложений в наиболее глубоководном районе 6 (Табл. 4). Отметим, что эта возрастная оценка входит в конфликт с некоторыми датировками по нижележащим ательским отложениям (30 т.л.н.кал.), поэтому можно предположить начало накопления данных отложений около 32 т.л.н. По мере продвижения к более мелководным участкам возраст этого типа отложений уменьшается: так, в районе 4 хронологический интервал соответствует 32,1-30,5 т.л.н.кал., в то время как в ближайшем к дельте Волги районе 1 полученный возраст составляет всего 26,9-23,6 т.л.н.кал. Вышележащие серые глины по мере продвижения от района к району не имеют ярко выраженного временного тренда: преимущественно датировки умещаются в интервале 25,6-22,4 т.л.н.кал. Пески с глинистыми прослоями продатированы только в районах 3, 4 и 6 и, судя по результатам датирования, накапливались около 20,5-19,3 т.л.н. Вышележащие отложения верхнехвалынского подгоризонта проанализированы в трех южных районах (4-6) и имеют схожие датировки, с небольшим временным «наложением» (19,6-18,6 т.л.н.кал.), однако все они явно моложе нижнехвалынских. Венчающие хвалынский подгоризонт отложения — переслаивание алевролитов — продатированы только в самом южном и глубоководном районе 6 и «умещаются» в интервал 18,2-14,8 т.л.н.кал.

Таким образом, накопление хвалынских отложений по результатам проведенного в рамках диссертационного исследования обобщения происходило в интервале с ~ 32 т.л.н.кал. до не менее, чем 14,8 т.л.н.кал. Поскольку непосредственно кровля хвалынских отложений не была продатирована, период их накопления на заключительной стадии может соответствовать и более позднему времени — возможно, охватывать и интервал вплоть до начала накопления мангышлакских отложений, о которых будет сказано ниже.

Таблица. 4. Возрастные интервалы накопления отложений выделенных литологических типов в районах 1-6 по данным радиоуглеродного датирования (указаны интервалы в тысячах лет, калиброванных)

Район	богатые раковинным материалом отложения	серые глины с песчаными прослоями	серовато-коричневые пылеватые пески с глинистыми прослоями	коричневые глины	переслаивание песчанистых и глинистых алевроитов
1	26,9-23,6				
2		25,5			
3		33,2-24,9	20,5		
4	32,1-30,5	25,6-23,4	19,3	19,3	
5				19,6	
6	33,8	25,6-22,4	19,6	18,6	18,2-14,8

#### 4.4. Мангышлакские отложения

Мангышлакские отложения (ССК 2) соответствуют времени значительного понижения уровня моря — мангышлакской регрессии. По большей части отложения представлены фрагментарно и заполняют различные палеопонижения. Весьма подробно строение этих отложений было описано в статье Ю.П. Безродных и соавторов (2014).

В Северном Каспии встречается два типа понижений, которые выполняют мангышлакские отложения: участки широкой речной долины и замкнутые или полузамкнутые палеопонижения, подобные ильменям в современной дельте Волги.

Первый тип — речные палеодолины — прослежен на серии сейсмоакустических профилей (Безродных и др., 2014) от Мангышлакского порога практически до района 1. Прослеженные участки долины, судя по своему пространственному расположению, являлись частью палео-Волги во время регрессии моря. Самая южная часть этой долины была прослежена еще в прошлом веке при детальном исследовании строения Мангышлакского порога (Куприн, Росляков, 1991), однако тогда она был отнесена к системе палео-Урала. По-видимому, в районе 6 палеодолина относится к участку речной системы Урал-Волга, где р. Урал уже впадала в р. Волгу (восточнее, по направлению к полуострову Мангышлак других затопленных долин исследователями не отмечалось). Анализируя строение рельефа дна Северного Каспия, где явно отмечаются участки затопленных долин

и водотоков, прослеженные еще О.К. Леонтьевым (1965), можно предположить, что место впадения палео-Урала в палео-Волгу было восточнее района 4, около нынешней банки Кулалинской. Глубину вреза долины Волги не везде можно проследить по сейсмоакустическим данным в виду частой газонасыщенности нижней части толщи заполнения. Тем не менее, в районе 4 Ю.П. Безродных и соавторы (2014) оценили глубину вреза по подошве палеодолины не менее чем в 40 м от современного уровня Каспия (Рис. 32). К востоку от района 6 той же группой исследователей по сейсмоакустическим данным был прослежен крупный участок палеодолины (Рис. 33) шириной >6 км с типичным для аллювиальных толщ строением.

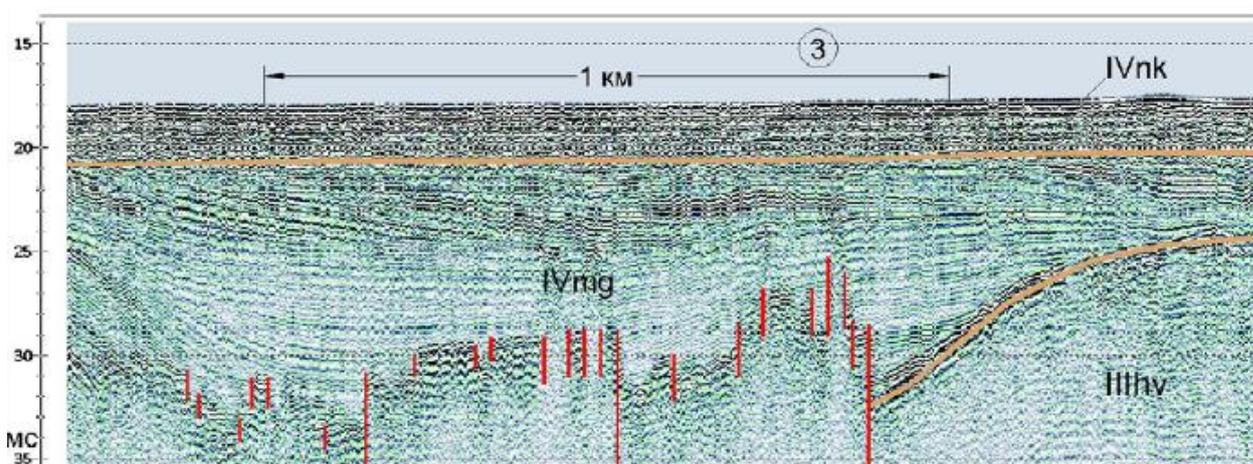


Рис. 32. Временной сейсмоакустический разрез через палеодолину Волги в районе 4 (Безродных и др., 2014).

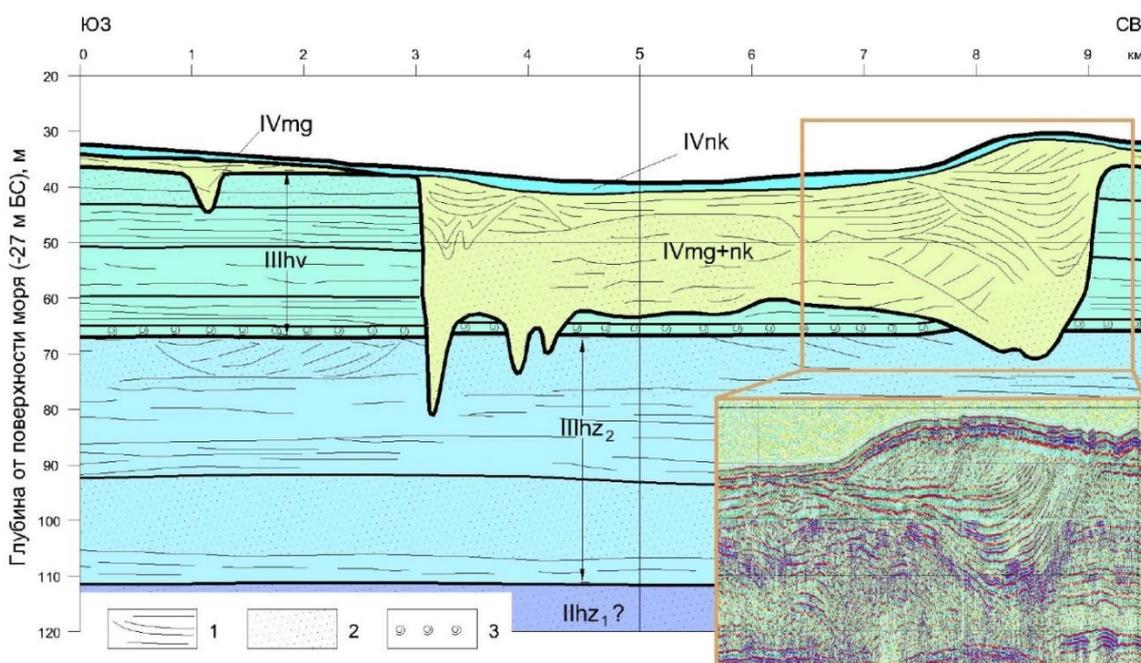


Рис. 33. Геологический разрез, составленный Ю.П. Безродных и соавторами (2014) через палеодолину Волги в районе 6.

Помимо этого, судя по рельефу дна (Леонтьев, 1965), подобная же речная долина мангышлакского возраста может простирается к западу от всех изученных районов. Она могла быть образована одним из рукавов дельтовой части палео-Волги, однако пока детальными работами не вскрыта. Только южнее Мангышлакского порога в продолжение этого участка по результатам сейсмоакустического профилирования и бурения скважины ПРВ-1 (Куприн и др., 1992) вскрыта серия палеодолин Волги, оставшихся пока без должного внимания исследователей. При сейсмоакустическом профилировании П.Н. Куприным и соавторами было прослежено палеоруло на границе «позднехвалынских и новокаспийских» отложений вплоть до акватории Северного Каспия, оно же было вскрыто в скважине ПРВ-1. Тем не менее, авторами не было приведено обоснования определения возраста и стратиграфического положения отложений и вреза, а глубина залегания (-50 м от дна) этой палеоповерхности, прослеженной в Северном Каспии, явно позволяет говорить о более древнем возрасте (возможно, ательском).

Второй тип палеопонижений, которые выполняют мангышлакские отложения — это, как правило, замкнутые палеопонижения, ориентированные в схожем направлении (Рис. 34, 35).

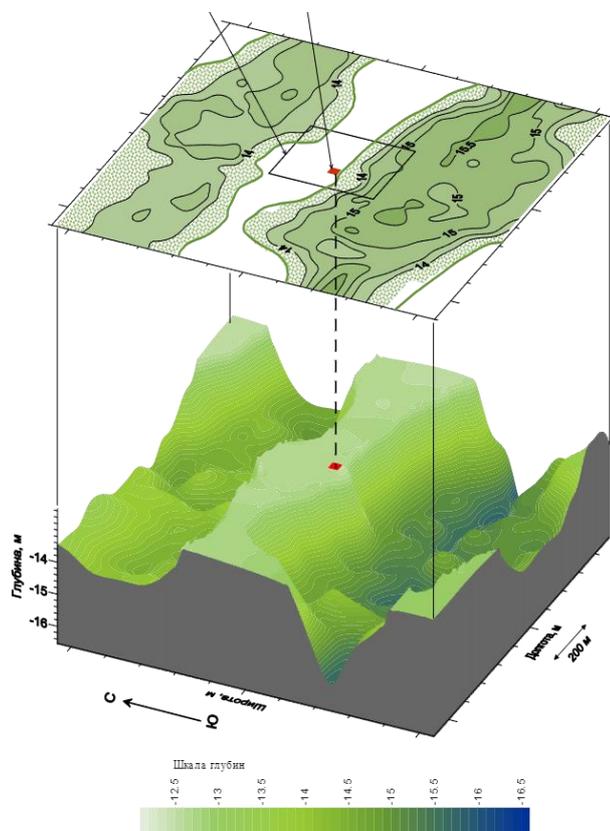


Рис. 34. Строение мангышлакских палеопонижений в районе 4 (Безродных, 2004).



Рис. 35. Мангышлакские палеопонижения в районе 4 (Безродных и др., 2014)

Замкнутые палеопонижения имеют ту же субширотную ориентировку и морфометрические характеристики, что и ильменные понижения в современной дельте Волги, что может говорить об их схожем происхождении. Обширная группа этих палеопонижений отмечается во всей широтной депрессии (районы 3, 4, 5) и ближе к дельте (в районе 1 и в западной части акватории Северного Каспия).

#### 4.4.1. Литологические типы отложений

Условия залегания мангышлакских отложений определяют и литологические типы, которыми они представлены.

Первый литологический тип – это *пески, выполняющие нижнюю часть палеодолин*. Однако они практически не опробованы в виду слабой консолидированности, прослежены в основном по характеру сейсмоакустического сигнала. Мощность толщ, представленных этим литотипом, может достигать 20 м (районе 6).

Второй литологический тип — это *тонкослоистые глины и глины с алевритистыми прослоями*. Они заполняют верхнюю часть палеодолины и имеют сложную структуру залегания, судя по сейсмоакустическим данным. Их мощность достигает 10-15 м.

В пределах замкнутых палеопонижений отложения представлены только в районах 1-4 несколькими литологическими типами.

В подошве мангышлакского горизонта залегают *глинисто-карбонатные осадки с высоким содержанием карбонатов и органики*. Они представлены тонким прослоем (первые десятки сантиметров) в основном в районах ближе к дельте Волги (1-3). Иногда в нижней части толщ этого литологического типа отложений отмечается обогащение

раковинным материалом (в том числе раковинами *Didacna parallela*, характерными для нижележащих хвалынских отложений), по-видимому, перемытым.

Основной объём центральной части палеопонижений представлен *текучими глинами с обилием раковин пресноводных моллюсков и растительных остатков*. Иногда для отложений этого типа характерна неясная тонкая слоистость.

В верхней части палеопонижений в большинстве случаев отмечается *тонкозернистый пылеватый песок с рассеянными раковинами моллюсков*. Для этого литотипа также характерно содержание растительных остатков, однако в меньшем объёме, чем в остальных мангышлакских отложениях.

#### **4.4.2. Биостратиграфия**

В отложениях мангышлакского горизонта отсутствуют *in situ* раковины эндемичных для региона моллюсков рода *Didacna*, поэтому биостратиграфическую характеристику этим отложениям дать нельзя. Как отмечено выше, в подошве отложений мангышлакского горизонта в отдельных случаях отмечаются редкие экземпляры раковины *Didacna parallela* (характерных для нижележащего горизонта), однако они имеют не лучшую сохранность и, скорее всего, являются переотложенными в процессе формирования мангышлакского палеорельефа.

#### **4.4.3. Возраст**

Возрастные оценки литологических типов, представленных в участках палеодолины реки Волги, отсутствуют, но можно предположить, что они имеют схожие хронологические рамки с накоплением отложений в замкнутых палеопонижениях.

Глинисто-карбонатные отложения в подошве горизонта в палеопонижениях имеют наиболее древние определения возраста в районе 4 и 5 (11,3-10,5 т.л.н.кал.). В более мелководных районах 2 и 3 временные рамки их накопления 10,5-10,4 т.л.н.кал. Текучие глины, слагающие основную массу мангышлакских отложений имеют радиоуглеродные даты от 9,4 до 8,9 т.л.н.кал. Венчающие их пылеватые пески, продатированные в районах 1-3 имеют хронологический интервал 8,5-8,3 т.л.н.кал. с одной более молодой датой 6,7 т.л.н.кал.

### **4.5. Новокаспийские отложения**

Новокаспийские отложения (ССК 1) Северного Каспия отвечают одноименной трансгрессивной фазе, которая продолжается и по сегодняшний день. Они формировались при уровне моря, близком к современному и представлены во всех рассмотренных районах. В целом отложения залегают плащеобразно поверх хвалынских и мангышлакских с

мощностью преимущественно 1-5 м (Рис. 36, 37). Однако в их структуре отмечаются неоднородности.

По результатам сейсмоакустического профилирования в результате инженерно-геологических работ в середине 2010-ых гг. (Безродных и др., 2018) было выявлено, что в придельтовой части Северного Каспия новокаспийские отложения имеют два перерыва в осадконакоплении, которые характеризуются двумя уровнями врезов. До этого практически все врезы, отмечавшиеся в надхвалынских горизонтах, относились к мангышлакским. Два перерыва в осадконакоплении прослеживаются в районах 1-3 на придельтовой равнине, время как в районе 4 из них прослеживается лишь один — нижний уровень.

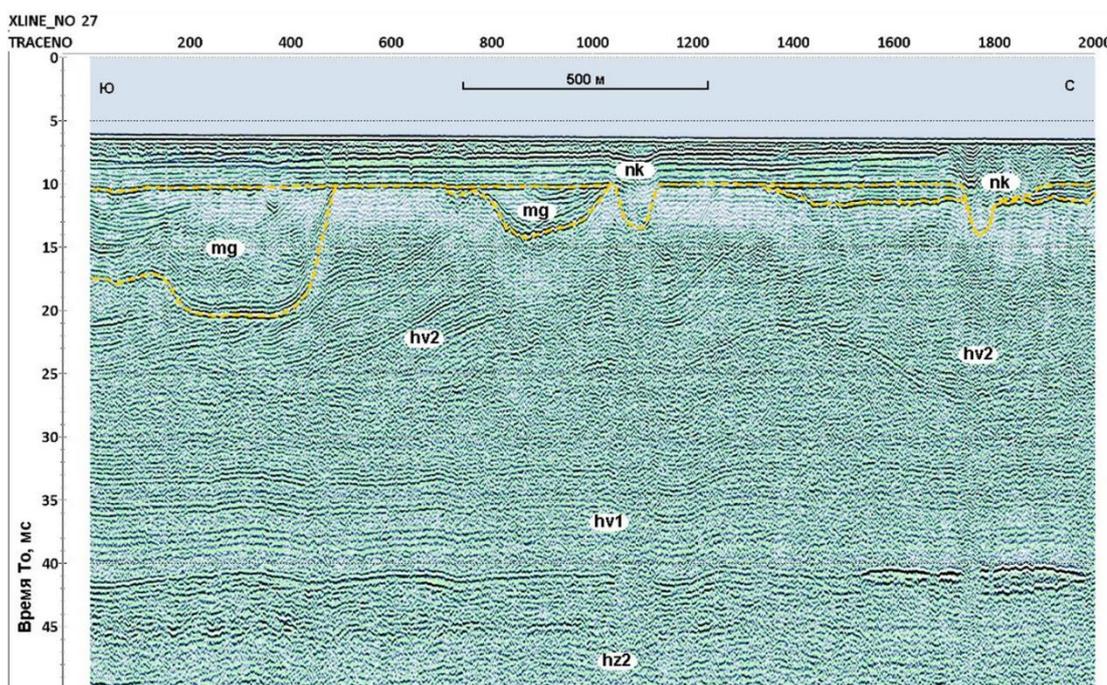


Рис. 36. Плащеобразное залегание новокаспийских отложений на хвалынских и мангышлакских в районе 3.

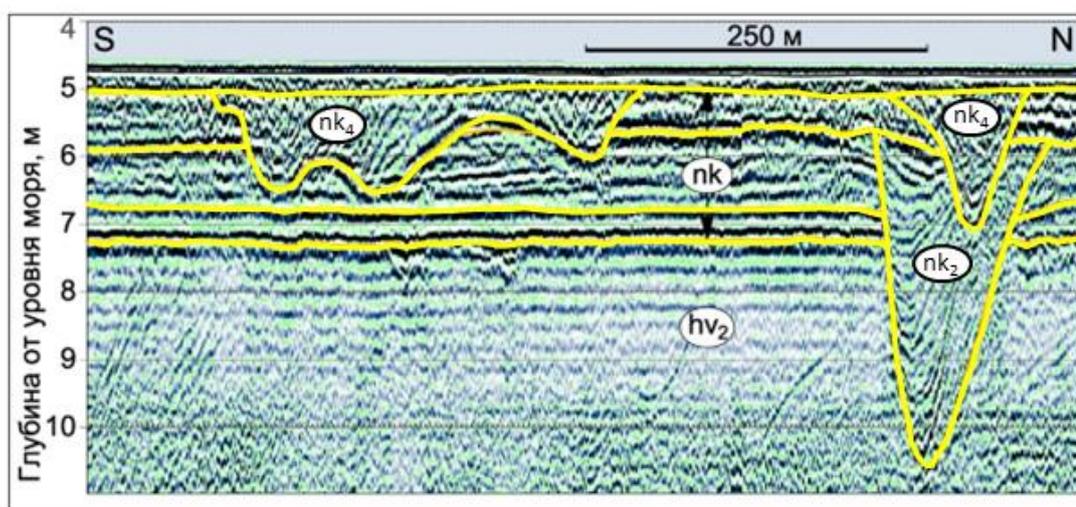


Рис. 37. Два уровня врезов в толще новокаспийских отложений в районе 1

Таким образом, новокаспийский горизонт делится на 5 подгоризонтов ( $nk_{1-5}$ ), три из которых соответствуют трансгрессии Каспийского моря, а другие два — регрессии.

Отложения первого подгоризонта залегают плащеобразно, иногда выполняя небольшие палеопонижения, недозаполнившиеся в мангышлакское время. Они представлены повсеместно от района 1 до района 5, однако в районе 6 провести разделение новокаспийского горизонта уже крайне сложно.

Отложения второго подгоризонта наблюдаются в районах от 1 до 4 и выполняют палеоврезы (Рис. 38). Эти врезы имеют генерально субмеридиональное простирание и ширину до первых сотен метров. Тальвеги врезов располагаются на уровне до -40 м абс. метров в Балтийской системе и -12 м относительно современного уровня Каспия, при этом могут прорезать не только нижележащие отложения первого новокаспийского подгоризонта, но и мангышлакского и хвалынского горизонтов.

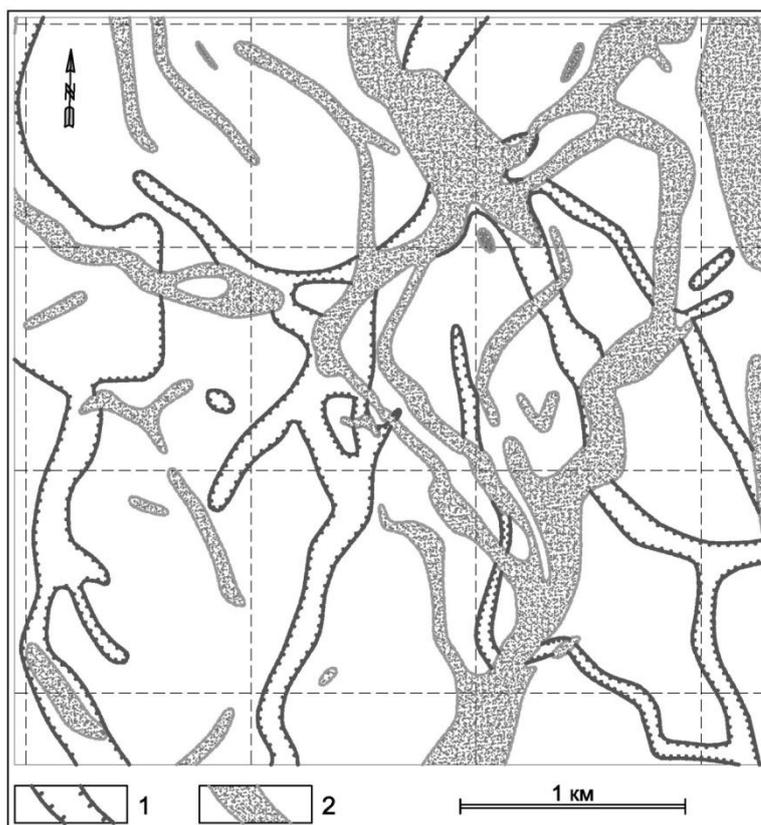
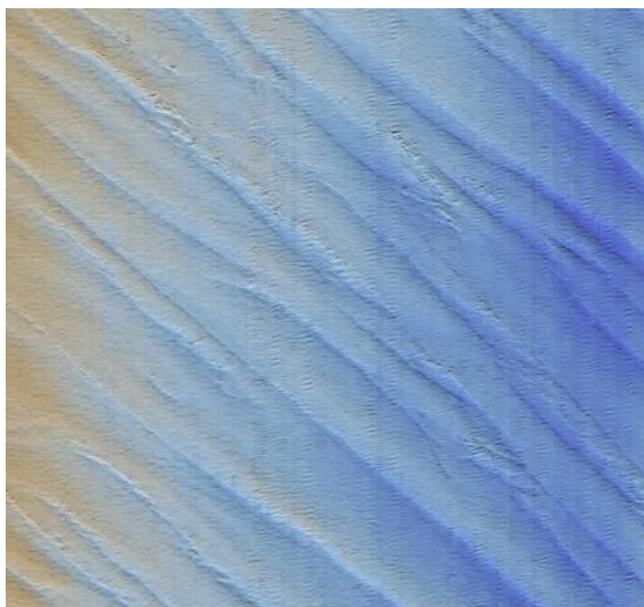


Рис. 38. Характер распространения новокаспийских палеоврезов (1 –  $nk_2$ , 2 –  $nk_4$ )  
(Bezrodnykh et al., 2020)

Отложения третьего подгоризонта залегают схожим с первым подгоризонтом образом – плащеобразно в районах 1-5. В районе 6, какбыло сказано выше, разделить толщу новокаспийских отложений не представляется возможным.

Отложения четвертого подгоризонта выполняют палеоврезы, которые имеют такие же морфометрические характеристики, как и врезы nk2, при этом их тальвеги достигают меньших глубин (-38 м абс. БС и -10 м от современного уровня Каспийского моря).

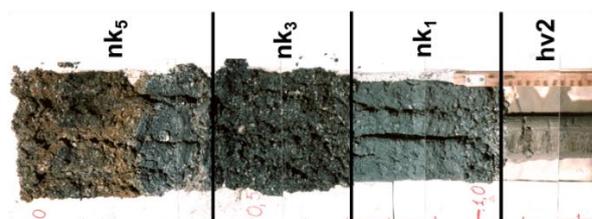
Отложения пятого подгоризонта являются, по сути, современными и продолжают накапливаться в текущих условия. Их распределение в основном связано с современными гидрологическими условиями и рельефом дна (Рис. 39).



*Рис. 39. Участок дна в районе 3 с пологоволнистым рельефом (относительная высота повышений <2 м, ширина 50-100 м).*

#### **4.5.1. Литологические типы отложений**

Первый литологический тип отложений, выделяемый в новокаспийских отложениях — это пылеватый мелкозернистый песок с раковинным детритом. Он проявляется, немного варьируясь в цвете от района 1 до района 5, и отвечает подгоризонту nk1 (Рис 40).



*Рис. 40. Пример строения толщи новокаспийских отложений в районе 3 (фото Б.Ф. Романюка)*

В районе 4, где находятся современные аккумулятивные образования — банки Безымянная и Кулалинская — мощность отложений этого горизонта возрастает с 0,5 до 3 м, что говорит об унаследованном характере рельефа этих банок (Рис. 41).

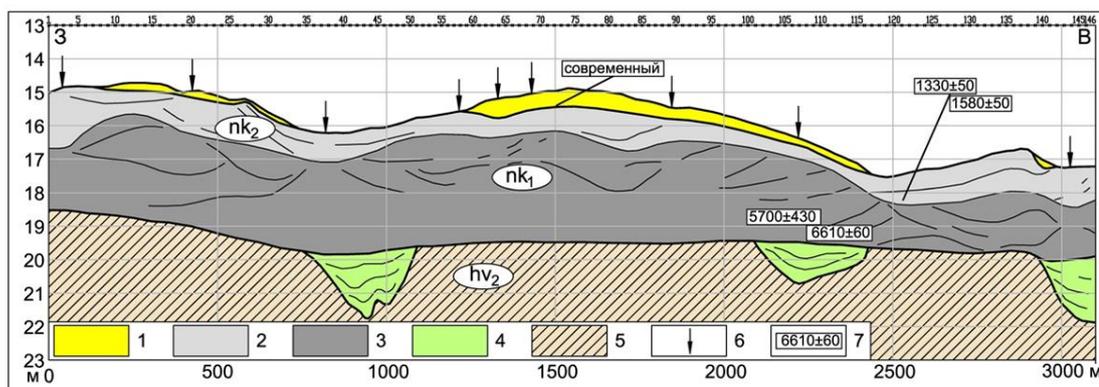


Рис. 41. Структура толщи новокаспийских отложений в районе 4 (Безродных и др., 2018)

Второй литологический тип — это крупнозернистые пески с обилием раковинного детрита. Отложения этого литотипа не выдержанны по цвету как пространственно, так и по вертикали. Их мощность обычно первые десятки сантиметров, и они соответствуют горизонту nk3.

Третий литологический тип — это глины тонкослоистые с растительными остатками и рассеянной малакофауной. Они выполняют врезки как второго, так и четвертого новокаспийских подгоризонтов и не различаются при переходе от одного района к другому.

Четвертый литологический тип — это обогащенные раковинным материалом отложения с песчаным заполнителем. Они в основном слагают пятый новокаспийский подгоризонт в районах 3-5.

#### 4.5.2. Биостратиграфия

С биостратиграфической точки зрения отложения новокаспийского горизонта охарактеризованы преобладанием *Didacna barbotdemarnyi* (Grimm), *Didacna praetrigonoides* Nal. et Anis. Они преобладают над другими видами *Didacna* в отложениях всего новокаспийского горизонта в районе 6 и в первом, третьем и пятом подгоризонтах в районах 1-5. Помимо этого, современные отложения пятого подгоризонта выделяются по появлению *Abra segmentum* (Recluz, 1843), которые были завезены в регион в результате человеческой деятельности и судоходства.

### 4.5.3. Возраст

Возрастные интервалы, полученные по данным обобщения радиоуглеродных датировок последовательно характеризуют каждый из представленных подгоризонтов (Табл. 6).

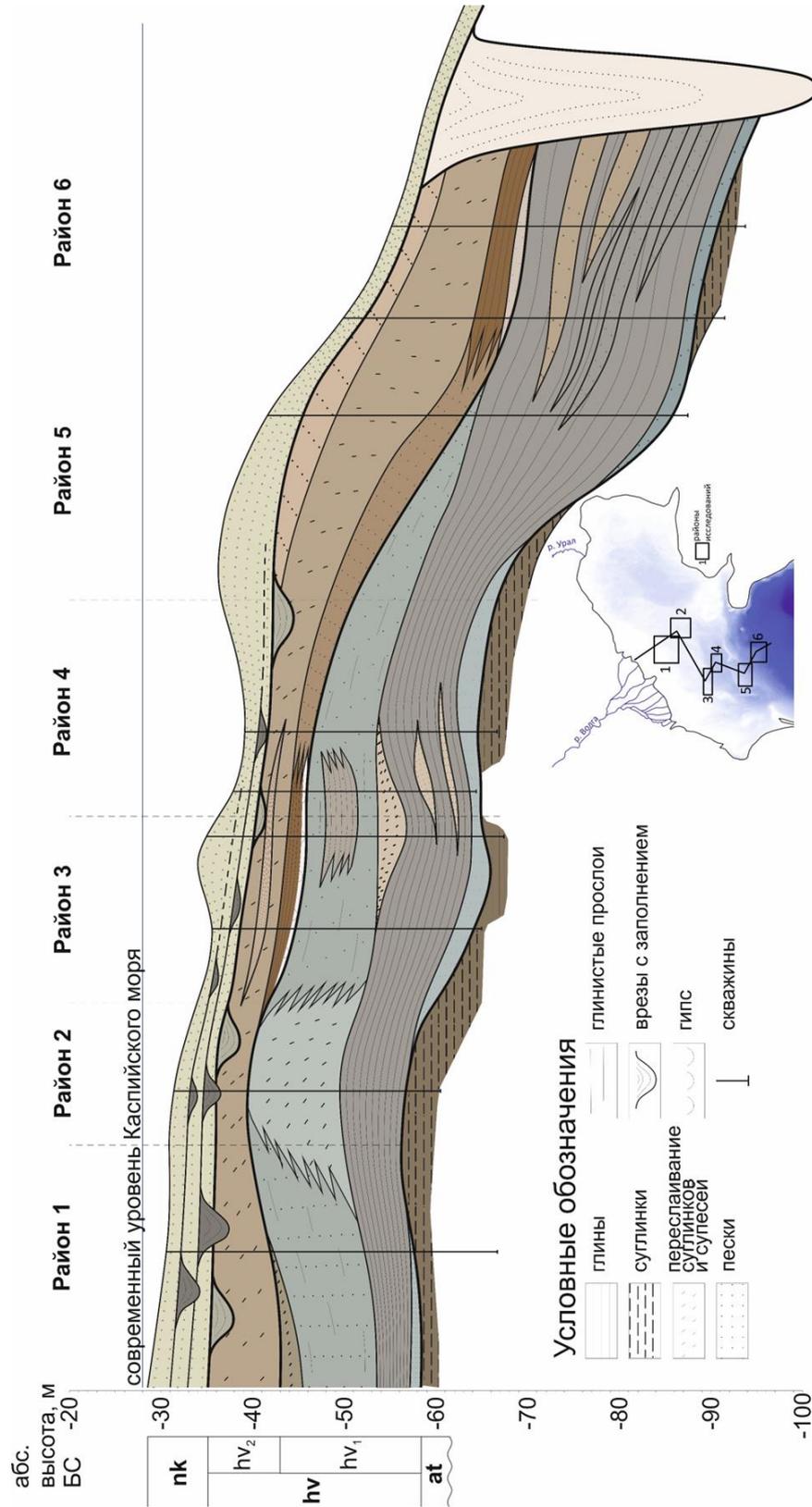
Таблица 6. Возраст (т.л.н.кал.) новокаспийских подгоризонтов по изученным районам

Район	nk1	nk2	nk3	nk4	nk5
1		4.4		2.9	
2		5.1-4.6		2.5	
3	8.2-7.2	5.2-4.2	3.0	2.6	0.3
4	7.5-7.2				
5	7.0	5.0			0.8
6	6.0				1.6-1.1

Первый новокаспийский подгоризонт накапливался в период 8.2-5.5 т.л.н.кал. и продатирован в районах 3-5 (а также в подошве новокаспийского горизонта в районе 6). Отложения, заполняющие врезы первой генерации (nk2) по данным датирования в районах 1, 2, 3, 5 накопились во временной интервал 5.2-4.4 т.л.н.кал. Меньше всего возрастных оценок для среднего новокаспийского подгоризонта (nk3), в районе 3 получена дата 3 т.л.н.кал., которая не противоречит возрасту нижележащих отложений. Вышележащие отложения подгоризонта 4, выполняющие врезы второй генерации, имеют хронологические рамки 2.9-2.5 т.л.н.кал. в районах 1-3 ближе к дельте Волги. Современные отложения (nk5) имеют много «современных» радиоуглеродных дат, а самое древнее определение возраста для подгоризонта соответствует 1.6 т.л.н.кал.

В результате исследования строения толщи верхнечетвертичных отложений был составлен обобщающий разрез, включающий основные горизонты, описанные выше (Рис. 42).

Рис. 42.  
Обобщающий  
разрез через  
районы 1-6 и  
схема  
расположени  
я



## Глава 5. Вещественный состав верхнечетвертичных отложений Северного Каспия

### 5.1. Химический состав отложений

Химический состав донных осадков в трех скважинах на структуре Широкая (SHKBK123, SHKBK125, KOR3) был проанализирован методом масс-спектрометрии индуктивно-связанной плазмой с лазерной абляцией (ЛА-ИСП-МС) и рентгенофлуоресцентным анализом (РФА). Создать достоверную хемотратиграфию для изучаемых отложений не представилось возможным в виду недостаточно большого количества материала. Тем не менее, обратимся к основным закономерностям, которые удалось проследить.

Результаты ЛА-ИСП-МС были проанализированы различными статистическими методами. В первую очередь данные были собраны в единую базу и нормализованы для корректного сравнения (путем подсчета десятичных логарифмов для каждого результата измерения).

Корреляционный анализ логарифмов содержаний элементов (Табл. 7) позволил выявить некоторые геохимические особенности.

Анализ корреляционной матрицы геохимических компонентов на основе коэффициентов Пирсона позволил выделить ряд основных геохимических ассоциаций. В первую входят  $\text{Na}_2\text{O}$ , Zr, Hf. В самую обширную вторую  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ , MnO,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Li, Be, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Rh, Pd, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Ir, Pt, Au, Tl, Pb, Bi, Th. В третью входят CaO, Sr. Четвёртая представлена Mo и As.

Кластерный анализ по тем же данным позволил получить древовидную диаграмму (Рис. 43). Её строение позволяет чуть более подробно понять характер и уровень связи между элементами.

Выделяются несколько основных кластеров. Первый включает в себя Ag, Re и Rh, которые имеют следовые содержания и невысокую связь между собой. Так же, как и по корреляционной матрице выделяются кластеры Mo-As и CaO-Sr. Отдельно от остальных компонентов выделяются  $\text{Na}_2\text{O}$  и Ba, которые между собой имеют связь среднего уровня. Далее выделяется кластер вокруг MnO с Cd, Sb и U и кластер Zr-Hf-W. Все остальные компоненты с оксидами  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{MgO}$ , а также различными металлами и редкоземельными элементами образуют отдельный кластер с высокими внутренними связями, кроме, пожалуй, Sn, стоящего несколько особняком.



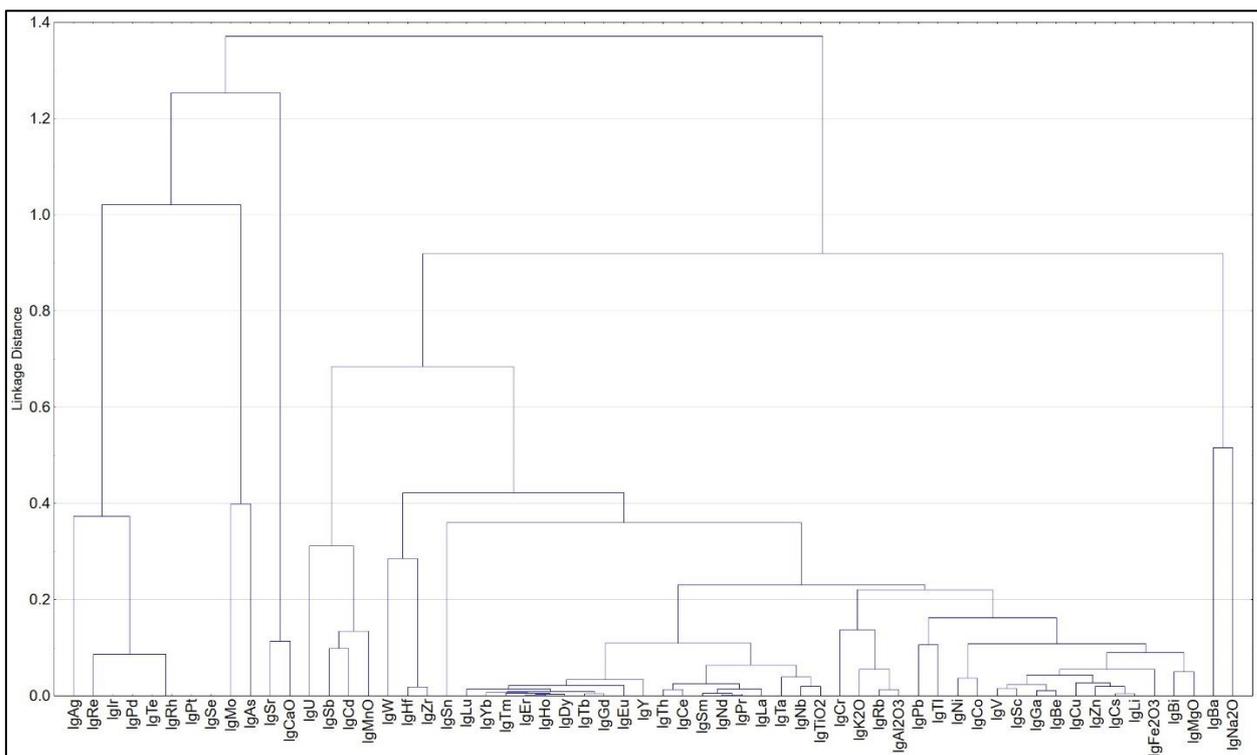


Рис. 43. Результат кластерного анализа ЛА-ИСП-МС по трем скважинам в районе 4.

На основе полученных результатов выделены следующие геохимические ассоциации:

- CaO – Sr – Mo – As – по-видимому, характерны для осадков с высоким содержанием моллюсков, остракодовых и фораминиферового детрита разной размерности. Для данной ассоциации типично постепенное изоморфное замещение кальция стронцием в кальцитовых раковинах стронций изоморфно замещает кальций в кальцитовых раковинах. Для карбонатов также характерны относительное обогащение молибденом и мышьяком.
- Na<sub>2</sub>O – Ba – обычно повышенные концентрации этих элементов характерны для морских вод повышенной солености.
- TiO<sub>2</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – K<sub>2</sub>O – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – MgO – металлы и редкоземельные элементы – может отражать наличие тонкого кластического материала с пелитовой фракцией с органикой и оксидом железа, которые сорбируют на себе множество редкоземельных элементов и металлов.

Определить относительную роль различных факторов в формировании геохимических ассоциаций на количественной основе помогает факторный анализ без варимаксного вращения (Табл. 8).

Табл. 8. Результаты факторного анализа для трех скважин со структуры Широтная

	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	F 6	F 7	F 8	F 9
IgNa2O	-0.38	0.16	-0.59	-0.61	-0.21	-0.10	-0.10	-0.04	0.04
IgMgO	-0.97	-0.02	0.17	0.06	-0.02	0.02	-0.12	0.02	0.04
IgAl2O3	-0.94	-0.24	-0.08	0.00	-0.16	-0.06	-0.07	0.03	0.02
IgK2O	-0.88	-0.23	-0.27	-0.07	-0.24	-0.08	-0.07	0.07	0.01
IgCaO	-0.27	0.81	0.45	0.09	-0.07	-0.04	-0.09	-0.04	0.14
IgTiO2	-0.96	-0.02	-0.22	-0.06	0.06	0.07	-0.05	-0.02	0.02
IgMnO	-0.84	0.29	0.23	0.01	0.04	-0.28	-0.08	-0.04	0.12
IgFe2O3	-0.90	-0.37	0.14	-0.02	-0.02	0.06	0.02	-0.01	0.04
IgLi	-0.93	-0.25	0.20	0.09	-0.08	0.00	-0.08	-0.01	0.02
IgBe	-0.95	-0.24	0.09	0.07	-0.10	0.00	-0.03	0.03	0.00
IgSc	-0.98	-0.14	0.11	0.07	0.01	0.00	-0.03	-0.01	-0.01
IgV	-0.95	-0.25	0.09	0.05	-0.04	0.02	-0.02	0.01	0.01
IgCr	-0.90	-0.25	-0.01	-0.06	-0.06	0.07	-0.10	0.06	0.07
IgCo	-0.92	-0.20	0.20	-0.02	-0.04	-0.18	-0.02	0.00	-0.03
IgNi	-0.90	-0.21	0.24	-0.02	-0.06	-0.12	-0.05	0.07	0.03
IgCu	-0.94	-0.18	0.21	0.12	-0.03	0.01	0.00	0.09	-0.05
IgZn	-0.95	-0.23	0.15	0.05	-0.03	0.00	-0.02	0.04	-0.02
IgGa	-0.96	-0.23	0.03	0.07	-0.06	-0.02	-0.05	0.01	0.00
IgAs	-0.14	-0.55	0.47	-0.45	0.31	-0.28	0.14	-0.08	-0.14
IgRb	-0.96	-0.17	-0.02	0.02	-0.17	0.00	-0.09	0.06	0.03
IgSr	0.04	0.77	0.57	-0.12	-0.06	0.00	-0.15	-0.05	0.05
IgY	-0.94	0.15	-0.07	0.02	0.13	-0.11	0.16	0.01	-0.01
IgZr	-0.79	0.17	-0.42	-0.18	0.14	0.22	-0.14	0.06	-0.06
IgNb	-0.97	-0.04	-0.13	0.00	0.07	0.10	-0.05	0.01	0.02
IgMo	-0.03	-0.28	0.59	-0.64	0.02	0.27	0.08	0.11	0.17
IgCd	-0.84	0.24	0.39	-0.02	-0.01	0.08	0.09	-0.09	0.02
IgSn	-0.77	-0.11	0.09	0.08	-0.12	0.45	0.22	-0.29	0.03
IgSb	-0.91	0.18	0.26	-0.09	-0.08	0.02	-0.07	0.09	-0.09
IgCs	-0.95	-0.20	0.20	0.10	-0.07	0.03	-0.07	-0.01	0.01
IgBa	-0.54	0.49	-0.13	-0.15	-0.51	-0.04	0.33	0.11	-0.06
IgLa	-0.97	0.12	-0.07	0.08	0.10	0.04	0.02	0.06	0.03
IgCe	-0.97	0.09	-0.13	0.01	0.06	0.06	-0.01	0.07	0.03
IgPr	-0.98	0.11	-0.11	0.03	0.10	0.03	0.03	0.04	0.01
IgNd	-0.98	0.13	-0.10	0.02	0.10	0.03	0.04	0.04	0.01
IgSm	-0.97	0.14	-0.09	0.00	0.09	0.00	0.05	0.04	0.01
IgEu	-0.98	0.10	-0.08	0.00	0.01	-0.11	0.07	-0.01	0.01
IgGd	-0.97	0.15	-0.07	-0.01	0.08	-0.04	0.08	0.00	0.03
IgTb	-0.98	0.14	-0.08	0.02	0.08	-0.05	0.07	0.00	0.01
IgDy	-0.97	0.15	-0.05	0.01	0.09	-0.07	0.08	0.01	0.03
IgHo	-0.97	0.16	-0.07	0.02	0.09	-0.08	0.08	-0.01	0.02
IgEr	-0.97	0.16	-0.07	0.00	0.09	-0.08	0.07	0.01	0.02
IgTm	-0.97	0.16	-0.08	0.02	0.08	-0.07	0.08	-0.02	0.03
IgYb	-0.97	0.17	-0.11	0.00	0.11	-0.06	0.06	0.00	0.02
IgLu	-0.96	0.18	-0.12	-0.04	0.09	-0.04	0.08	-0.03	0.01
IgHf	-0.82	0.20	-0.40	-0.15	0.19	0.16	-0.10	0.04	-0.06
IgTa	-0.97	-0.05	-0.10	-0.01	0.08	0.07	-0.06	-0.06	0.04
IgW	-0.81	0.01	-0.18	-0.19	-0.09	-0.11	-0.18	-0.39	-0.05
IgTl	-0.92	-0.20	0.05	0.12	-0.14	-0.08	-0.01	-0.07	-0.10
IgPb	-0.93	-0.09	0.00	0.01	-0.11	0.03	0.13	-0.06	-0.13
IgBi	-0.95	-0.11	0.16	0.11	0.07	0.07	0.01	-0.05	0.04
IgTh	-0.98	0.05	-0.06	0.03	0.08	0.10	0.00	0.05	0.01
IgU	-0.62	0.47	0.44	-0.09	0.02	0.15	-0.13	0.06	-0.36

Первый фактор определяет отсутствие в осадках оксидов Mg, Al, K, Ti, Mn, Fe, а также большей части металлов и редкоземельных элементов. Второй фактор контролирует в основном содержание оксида кальция со стронцием. Третий фактор определяет наличие Mo, Sr, As, CaO и U и отсутствие Na<sub>2</sub>O. Фактор 4 характеризует осадки только отсутствием Na<sub>2</sub>O и Mo. Остальные факторы имеют меньшее значение и в основном контролируют распределение одного элемента. Пятый фактор определяет отсутствие бария, шестой – присутствие олова, а седьмой – присутствие бария.

Для каждой из скважин были выделены пробы с аномальными факторными нагрузками. Были отмечены пробы со значениями нагрузок для факторов 1-7, которые превышают среднее значение нагрузки с 1 стандартным отклонением.

Таким образом, можно было сделать некоторые выводы о том, какие факторы имеют наибольшее влияние на различные толщи отложений. Новокаспийские отложения контролируются факторами 1, 4, 6, 7;

мангышлакские – 1 и 5; хвалынские – 1, 3, 4, 5, 6, в меньшей степени 7; ательские – 2, 4, в меньшей степени 3 и 5.

Чтобы более подробно охарактеризовать каждую толщу был отдельно статистически проанализирован их геохимический состав. Из анализа были исключены имеющие следовые или ниже предела определения элементы и CaO и Sr, которые связаны с содержанием детрита в отложениях.

Компонентный анализ (Рис. 44) показал, что состав ательских отложений, главным образом, определяется содержанием основных оксидов и РЗЭ. Новокаспийские, мангышлакские и хвалынские осадки не зависят от распределения этих элементов. Причем зависимость падает от более древних хвалынских к более молодым новокаспийским осадкам.

Более подробно проследить распределение элементов в отложениях можно при рассмотрении каждой толщи по отдельности (Рис. 45). Содержания оксидов показано на скрипичных графиках, которые иллюстрируют плотность распределения значений в пробах. Как мы видим, наибольшие содержания во всех отложениях имеют  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , а общее содержание всех определенных оксидов падает, по-видимому, в связи с увеличением содержания  $\text{SiO}_2$ , который определен только для одной из трех скважин.

Стронций, цирконий и барий ведут себя немного более вариативно (Рис. 46). Sr достигает пиковых значений в хвалынских отложениях, где больше всего раковинного детрита, к которому он приурочен. Ательские отложения по содержанию стронция разбиваются на две группы (200 и 500 ppm). Схожее бимодальное распределение отмечено для бария в ательских отложениях. Вероятно, оно маркирует отложения, которые формировались далеко от берега моря и отложения, формировавшиеся в зоне нагонов при последующей хвалынской трансгрессии. По цирконию отличаются, пожалуй, лишь новокаспийские отложения, в которых его меньше, чем в остальных.

Среди металлов и мышьяка (Рис. 47, 48) отмечается тренд на сокращение содержаний этих элементов от ательских к новокаспийским отложениям. Также во всех толщах отмечается относительно небольшое содержание кобальта, галлия и мышьяка.

Среди РЗЭ, редких металлов и еще некоторых элементов с таким же порядком содержаний выделяется по повышенной концентрации ниодим. Также не наблюдается существенной дифференциации в соотношении легких и тяжелых РЗЭ по отношению к их сумме (Рис. 49), что говорит об отсутствии обогащения в изучаемых отложениях.



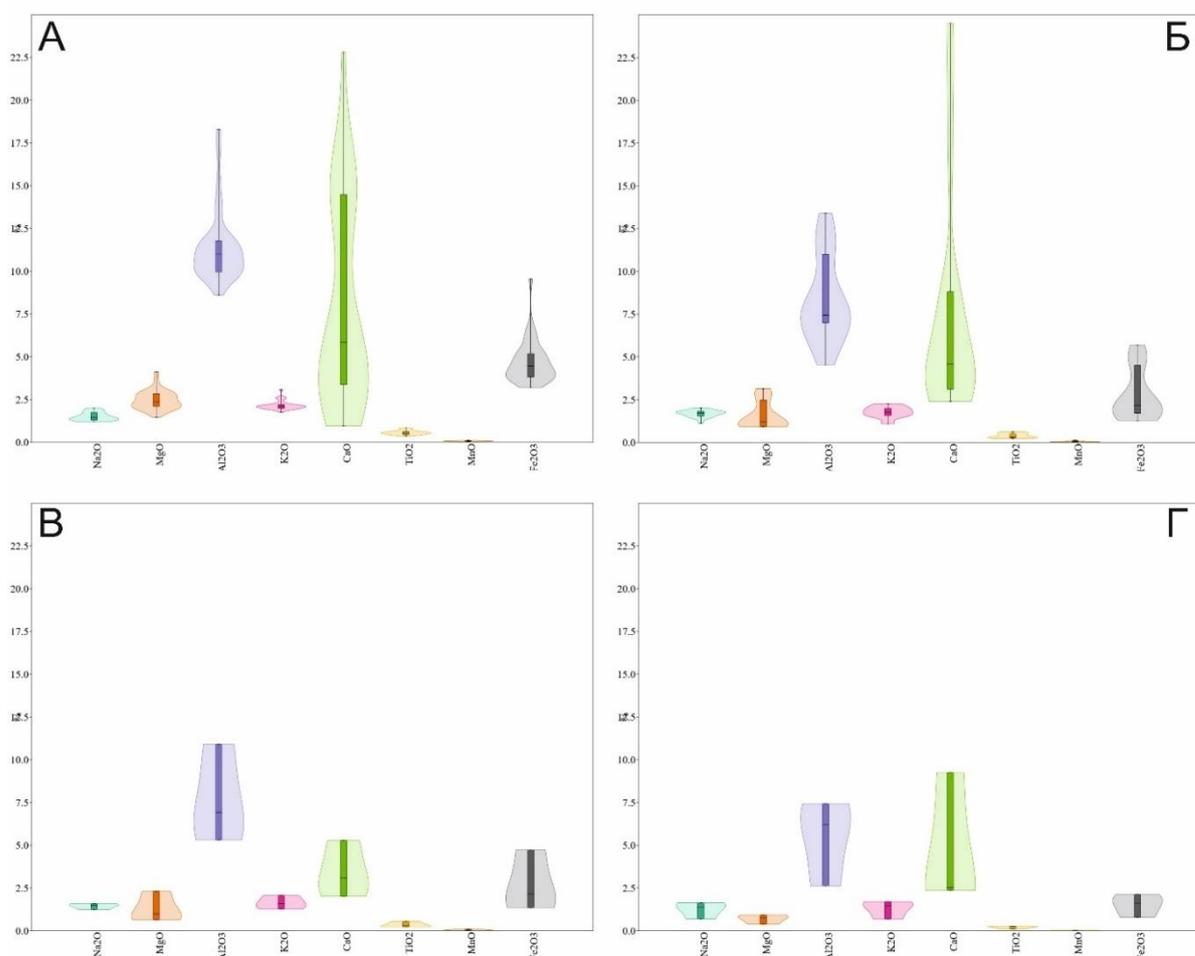


Рис. 45. Скрипичные графики распределения оксидов в ательских (а), хвалынских (б), мангышлакских (в) и новокастийских отложениях (г).

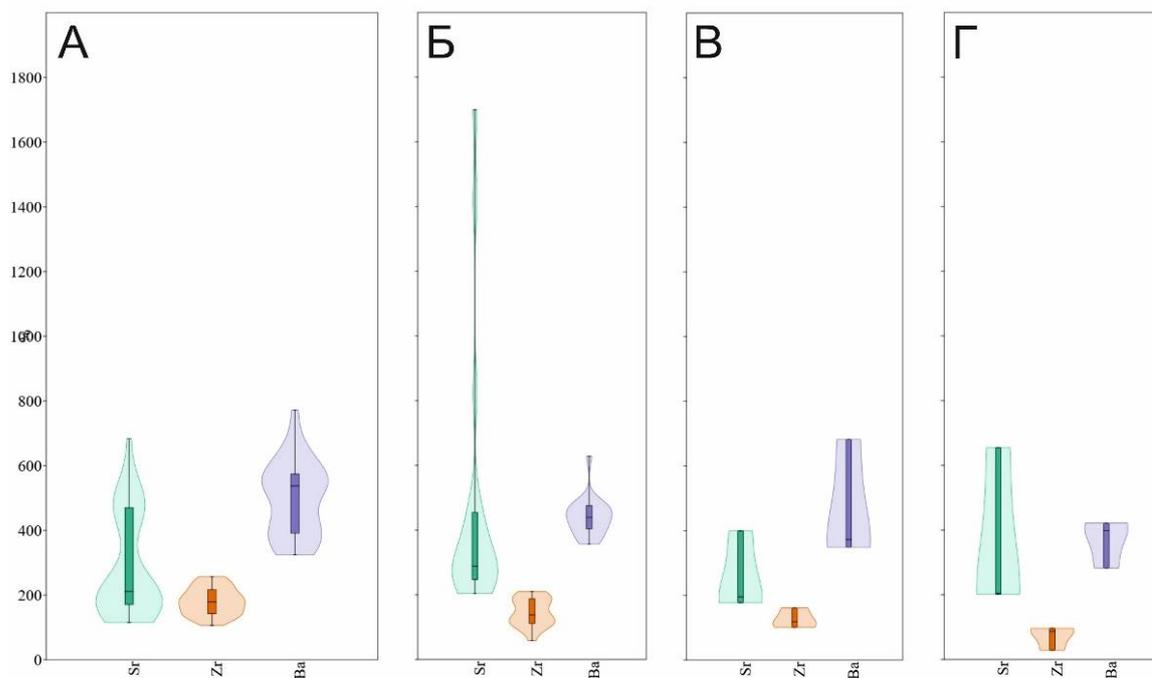


Рис. 46. Скрипичные графики распределения Sr, Zr и Ba в ательских (а), хвалынских (б), мангышлакских (в) и новокастийских отложениях (г).

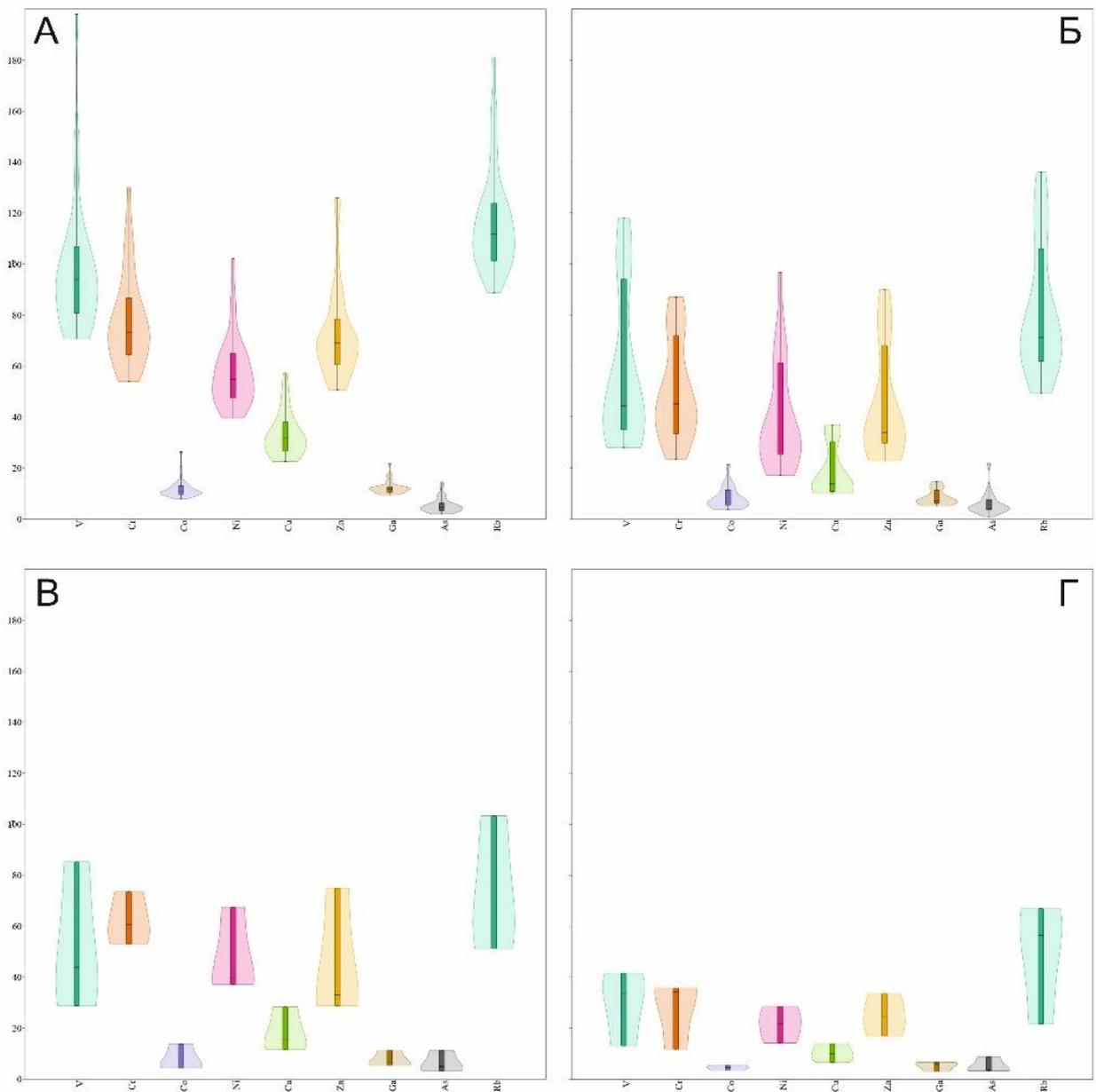


Рис. 47. Скрипичные графики распределения металлов и мышьяка в ательских (а), хвалынских (б), мангышлакских (в) и новокаспийских отложениях (г).

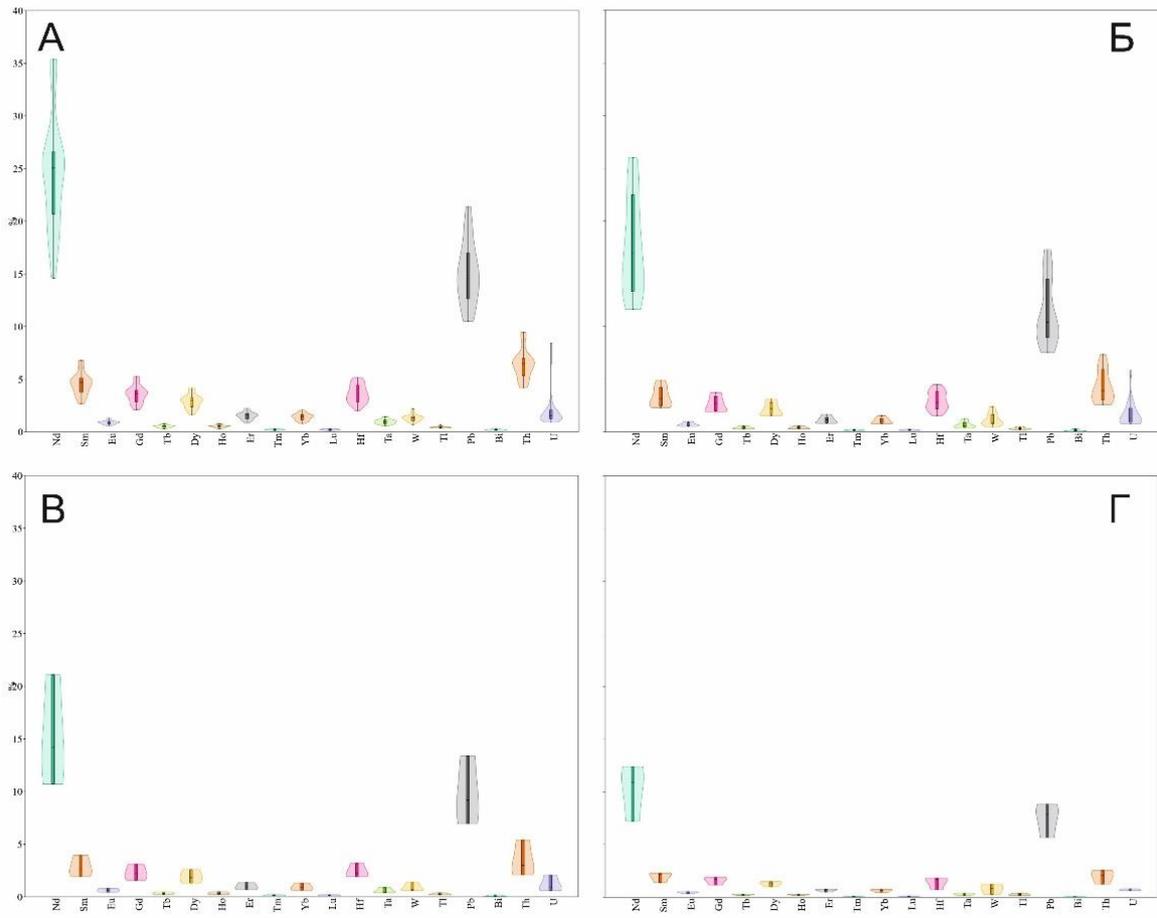


Рис. 48. Скрипичные графики распределения РЗЭ и еще некоторых элементов в ательских (а), хвалынских (б), мангышлакских (в) и новокаспийских отложениях (г).

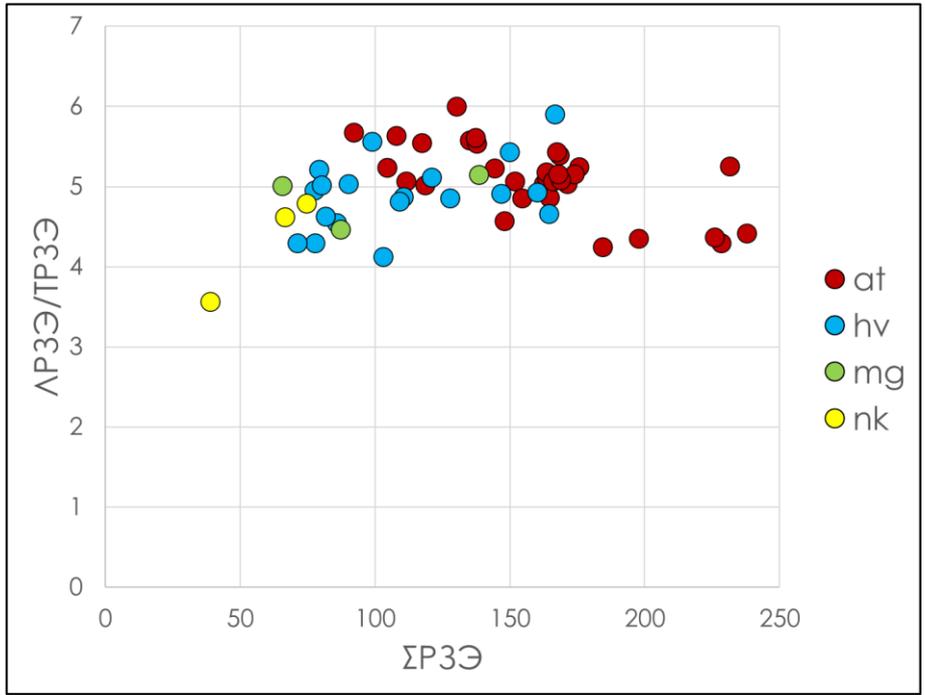


Рис. 49. Соотношение легких и тяжелых РЗЭ по отношению к их сумме

Разброс содержаний РЗЭ в отложениях разного возраста отличается (Рис. 50). Наиболее выдержан состав мангышлакских отложений (вероятно, это связано с малым количеством проб). В остальных наблюдаемые различия гораздо заметнее (даже в новокаспийских, где выборка невелика).

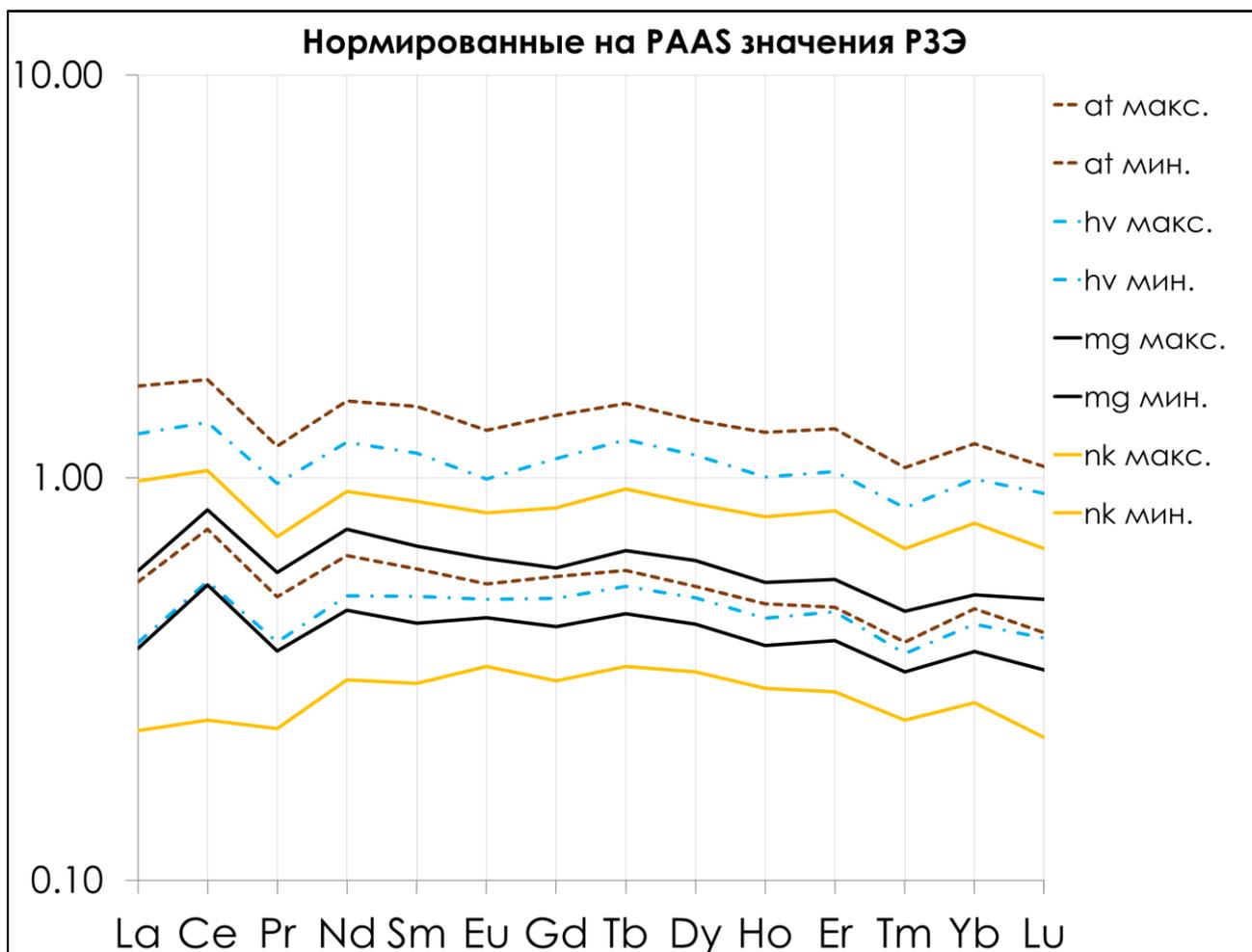


Рис. 50. Содержание РЗЭ в отложениях от максимальных до минимальных значений.

Содержания нормированы по PAAS (Nance and Taylor, 1976)

Корреляционный анализ состава каждой отдельной толщи позволяет не только выявить, но и подробнее раскрыть существующие связи (Табл. 9-12). Для ательских отложений характерна ассоциация основных оксидов ( $MgO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$ ) с основными металлами и ассоциация всех оксидов, кроме  $Fe_2O_3$ , с РЗЭ. Особняком стоят As, Mo и Sn, которые не имеют сильной положительной или отрицательной корреляции с чем-либо.









Хвалынские отложения разительно отличаются: выделяется большая группа компонентов, имеющих положительную связь (оксиды MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, металлы и РЗЭ), и группа, включающая только Na<sub>2</sub>O и K<sub>2</sub>O. Не имеют статистических закономерностей распределения As, Zr, Mo, Ba, Hf, U.

Табл. 13. Среднее содержание компонентов в осадках разных толщ.

	ательские		хвалынские		мангышлакские		новокаспийские	
	Сред. ариф.	Ст.откл.	Сред. ариф.	Ст.откл.	Сред. ариф.	Ст.откл.	Сред. ариф.	Ст.откл.
Na <sub>2</sub> O	1.51	0.24	1.68	0.22	1.44	0.18	1.25	0.49
MgO	2.45	0.55	1.59	0.80	1.31	0.88	0.69	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.42	2.15	8.32	2.53	7.71	2.88	5.42	2.49
K <sub>2</sub> O	2.15	0.26	1.77	0.34	1.64	0.40	1.28	0.53
TiO <sub>2</sub>	0.56	0.12	0.40	0.14	0.35	0.17	0.20	0.09
MnO	0.07	0.02	0.06	0.03	0.05	0.03	0.03	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.71	1.27	2.77	1.49	2.74	1.77	1.50	0.68
Li	40.64	10.71	24.50	15.74	22.13	15.81	11.15	4.82
Be	1.77	0.37	1.16	0.42	1.05	0.41	0.70	0.26
Sc	10.29	2.68	6.41	3.14	5.84	3.55	3.20	1.21
V	97.80	26.21	57.43	30.68	52.57	29.25	29.42	14.69
Cr	77.57	18.28	50.22	19.50	62.33	10.41	27.31	13.45
Co	11.86	3.70	8.16	4.38	8.02	5.07	4.57	1.07
Ni	57.34	13.81	39.59	21.24	48.10	16.77	21.53	7.20
Cu	33.06	8.69	18.68	10.13	18.47	8.76	10.18	3.69
Zn	72.50	17.91	44.77	21.92	45.57	25.58	25.02	8.41
Ga	12.29	2.56	8.40	2.97	7.76	3.19	5.14	1.89
As	5.36	2.97	5.90	4.65	6.46	4.29	5.32	3.05
Rb	117.01	20.66	81.87	25.73	73.70	26.79	48.35	23.74
Y	15.69	5.33	10.71	3.08	9.36	3.35	6.33	1.22
Zr	180.47	41.88	145.77	43.15	126.80	31.00	70.31	36.67
Nb	11.67	2.52	7.70	2.89	7.44	2.83	3.64	1.49
Mo	0.91	0.72	1.13	0.63	0.99	0.27	0.60	0.35
Cd	0.22	0.07	0.16	0.09	0.13	0.08	0.08	0.01
Sn	3.39	2.41	1.51	0.77	1.20	0.64	0.72	0.25
Sb	0.70	0.19	0.56	0.19	0.48	0.20	0.32	0.09
Cs	3.01	0.80	1.69	1.19	1.49	1.10	0.72	0.34
Ba	497.09	114.64	440.04	61.18	467.53	186.47	367.67	74.69
La	27.61	7.26	17.52	7.20	15.01	7.97	8.50	2.39
Ce	60.38	12.54	42.85	11.37	38.03	12.79	22.77	9.07
Pr	5.07	1.06	3.65	0.95	3.11	1.06	2.08	0.59
Nd	24.43	5.30	17.66	4.61	15.33	5.29	10.17	2.68
Sm	4.57	1.04	3.31	0.88	2.85	1.00	1.94	0.48
Eu	0.91	0.19	0.69	0.16	0.63	0.19	0.45	0.10
Gd	3.57	0.82	2.62	0.67	2.30	0.77	1.59	0.39
Tb	0.53	0.12	0.39	0.10	0.34	0.12	0.23	0.06
Dy	2.90	0.67	2.12	0.57	1.92	0.65	1.27	0.26
Ho	0.53	0.12	0.39	0.10	0.35	0.13	0.23	0.05
Er	1.54	0.36	1.13	0.30	1.01	0.37	0.66	0.14
Tm	0.22	0.05	0.16	0.04	0.15	0.05	0.10	0.02
Yb	1.42	0.32	1.04	0.27	0.94	0.34	0.62	0.14
Lu	0.23	0.05	0.17	0.04	0.15	0.05	0.10	0.03
Hf	3.61	0.85	2.93	0.86	2.45	0.68	1.41	0.61
Ta	0.98	0.23	0.66	0.28	0.57	0.29	0.26	0.10
W	1.34	0.34	1.17	0.58	0.91	0.44	0.79	0.50
Tl	0.45	0.08	0.31	0.09	0.27	0.10	0.27	0.10
Pb	15.06	2.99	11.33	3.12	9.85	3.27	7.44	1.63
Bi	0.22	0.06	0.12	0.08	0.10	0.07	0.05	0.01
Th	6.41	1.39	4.30	1.47	3.50	1.71	1.97	0.66
U	2.17	1.85	1.70	1.22	1.20	0.78	0.72	0.08

Выборка мангышлакских отложений не слишком большая, однако тоже позволяет сделать некоторые выводы. Все компоненты образуют единую ассоциацию, кроме бария, который, ко всему прочему, имеет устойчивую отрицательную корреляцию с Cr, Nb и Mo.

В новокаспийских отложениях наиболее явно выделяются две ассоциации: 1 – As, Mo, U, 2 – остальные компоненты.

В целом необходимо отметить общий тренд на понижение концентраций описанных элементов от более древних осадков к молодым (Табл. 13).

#### *Связь с гранулометрией и содержанием органики*

Для лучшей интерпретации данных отдельно были проанализированы данные по скважине ШКВК123, для которой, помимо ЛА-ИСП-МС, есть информация по гранулометрическому составу

тех же проб, потери при прокаливании (ППП) и несколько важных элементов, определенных с помощью РФА.

Отношение основных оксидов к медианному размеру имеет в целом похожий характер почти для всех элементов (Рис. 51). Прослеживается тренд к уменьшению их содержания с увеличением размерности. Только оксида кремния с увеличением размерности зерен становится больше, что характерно для кварцевой составляющей в песчаной фракции.

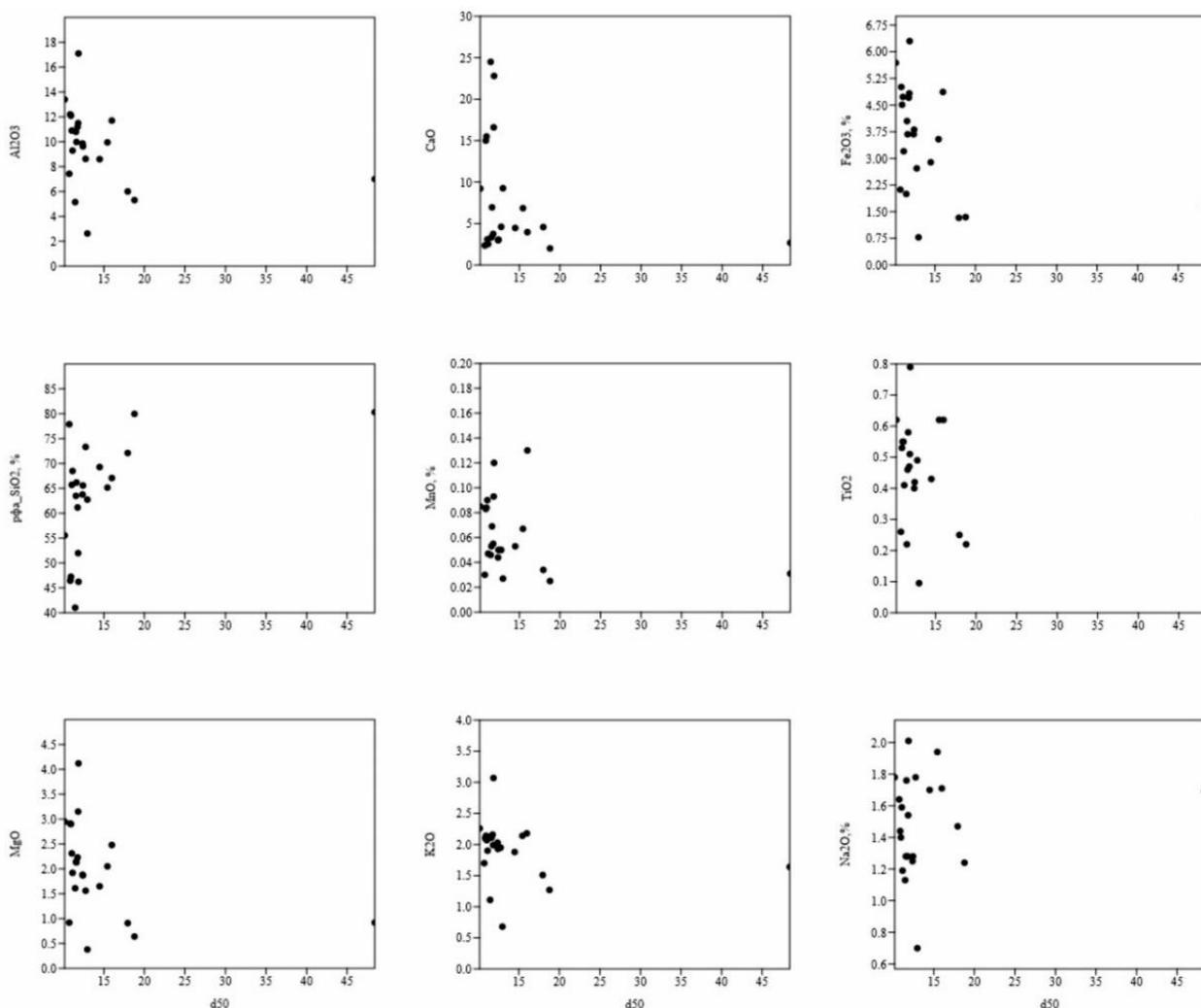


Рис. 51. Отношение содержаний основных оксидов к медианной размерности зерен.

Для статистического анализа к ЛА-ИСП-МС добавлены содержания  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  (РФА), органики и карбонатов (ППП) и гранулометрических фракций <0.005, 0.005-0.01, 0.01-0.05, 0.05-0.125, 0.125-0.25, 0.25-0.5 мм. Корреляционная матрица и кластерный анализ показали влияние этих компонентов на геохимический состав (Табл. 14, Рис. 52).



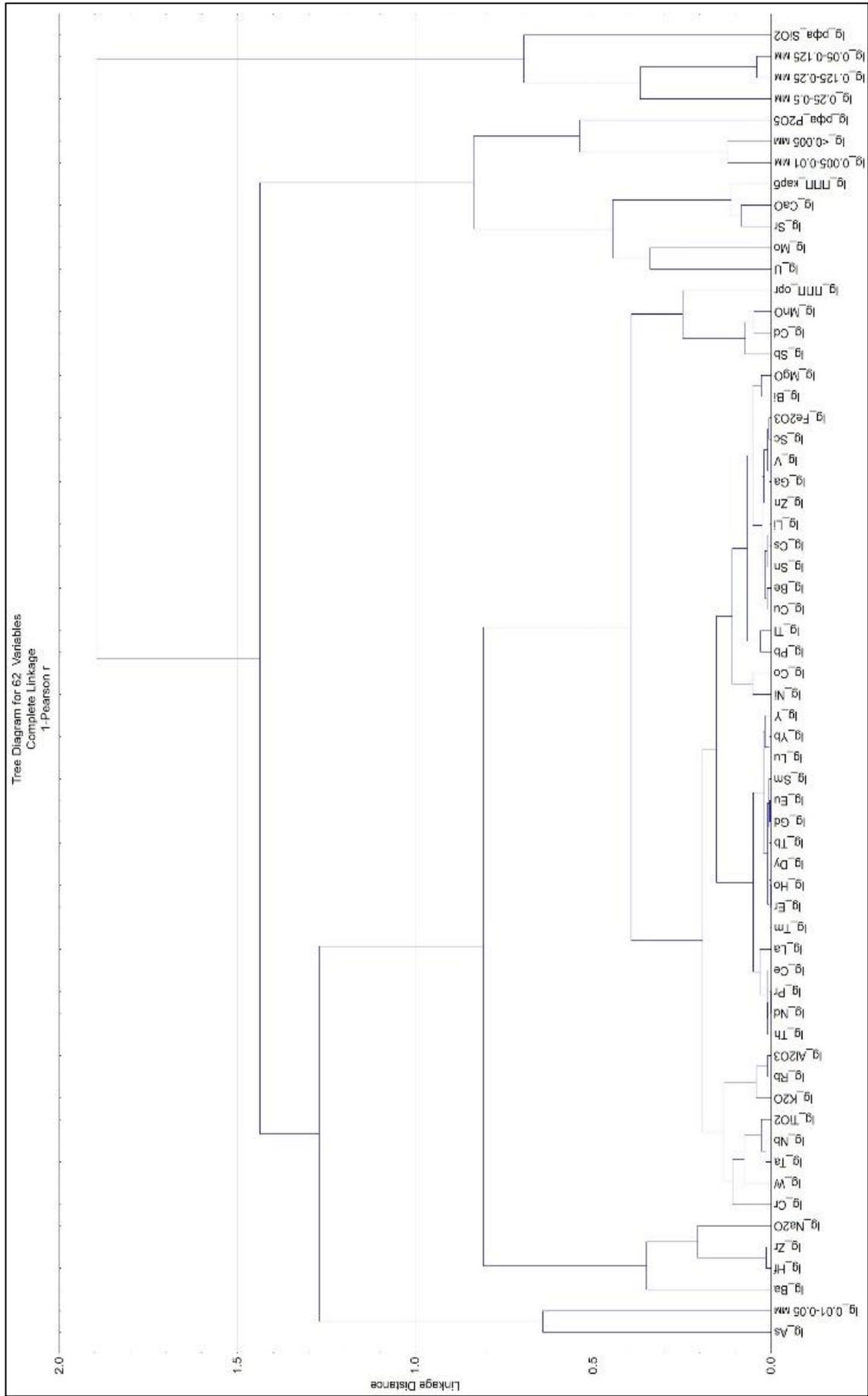


Рис. 52. Результат кластерного анализа результатов ЛА-ИСП-МС, РФА, ППП и granulometriи по скважине KOR-3

Во-первых, явно прослеживается влияние содержания органического вещества: отмечается высокая корреляция с содержаниями оксидов Mg, Al, K, Ti, Mn, Fe, а также большинства металлов и редкоземельных элементов. Во-вторых, содержание глинистых частиц имеет высокую корреляцию с оксидом P и, чуть в меньшей степени с органикой и коррелятными ей оксидами и РЗЭ. Содержание песчаной фракции имеет значимые положительные корреляции с содержанием кремния и отрицательные также с органикой и коррелятными ей оксидами и РЗЭ. Вдобавок кремний имеет отрицательную корреляцию с отвечающими детриту CaO и Sr.

### ***5.1.1. Сравнение с современными осадками***

Для сравнения с современными осадками были использованы результаты, полученные А.В. Масловым и коллегами (2016). Состав осадков дельты и нескольких проб из центральной и западной частей Северного Каспия был сопоставлен с результатами автора диссертационного исследования путем построения диаграммы кластерного анализа (Рис. 53).

Как можно заметить, выделяется несколько основных кластеров. Первый разительно отличается от других и формируется вокруг проб современных осадков дельты Волги. К этому же кластеру относятся ательские отложения, которые богаты органикой и раковинным детритом. Второй кластер весьма сложно разбить на части, тем не менее, заметны две группы, которые формируются вокруг современных осадков акватории и осадков у устья р. Терек, соответственно.

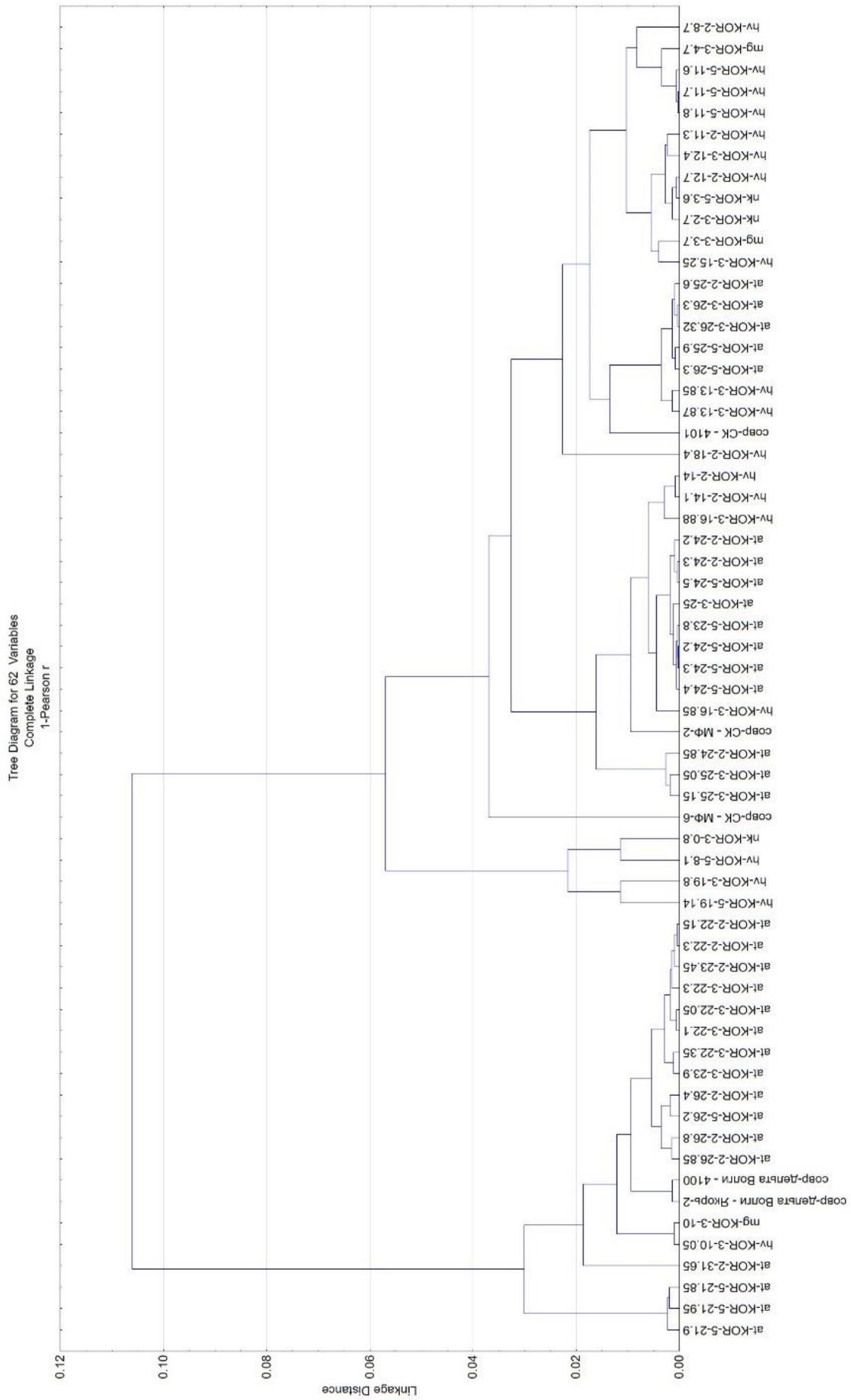


Рис. 53. Результаты кластерного анализа по пробам

### 5.1.2. Химический состав питающих провинций

В современном Северном Каспии главными источниками кластического материала являются цоколь Восточно-Европейской платформы и Урал. Соотношения Zr/Sc и Th/Sc (Рис. 54) позволяют сравнить состав «геохимических образцов» питающих провинций, предложенных А.В. Масловым и соавторами (2016) с современными осадками дельты Волги и Северного Каспия и с отложениями ательского, хвалынского, мангышлакского и новокаспийского времени. А.В. Маслов и соавторы (2016) показали, что на диаграмме Zr/Sc-Th/Sc точки современных осадков удалены от точек архейских гранитов. Примерно такое же положение на диаграмме занимают и проанализированные диссертантом отложения. Ательские больше тяготеют к современным дельтовым, а остальные – растягиваются по оси абсцисс вплоть до современных северокаспийских осадков. Как и в случае с современными осадками, про изученные отложения можно сказать, что основной питающей провинцией на протяжении всего позднечетвертичного времени была Волга. Помимо этого, необходимо отметить, что согласно тренду распределения точек на графике отложения формировались за счет рециклинга, а не размыва исходных пород.

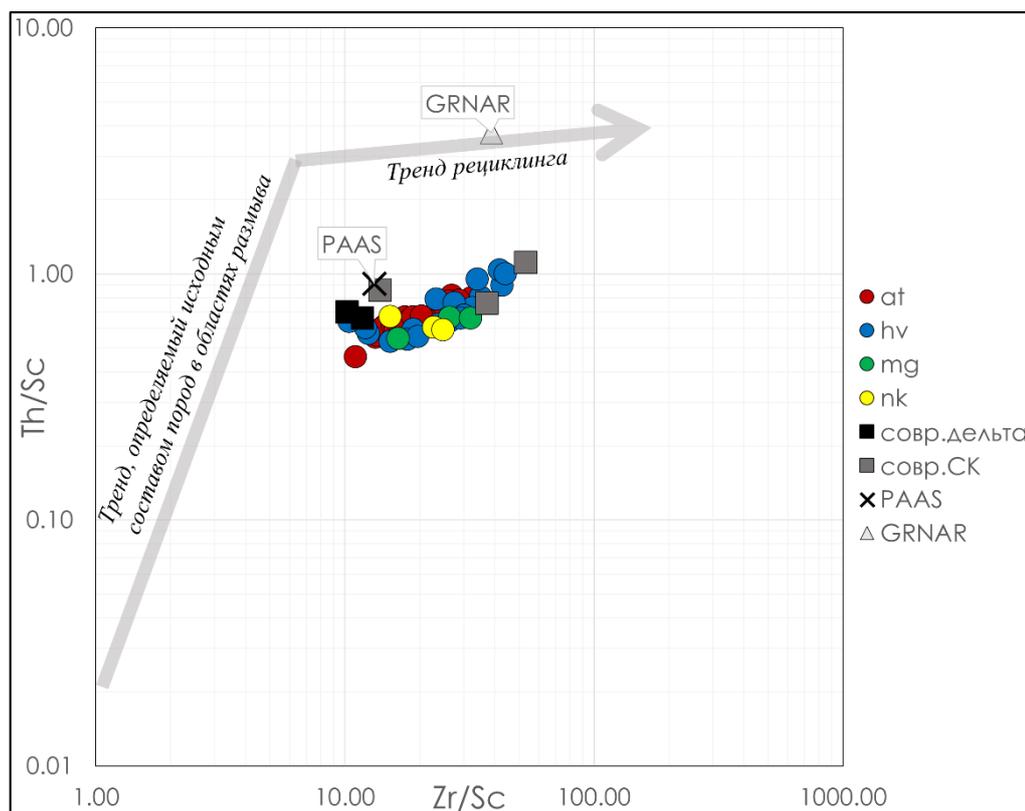


Рис. 54. Диаграмма Zr/Sc-Th/Sc и положение на ней точек геохимических образцов питающих провинций, современных волжских дельтовых и северокаспийских осадков и серии верхнеплейстоцен-голоценовых отложений.

Сходство всех точек (в особенности современных дельтовых) со стандартом PAAS, который схож по составу элементов с осадочными породами, формирующими твердый сток Волги, позволяет говорить о неизменно определяющем вкладе именно Волги в геохимический состав северокаспийских отложений с ательского времени и до современности. Тем не менее выделяется явный тренд на изменение положения точек ательских и хвалынских отложений, который может говорить о вариациях в источнике сноса от времени накопления верхней части ательских отложений до первой половины накопления хвалынских. Возможно, эта вариация характеризует изменения в стоке непосредственно внутри волжского бассейна (к примеру, менялось соотношения вклада в сток Верхневолжской и Камской частей бассейна).

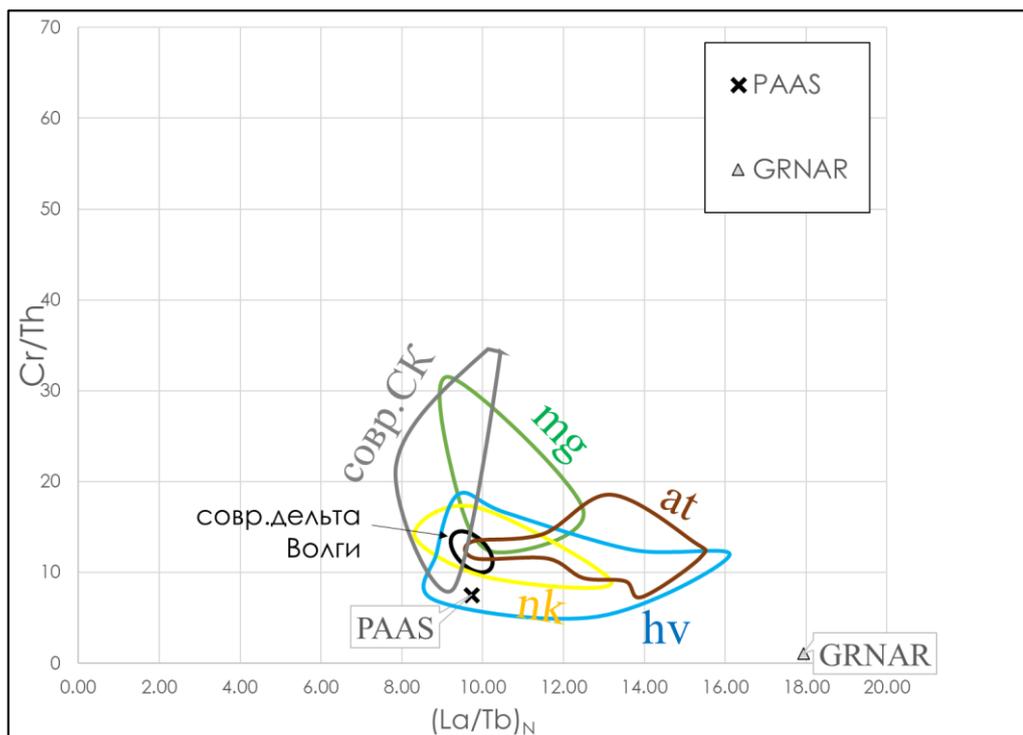


Рис. 51. Распределение ательских, хвалынских, мангышлакских, новокаспийских отложений и современных осадков Северного Каспия и дельты р. Волги на диаграмме  $(La/Yb)_N - Cr/Th$ .

Похожая картина наблюдается и на диаграмме  $(La/Yb)_N - Cr/Th$  (Рис. 55). Здесь также на графике образуется «нос» по оси абсцисс из точек ательских, хвалынских и, в меньшей степени, новокаспийских отложений. В то же время современные осадки Северного Каспия и мангышлакские отложения имеют тренд распределения по оси ординат. Это также позволяет сказать о том, что привнос материала в Северный Каспий во время заполнения мангышлакских врезов был больше схож с современным, чем в максимум новокаспийской трансгрессии, отложения которой больше схожи с ательскими и хвалынскими.

### 5.1.3. Геохимические коэффициенты и показатели

Для дополнительной характеристики отложений, вскрытых в скважинах в районе 3, были применены несколько геохимических коэффициентов, которые могут быть применимы к терригенным отложениям региона. Fe/K, Fe/Ti (Blanchet et al., 2009) и K/Al (Spofforth et al., 2008) могут отражать смену минералогических провинций и состава терригенной составляющей отложений (Рис. 56).

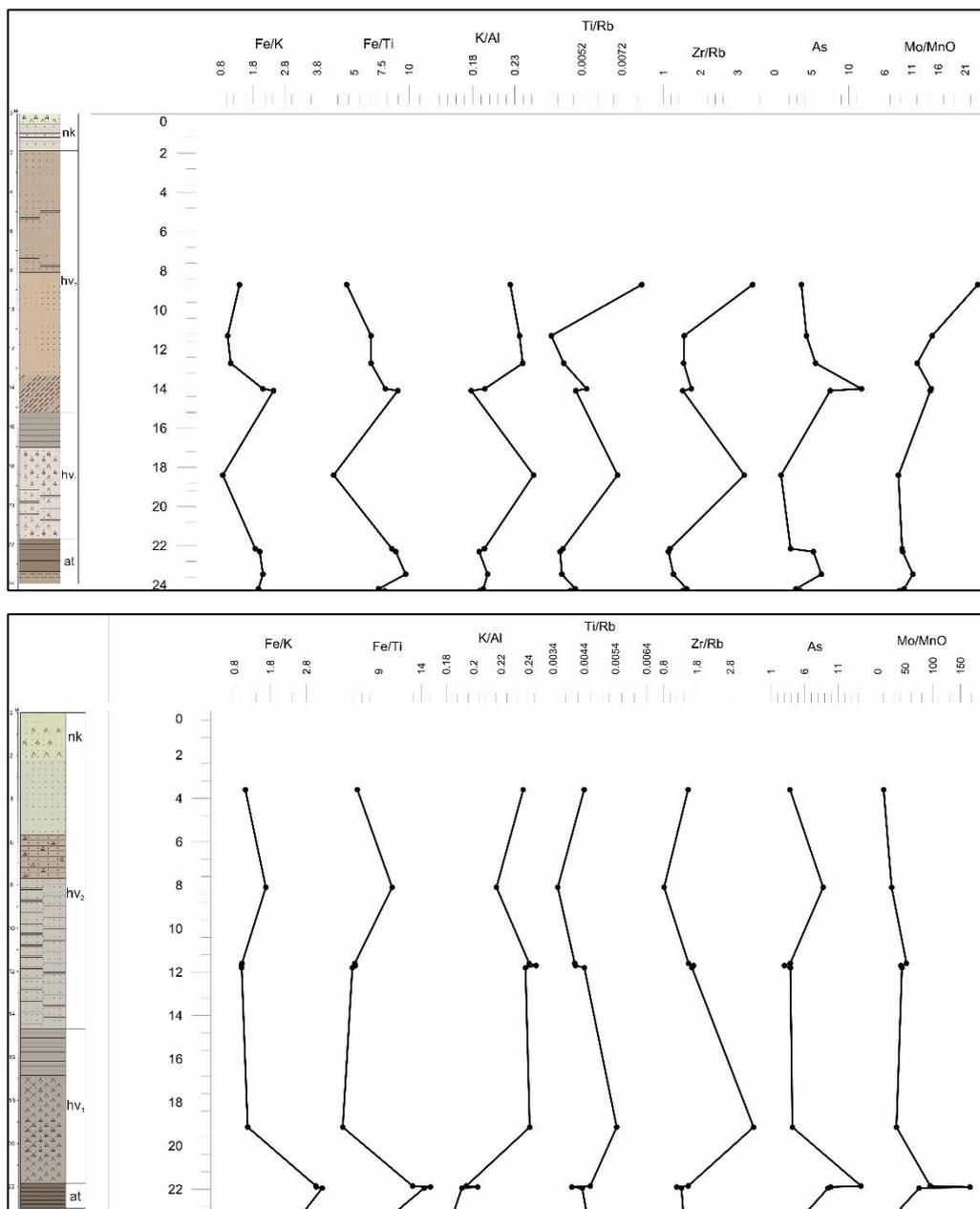


Рис. 56. Геохимические коэффициенты в скважинах SHKBK122 (вверху), SHKBK125 (внизу).

Обращает на себя внимание явное изменение питающей провинции в средней части хвалынской толщи. Схожие показатели коэффициентов отмечены и в средней части

ательских отложений. В то же время верхняя часть ательских и нижняя часть хвалынских отложений имеют примерно одинаковые коэффициенты с верхней частью хвалынских, мангышлакскими и новокаспийскими отложениями.

Соотношения Ti/Rb и Zr/Rb (Rothwell et al., 2006) показывают возрастание содержания минералов тяжелой фракции в отложениях, хотя в целом изменения этих коэффициентов невелики. Пожалуй, можно отметить только их снижение в ательской толще.

Содержание мышьяка также является важным геохимическим показателем. Его повышенные концентрации характеризуют присутствие пирита в отложениях. Он появляется локально в разных частях хвалынских отложений в скважинах SHKBK12. Схожее распределение по разрезу имеет соотношение Mo/MnO.

В целом отметим, что геохимические данные предпочтительно использовать вместе с минералогией и малакофаунистическими результатами. Поскольку изучаемые отложения в регионе имеют сложную историю осадконакопления, слишком много факторов могло влиять на тот или иной геохимический показатель или индикатор.

## 5.2. Гранулометрический состав отложений

Состав отложения был определен методом лазерной дифрактометрии на анализаторе «Ласка» по скважине SHKBK123.

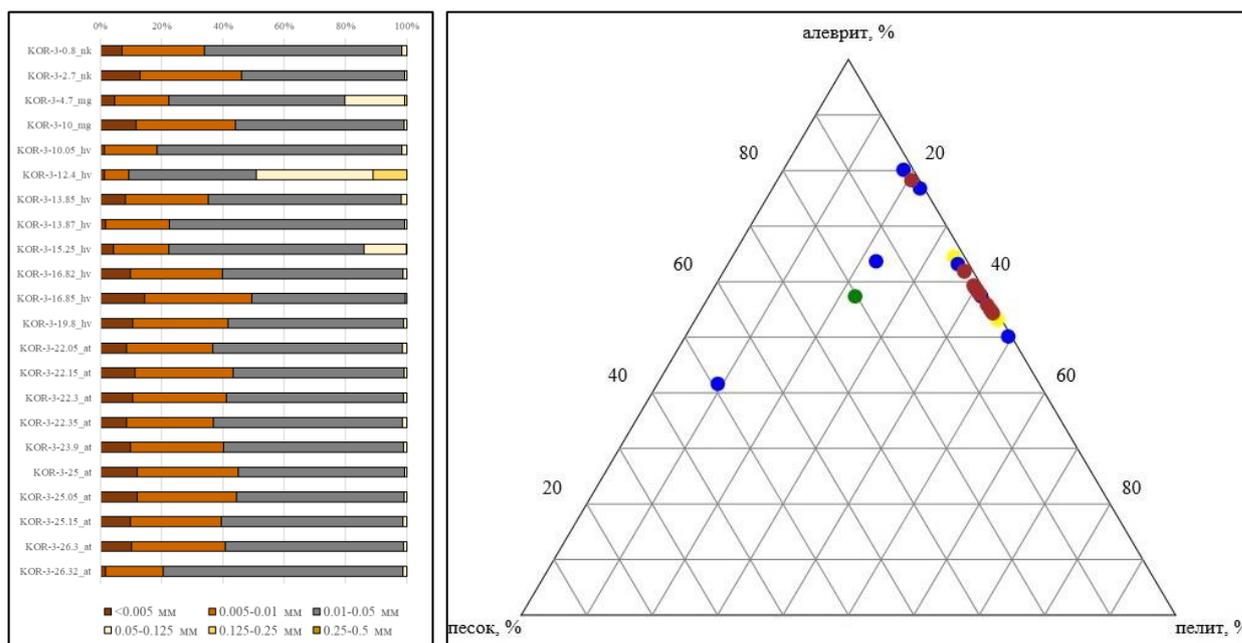


Рис. 57. Гранулометрический состав отложения из скважины SHKBK123 на накопительной (слева) и треугольной (справа) диаграммах.

Как видно, отложения, вскрытые скважиной, не отличаются разнообразием (Рис. 57) — преобладает алевритовая фракция, относительно постоянно содержание пелитовой составляющей, песчаная примесь достигает 3%. Гранулометрически неоднородны лишь мангышлакские и верхняя часть хвалынских отложений. В нескольких образцах среди них отмечается сильное опесчанивание (до 50%), в одном появляется даже среднезернистый песок.

К наиболее мелкодисперсным отложениям относятся верхняя часть ательских и нижняя часть хвалынских. Наиболее однородной по составу является нижняя часть ательской толщи, почти полностью состоящая из алеврита.

Интерес представляют графики соотношения разных фракций в образцах. Отношение содержания песка к алевриту (Рис. 54) имеет два разных тренда: в одном случае увеличение алевритовой фракции ведет к слабому росту песчаной составляющей, в другом (всего в нескольких образцах ательских, хвалынских и мангышлакских отложений) сопровождается, наоборот, уменьшением концентрации песка. Причем второй тренд характерен либо для существенно опесчаненных отложений, либо практически полностью алевритовых (>96%).

Схожая картина наблюдается и на графике соотношения пелита и алеврита (Рис. 58). Выделяется четкая закономерность уменьшения пелитовой составляющей при повышении концентрации алеврита. И только три сильно опесчаненных образца (хвалынские и мангышлакские), относящихся ко второму тренду на графике песок-аледрит, имеют обратную зависимость. В них существенное увеличение алевритистой составляющей сопровождается увеличением пелитовой фракции.

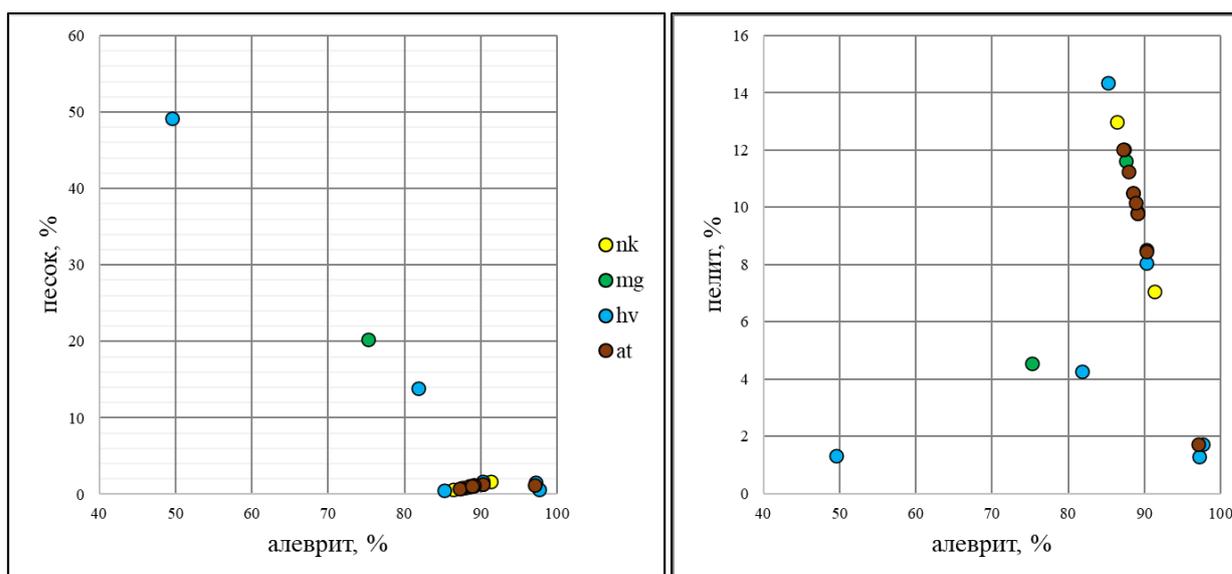


Рис. 58. Графики соотношения алевритовой фракции с песчаной (слева) и пелитовой (справа) фракциями в образцах скважины SHKVK123.

Такой же характер соотношения наблюдается и между двумя более дробными фракциями алеврита (Рис. 59).

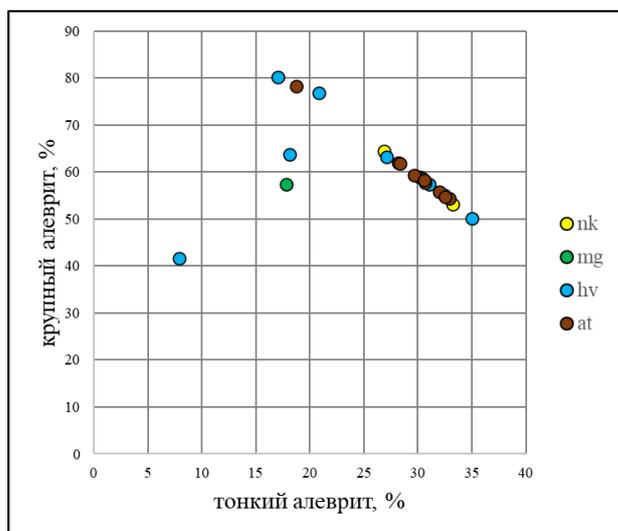


Рис. 59. Графики соотношения фракций тонкого и крупного алеврита в образцах скважины SHKBK123.

гранулометрический облик может говорить либо о принципиально разных гидродинамических условиях осадконакопления, либо об активизации процессов, которые вымывали пелитовую и тонкоалевритовую фракции в отложениях второй группы в придонном слое.

Это позволяет выделить две группы отложений: в первой уменьшение песчаной составляющей будет сопровождаться ростом содержания алеврита (достаточно равномерно обеих подфракций) и пелита; вторая группа с увеличением песчаной составляющей (хоть и в целом небольшой) будет накапливать больше алеврита и меньше пелита. При этом во второй группе при этом будет расти не тонкая, но крупноалевритовая составляющая. Такой

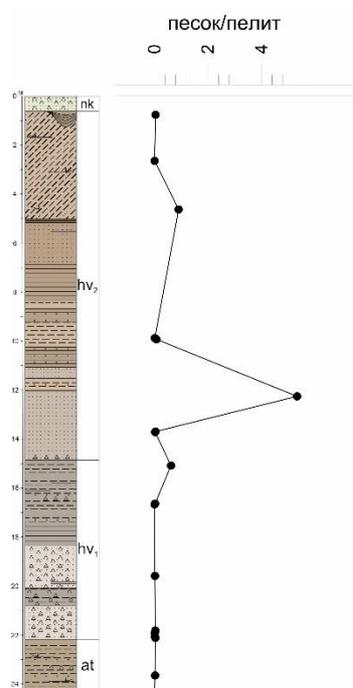


Рис. 60. Соотношение песок/пелит по скважине SHKBK123

Соотношение песок/пелит, рассмотренное по скважине SHKBK123 (Рис. 60) позволяет выделить лишь один слой верхнехвалынских отложений, где баланс принципиально нарушается в сторону увеличения содержания песка. В остальном соотношение относительно выдержано.

### 5.3. Состав глинистых минералов

Содержание минералов выявлялись при помощи метода П. Бискайе (Biscaye, 1965). В составе глинистых минералов отложений были определены следующие составляющие: иллит и гидрослюда (далее для простоты обозначения упоминается как «иллит»), смектит и смешаннослойные (далее для простоты обозначения упоминается как «смектит»), каолинит и хлорит.

В первую очередь, при анализе содержания глинистых минералов была попытка предпринята установить их связь с

содержанием пелитовой фракции на примере скважины SHKBK123. Поскольку существуют неоднократные свидетельства влияния гидравлической крупности на соотношения минералов (Chamley, 1989), была посчитана корреляция концентрации пелита с четырьмя определенными минералами и их соотношениями (Табл. 15). Ни одна из компонент значимой корреляции с гранулометрическим составом не имеет, что позволяет говорить об отсутствии влияния крупности на состав глинистых минералов.

Таблица. 15. Корреляционная матрица определенных глинистых минералов, их соотношений и пелитовой фракции.

	иллит, %	хлорит, %	каолинит, %	смектит + СС, %	И/Chl	И/Sm	Chl/Kl	(И+Chl)/Sm	пелит, %
иллит, %	1.00	0.51	0.54	-0.88	-0.39	0.94	-0.15	0.91	0.23
хлорит, %	0.51	1.00	0.88	-0.83	-0.95	0.71	0.03	0.77	0.28
каолинит, %	0.54	0.88	1.00	-0.86	-0.85	0.73	-0.43	0.77	0.45
смектит + СС, %	-0.88	-0.83	-0.86	1.00	0.74	-0.96	0.23	-0.97	-0.37
И/Chl	-0.39	-0.95	-0.85	0.74	1.00	-0.57	-0.02	-0.63	-0.24
И/Sm	0.94	0.71	0.73	-0.96	-0.57	1.00	-0.19	1.00	0.32
Chl/Kl	-0.15	0.03	-0.43	0.23	-0.02	-0.19	1.00	-0.17	-0.45
(И+Chl)/Sm	0.91	0.77	0.77	-0.97	-0.63	1.00	-0.17	1.00	0.32
пелит, %	0.23	0.28	0.45	-0.37	-0.24	0.32	-0.45	0.32	1.00

Соискателем рассмотрено распределение каждого из определенных минералов во всех исследуемых толщах. Для каждого минерала были посчитаны основные статистические показатели (среднее арифметическое, среднее геометрическое, медиана, мода, минимум, максимум, квантили и стандартное отклонение) (Табл. 16). Отметим, что существенных различий в составе глинистых минералов не наблюдается (за исключением нескольких проб), однако некоторые тенденции их распределения все же удается проследить.

Содержание *иллита* во всех толщах имеет примерно одинаковый порядок (Рис. 61). В ательских отложениях среднее арифметическое составляет 49.1 % с небольшим отклонением 5.4 %. Распределение содержаний в пробах близко к нормальному. Хвалынские отложения по содержанию иллита отличаются. Среднее содержание в них ниже, 41.8%, однако разброс значений значительно шире – от первых процентов до 74 %. Тем не менее наибольшая плотность дисперсии находится в диапазоне, который ниже, чем в ательских отложениях. Следующие две толщи имеют меньшую выборку, поэтому говорить о содержаниях в них сложнее. Мангышлакские отложения по процентному

содержанию иллита больше схожи с ательскими. Среднее содержание чуть больше 50%, но максимум почти на 10% выше, чем в ательских. Новокаспийские отложения, в свою очередь, больше похожи на хвалынские: практически с точностью до процента совпадают среднее арифметическое и 1 и 3 квартили. Хотя, конечно, большая выборка позволила бы яснее понять диапазон содержаний в этих отложениях.

Обратная картина характерна для распределения *смектита* по изучаемым отложениям (Рис. 61). В ательских и мангышлакских отложениях среднее содержание смектита примерно одинаково (32-35 %), схож и диапазон разброса проб. Однако в мангышлакских небольшая выборка, которая, видимо, как раз из-за этого бимодальная. В хвалынских и новокаспийских отложениях смектит ведет себя весьма схожим образом. Его больше, чем в ательских и мангышлакских отложениях (среднее 38-39 %), но и разброс значений больше, максимальные и минимальные значения их так же превосходят.

И если, как мы видим, распределение иллита и смектита имеет между собой довольно высокую обратную зависимость, то распространение каолинита и хлорита в разновозрастных отложениях имеет другие закономерности.

Средние содержания *каолинита* во всех отложениях не превышают 11 % (Рис. 61). Ательские и мангышлакские отложения имеют наименьший разброс значений в пробах, при этом среднее в ательских наибольшее (10.7 %) среди всех, а в мангышлакских – наименьшее (5.7 %). Средние содержания в хвалынских и новокаспийских отложениях идентичны, но распределение каолинита в них скорее логнормальное, поэтому для лучшего их сравнения необходимо обратить внимание на среднее геометрическое значение, которое совпадает. Именно такой характер распределения в этих отложениях обуславливает заметные единичные аномальные максимальные значения, достигающие почти 80 % в хвалынских и почти 50 % в новокаспийских отложениях.

*Хлорит* же, как и смектит, имеет большие средние концентрации в хвалынских и новокаспийских отложениях (Рис. 61). При этом в мангышлакских и ательских еще и меньший разброс значений, которые не превышают 13%. В хвалынских и новокаспийских отложениях распределение хлорита, как и каолинита, ближе к логнормальному. Есть несколько аномальных максимальных значений, которые в хвалыни достигают 40 %, а в новокаспии – 20 %. При этом, стоит добавить, что хвалынские отложения по содержанию хлорита разбиваются на две группы с модами в ~10 % и ~25 %. Изначально соискателем было выдвинуто предположение, что так группируются ниже- и верхнехвалынские отложения, которые, к слову, не во всех изученных разрезах ясно разделяются, однако построение сравнительного графика (Рис. 62) показало, что принцип распределения хлорита имеет иной характер.

Таблица 16. Статистические параметры содержания основных глинистых минералов в ательских, хвалынских, мангышлакских и новокаспийских отложениях.

Голща	Минерал	Число проб	Ср.ариф.	Ср.геом.	Медиана	Мода	Мин.	Макс.	Q1	Q3	Ст.отклон.
at	иллит, %	31	49.1	48.8	48.5	неск.	36.0	58.5	45.5	52.5	5.4
	хлорит, %	31	8.1	7.9	7.5	7.5	5.5	12.5	6.5	8.5	1.7
	каолинит, %	31	10.7	10.5	10.5	10.5	7.5	15.5	9.5	11.5	1.9
	смектит, %	31	32.0	31.3	31.5	29.5	19.5	48.0	27.5	37.5	6.7
hv	иллит, %	119	41.8	40.5	40.5	неск.	11.0	74.0	35.5	47.5	9.6
	хлорит, %	119	10.9	9.4	8.5	10	4.0	40.0	6.5	12.0	7.0
	каолинит, %	119	9.8	8.5	8.0	10	3.5	78.0	7.0	10.0	8.9
	смектит, %	119	38.0	34.7	39.0	неск.	6.0	62.0	30.5	49.0	13.0
mg	иллит, %	9	53.2	52.5	49.5	неск.	43.5	67.5	48.5	63.0	9.1
	хлорит, %	9	5.9	5.9	5.5	5.5	4.5	7.5	5.5	6.5	1.0
	каолинит, %	9	5.7	5.6	5.5	неск.	5.0	6.5	5.0	6.5	0.7
	смектит, %	9	35.1	33.6	40.0	неск.	18.5	45.5	24.5	40.5	10.1
nk	иллит, %	20	40.9	39.8	39.5	неск.	25.0	61.0	35.0	48.0	9.6
	хлорит, %	20	9.5	8.4	7.0	неск.	5.0	20.0	5.5	11.0	5.1
	каолинит, %	20	10.5	9.0	8.0	7	5.0	45.0	7.0	10.0	8.6
	смектит, %	20	39.2	35.7	43.5	неск.	7.0	60.0	29.0	50.0	14.2

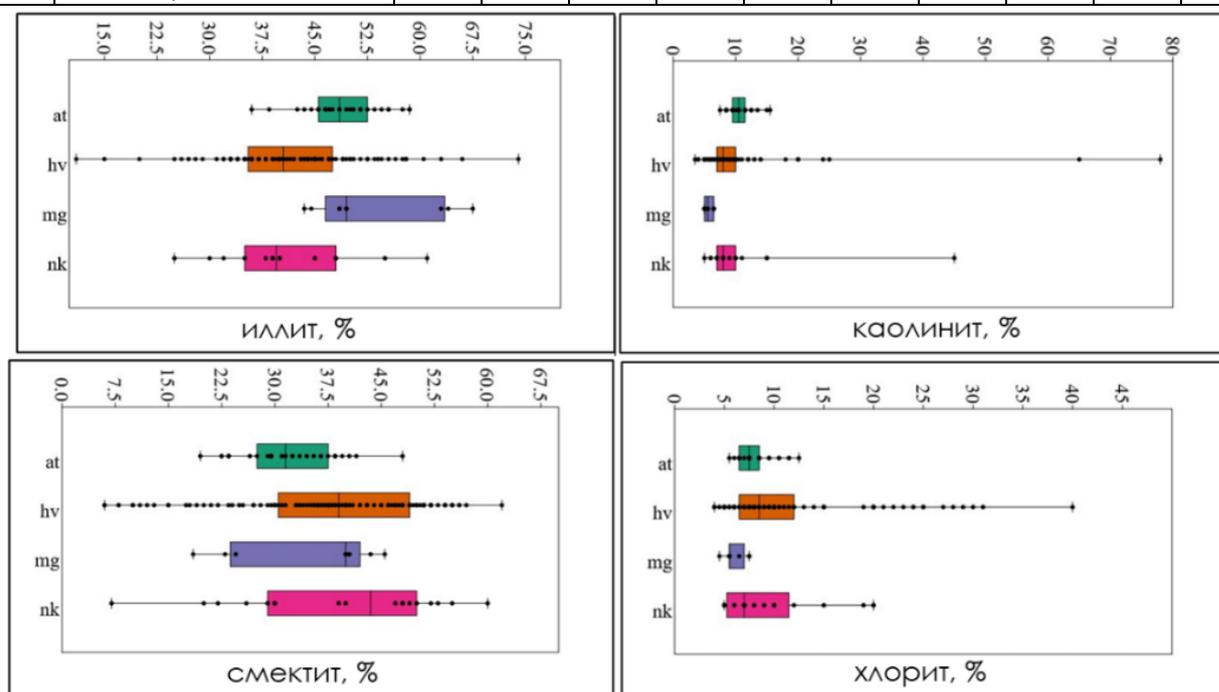


Рис. 61. Графики типа «ящик с усами» содержания иллита, каолинита, смектита и хлорита в ательских, хвалынских, мангышлакских и новокаспийских отложениях

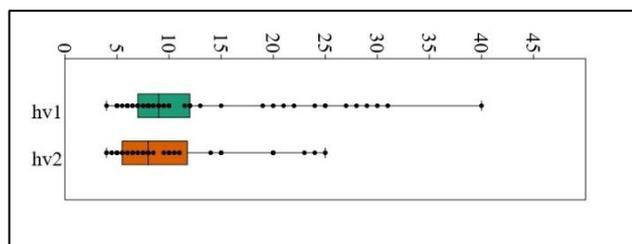


Рис. 62. График типа «ящик с усами» содержания хлорита в нижне и верхнехвалынских отложениях

Для понимания взаимоотношения содержаний минералов внутри каждой толщи был проведен корреляционный анализ для самих минералов и их соотношений.

В ательской толще (Табл. 17) стоит обратить внимание на сильную отрицательную корреляцию смектита с иллитом (-0.86) и, в меньшей степени, хлоритом (0.7). Помимо этого, прослеживается отрицательная связь между хлоритом и соотношением смектита и каолинита. Остальные значимые корреляции соответствуют минералам и их коэффициентам соотношения, и не несут информативного значения.

Таблица 17. Корреляционная матрица для глинистых минералов и их соотношений в ательских отложениях.

	<b>И</b>	<b>Chl</b>	<b>Kl</b>	<b>Sm</b>	<b>И/Chl</b>	<b>И/Sm</b>	<b>(И+Chl)/Sm</b>	<b>Chl/Kl</b>	<b>И/Kl</b>	<b>Sm/Kl</b>
<b>И</b>	1.00	0.34	-0.02	-0.86	0.22	0.94	-0.91	0.42	0.56	-0.56
<b>Chl</b>	0.34	1.00	0.58	-0.70	-0.84	0.59	-0.59	0.60	-0.30	-0.77
<b>Kl</b>	-0.02	0.58	1.00	-0.39	-0.62	0.26	-0.32	-0.30	-0.84	-0.79
<b>Sm</b>	-0.86	-0.70	-0.39	1.00	0.23	-0.98	0.99	-0.43	-0.15	0.87
<b>И/Chl</b>	0.22	-0.84	-0.62	0.23	1.00	-0.07	0.09	-0.38	0.63	0.48
<b>И/Sm</b>	0.94	0.59	0.26	-0.98	-0.07	1.00	-0.99	0.44	0.30	-0.79
<b>(И+Chl)/Sm</b>	-0.91	-0.59	-0.32	0.99	0.09	-0.99	1.00	-0.39	-0.24	0.83
<b>Chl/Kl</b>	0.42	0.60	-0.30	-0.43	-0.38	0.44	-0.39	1.00	0.48	-0.13
<b>И/Kl</b>	0.56	-0.30	-0.84	-0.15	0.63	0.30	-0.24	0.48	1.00	0.34
<b>Sm/Kl</b>	-0.56	-0.77	-0.79	0.87	0.48	-0.79	0.83	-0.13	0.34	1.00

В хвалынских отложениях значимых корреляций между содержаниями минералов, за исключением отрицательной между хлоритом и смектитом, нет (Табл. 18). Скорее всего, это говорит о том, что они имеют разные источники привноса, (хлорит в большей степени характерен для твердого стока р. Урал, а смектит — для Волги).

Таблица 18. Корреляционная матрица для глинистых минералов и их соотношений в хвалынских отложениях.

	И	Chl	Kl	Sm	И/Chl	И/Sm	(И+Chl)/Sm	Chl/Kl	И/Kl	Sm/Kl
И	1.00	0.14	-0.38	-0.35	0.34	0.68	-0.49	0.40	0.72	0.00
Chl	0.14	1.00	0.24	-0.64	-0.89	0.56	-0.45	0.69	-0.12	-0.56
Kl	-0.38	0.24	1.00	-0.31	-0.41	0.09	-0.22	-0.53	-0.92	-0.79
Sm	-0.35	-0.64	-0.31	1.00	0.45	-0.92	0.96	-0.33	0.08	0.83
И/Chl	0.34	-0.89	-0.41	0.45	1.00	-0.21	0.19	-0.47	0.45	0.53
И/Sm	0.68	0.56	0.09	-0.92	-0.21	1.00	-0.95	0.42	0.23	-0.65
(И+Chl)/Sm	-0.49	-0.45	-0.22	0.96	0.19	-0.95	1.00	-0.22	-0.05	0.75
Chl/Kl	0.40	0.69	-0.53	-0.33	-0.47	0.42	-0.22	1.00	0.57	0.10
И/Kl	0.72	-0.12	-0.92	0.08	0.45	0.23	-0.05	0.57	1.00	0.59
Sm/Kl	0.00	-0.56	-0.79	0.83	0.53	-0.65	0.75	0.10	0.59	1.00

Мангышлакские отложения (Табл. 19) отличаются от вышеописанных очень высокой положительной корреляцией иллита с хлоритом и отрицательной обоим минералов со смектитом. Это же вызывает достаточно заметную связь соотношений иллит/смектит и хлорит/каолинит.

Таблица 19. Корреляционная матрица для глинистых минералов и их соотношений в мангышлакских отложениях.

	И	Chl	Kl	Sm	И/Chl	И/Sm	(И+Chl)/Sm	Chl/Kl	И/Kl	Sm/Kl
И	1.00	0.93	0.34	-0.98	0.16	0.99	-0.98	0.77	0.76	-0.92
Chl	0.93	1.00	0.48	-0.94	-0.21	0.94	-0.93	0.74	0.59	-0.92
Kl	0.34	0.48	1.00	-0.44	-0.40	0.41	-0.43	-0.23	-0.36	-0.66
Sm	-0.98	-0.94	-0.44	1.00	-0.10	-1.00	1.00	-0.70	-0.67	0.97
И/Chl	0.16	-0.21	-0.40	-0.10	1.00	0.12	-0.11	0.07	0.43	0.03
И/Sm	0.99	0.94	0.41	-1.00	0.12	1.00	-1.00	0.73	0.70	-0.95
(И+Chl)/Sm	-0.98	-0.93	-0.43	1.00	-0.11	-1.00	1.00	-0.70	-0.68	0.96
Chl/Kl	0.77	0.74	-0.23	-0.70	0.07	0.73	-0.70	1.00	0.93	-0.52
И/Kl	0.76	0.59	-0.36	-0.67	0.43	0.70	-0.68	0.93	1.00	-0.46
Sm/Kl	-0.92	-0.92	-0.66	0.97	0.03	-0.95	0.96	-0.52	-0.46	1.00

Новокаспийские отложения (Табл. 20) отличаются высокой отрицательной корреляцией смектита и каолинита, остальные корреляции не значимы.

Таблица 20. Корреляционная матрица для глинистых минералов и их соотношений в новокаспийских отложениях.

	И	Chl	Kl	Sm	И/Chl	И/Sm	(И+Chl)/Sm	Chl/Kl	И/Kl	Sm/Kl
И	1.00	-0.13	0.23	-0.50	0.54	0.75	-0.60	-0.29	0.28	-0.38
Chl	-0.13	1.00	0.26	-0.31	-0.90	0.19	-0.10	0.61	-0.32	-0.29
Kl	0.23	0.26	1.00	-0.91	-0.12	0.78	-0.87	-0.60	-0.87	-0.97
Sm	-0.50	-0.31	-0.91	1.00	0.05	-0.95	0.97	0.48	0.65	0.98
И/Chl	0.54	-0.90	-0.12	0.05	1.00	0.16	-0.17	-0.65	0.39	0.09
И/Sm	0.75	0.19	0.78	-0.95	0.16	1.00	-0.97	-0.48	-0.39	-0.89
(И+Chl)/Sm	-0.60	-0.10	-0.87	0.97	-0.17	-0.97	1.00	0.63	0.56	0.95
Chl/Kl	-0.29	0.61	-0.60	0.48	-0.65	-0.48	0.63	1.00	0.45	0.55
И/Kl	0.28	-0.32	-0.87	0.65	0.39	-0.39	0.56	0.45	1.00	0.77
Sm/Kl	-0.38	-0.29	-0.97	0.98	0.09	-0.89	0.95	0.55	0.77	1.00

Рассмотрим более подробно соотношения всех определенных глинистых минералов между собой. Соотношение двух наиболее распространенных во всех толщах минералов иллита и смектита (Рис. 63) подтверждает их высокую негативную корреляцию. Как мы видим, ательские и мангышлакские отложения по соотношению этих двух минералов очень похожи, они плотно группируются практически в линию тренда. Более низкая корреляция этих минералов в хвалынских и новокаспийских отложениях объясняется отдельными «выбросами», которые, как мы видим на графике, тяготеют к оси абсцисс. Именно к этим пробам обычно приурочены повышенные значения хлорита или каолинита.

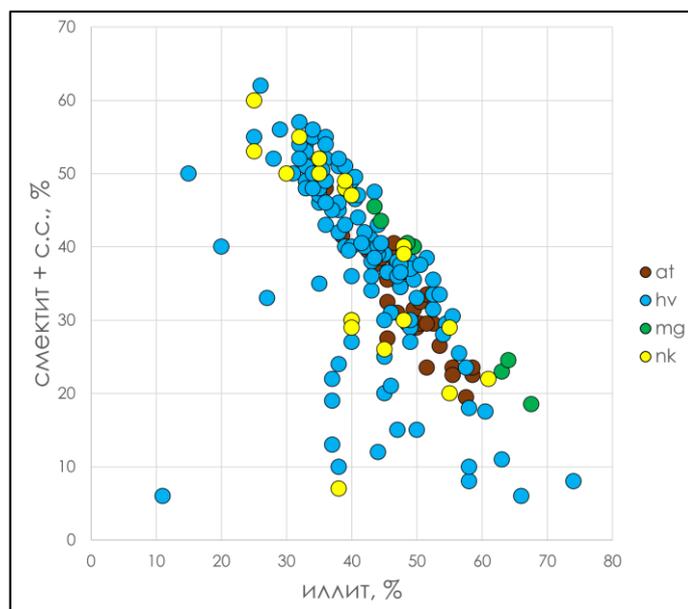


Рис. 63. Соотношение между собой содержаний иллита и смектита в разновозрастных отложениях

Иллит и хлорит имеют более хаотичную систему взаимосвязи (Рис. 64). Как мы видим, хвалынские и новокаспийские отложения занимают одно и то же

неориентированное положение на графике. Ательские отложения также не имеют выраженного характера распределения, но занимают несколько иное поле на графике (область с большим содержанием иллита). И только у мангышлакских отложений здесь прослеживается явный тренд положительной корреляции, пусть и при небольшой выборке.

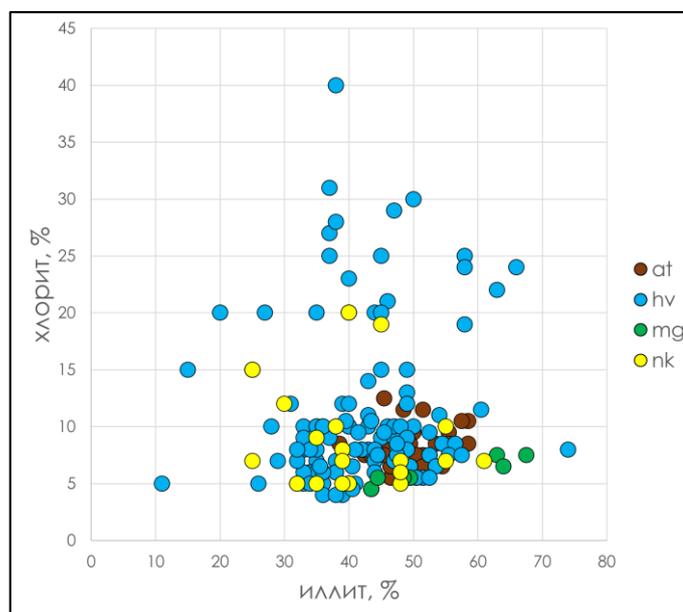


Рис. 64. Соотношение между собой содержаний иллита и хлорита.

Содержание иллита, по-видимому, никак не влияет на каолинит (за исключением нескольких проб) (Рис. 65), что выражается трендом распределения точек проб всех отложений, вытянутым параллельно оси абсцисс. Стремящиеся к нулю коэффициенты корреляции в вышеуказанных таблицах лишь подтверждают это.

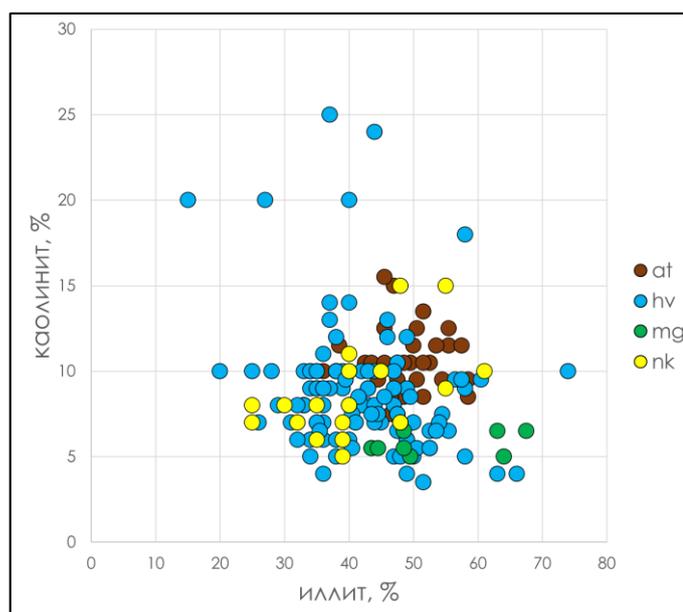
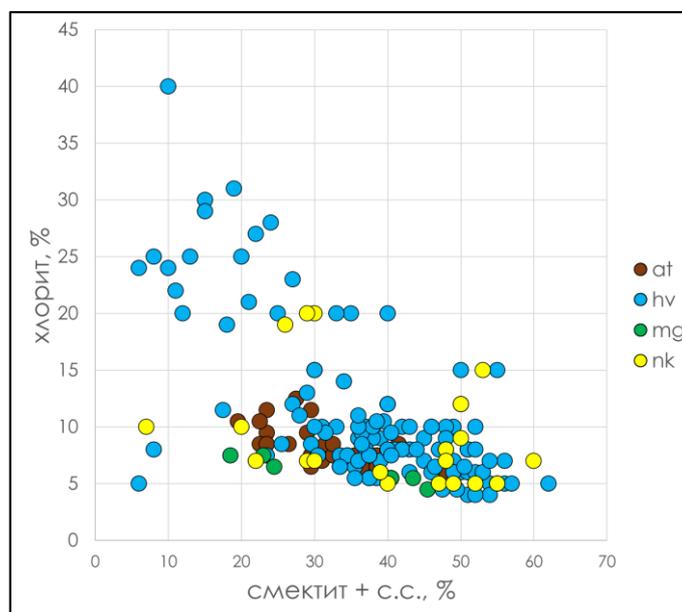


Рис. 65. Соотношение между собой содержаний иллита и каолинита.

На графике соотношения смектита и хлорита (Рис. 66) выделяется две группы проб. Первая включает в себя ательские, мангышлакские и большую часть хвалынских и

новокаспийских отложений и имеет явную линейную отрицательную зависимость. Другая группа состоит из хвалынских и новокаспийских проб и рассеивается от основной группы в сторону увеличения значений по оси ординат.



*Рис. 66. Соотношение между собой содержаний смектита и хлорита в разновозрастных отложениях.*

По-другому ведут себя пробы при соотношении каолинита к смектиту (Рис. 67). Все они занимают примерно одинаковую область, но облака наибольшей плотности дисперсии немного отличаются. Ательские отложения довольно плотно сгруппированы в сектор 8-15% каолинита и 20-40% смектита. Хвалынские в основном имеют в составе больше смектита и меньше каолинита, однако есть отдельные выбросы, которые характеризуются как увеличением каолинитовой составляющей, так и уменьшением смектитовой (иногда за счет хлорита). Небольшая группа мангышлакских проб имеет постоянное содержание каолинита, которое, как заметно по графику, никак не зависит от смектита. И только новокаспийские отложения имеют отрицательную линейную зависимость этих двух минералов, занимая область наибольшей плотности дисперсии.

По характеру соотношения хлорита и каолинита (Рис. 68) между собой очень похожи хвалынские и новокаспийские отложения, которые имеют неявный тренд положительной линейной зависимости. Группа проб на графике рассеивается как в сторону увеличения каолинита, так и хлорита. Мангышлакские отложения практически не меняются по составу обоих минералов, содержания меняются в пределах 5-7% каждого. И только в ательских

пробах прослеживается линейная положительная зависимость, где содержание каолинита увеличивается вместе с хлоритом.

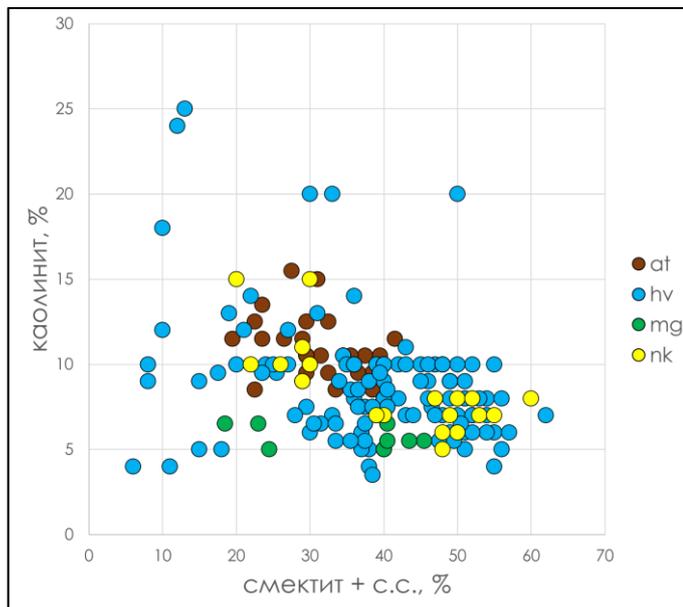


Рис. 67. Соотношение между собой содержаний смектита и каолинита в разновозрастных отложениях.

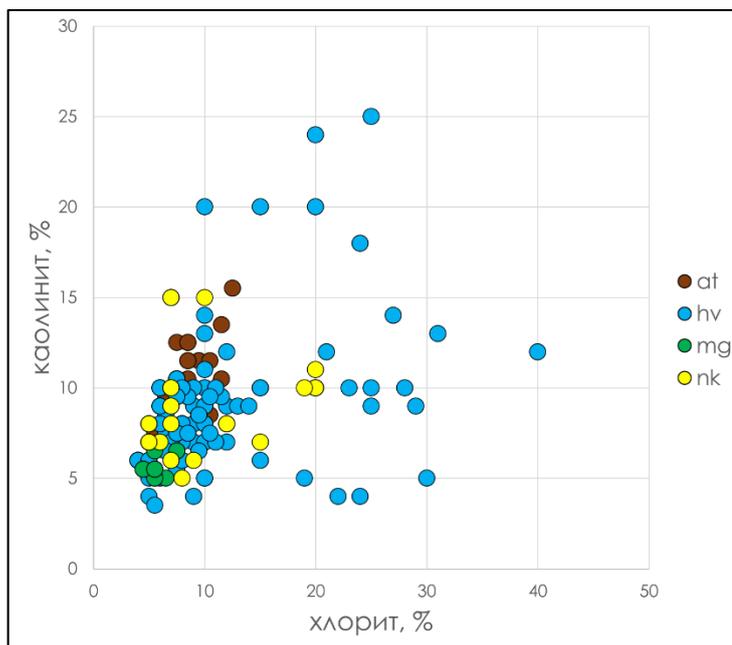


Рис. 68. Соотношение между собой содержаний хлорита и каолинита в разновозрастных отложениях.

Результаты всех измерений содержания глинистых минералов в пробах были проанализированы методом главных компонент (Рис. 69), чтобы понять, как себя ведут пробы относительно главных факторов, влияющих на них. Направления на графике,

которые характеризуются повышением содержания того или иного минерала группируются по-разному: смектит имеет направление в отрицательную сторону по оси компоненты 1, а каолинит, хлорит и смектит группируются в противоположащую ему сторону. Основная часть проб вытягивается с небольшим наклоном вдоль оси первой компоненты. Хвалынские и новокаспийские отложения больше тяготеют в сторону, которая определяется наличием смектита, но отдельные точки рассеяны в стороны, которые определяются наличием каолинита и хлорита. Ательские и мангышлакские отложения больше вытянуты между практически противоположными направлениями, которые определяются наличием смектита или иллита и больше тяготеют именно к иллиту.

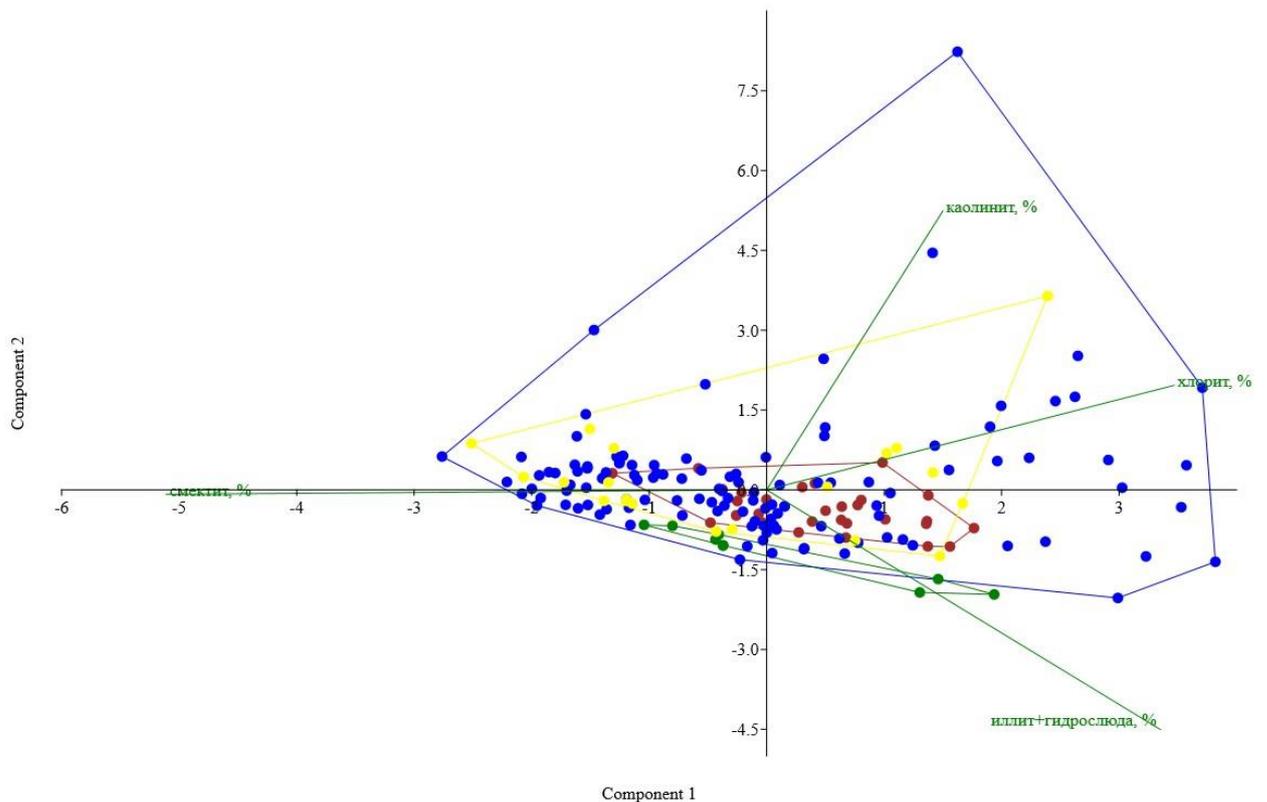


Рис. 69. График соотношения главных компонент в пробах разновозрастных отложений. Коричневым – ательские; синим – хвалынские; зеленым – мангышлакские; жёлтым – новокаспийские

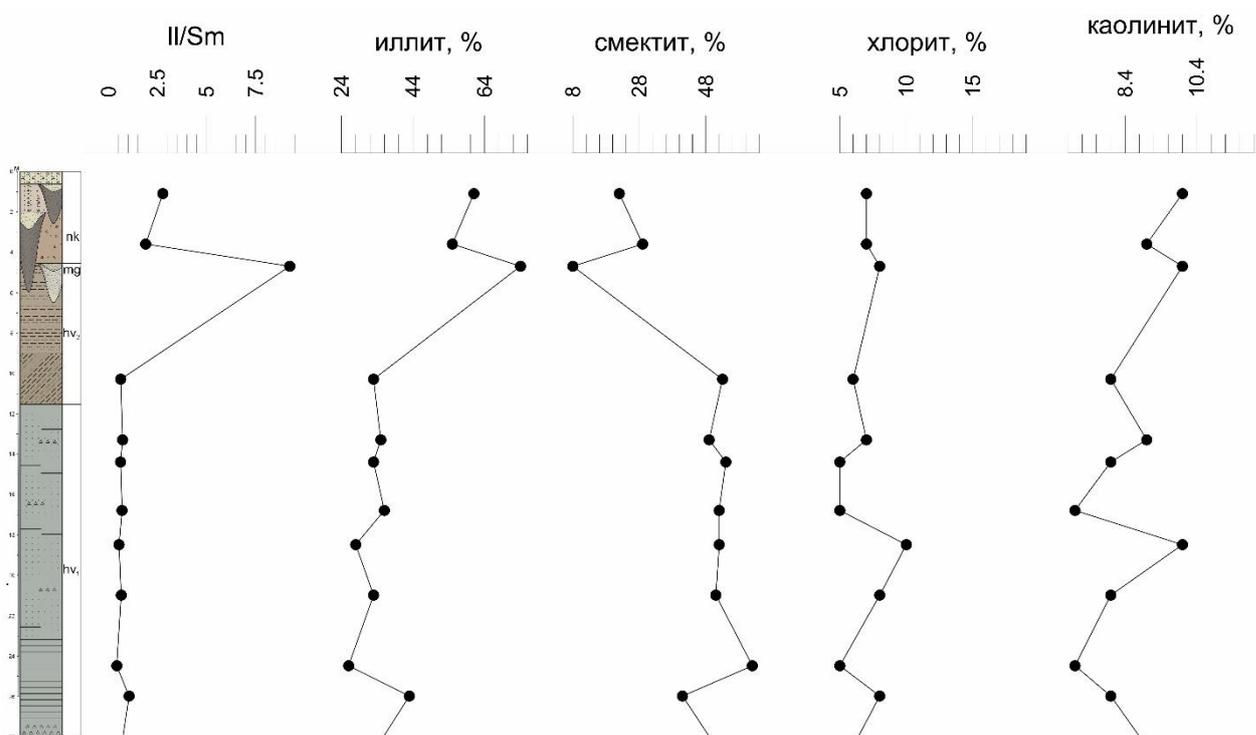


Рис. 70. График распределения глинистых минералов по разрезам скважины KAR1.

Проследить изменения состава по разрезам отдельных скважин проблематично, для этого необходимо более детальное опробование. Однако общая тенденция хорошо видна по скважине KAR1 в районе 1 (Рис. 70): она заключается в увеличении смектитовой составляющей в хвалынских отложениях и иллитовой — в мангышлакских.

#### ***Сравнение состава глинистых минералов с геохимическим составом***

Для скважины KOR-3 было проведено сравнение состава глинистых минералов с химическим составом отложений (Табл. 21).

Заметная корреляция с некоторыми оксидами прослеживается лишь для каолинита. Коэффициент корреляции около 0.5 отмечается для магния, алюминия и железа. И если для оксида алюминия это объясняется химическим составом непосредственно каолинита, то для двух других элементов она, вероятно, более комплексная. Относительно невысокие корреляционные коэффициенты связаны в целом с небольшими содержаниями каолинита в отложениях. И его вклад в химический состав теряется на фоне других минералов.

Таблица 21. Корреляционная матрица для глинистых минералов и основных оксидов в скважине KOR-3.

	II	ChI	KI	Sm	Na2O	MgO	Al2O3	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3
II	1.00	0.26	0.21	-0.84	-0.42	-0.03	-0.09	-0.13	-0.22	-0.05	-0.30	0.07
ChI	0.26	1.00	0.69	-0.67	-0.19	0.15	0.13	0.12	-0.10	0.03	-0.05	0.17
KI	0.21	0.69	1.00	-0.63	-0.25	0.55	0.46	0.40	0.23	0.39	0.34	0.47
Sm	-0.84	-0.67	-0.63	1.00	0.48	-0.16	-0.10	-0.05	0.21	-0.06	0.18	-0.25
Na2O	-0.42	-0.19	-0.25	0.48	1.00	0.09	0.24	0.43	0.08	0.38	0.19	0.06
MgO	-0.03	0.15	0.55	-0.16	0.09	1.00	0.91	0.79	0.57	0.88	0.87	0.90
Al2O3	-0.09	0.13	0.46	-0.10	0.24	0.91	1.00	0.95	0.31	0.90	0.74	0.93
K2O	-0.13	0.12	0.40	-0.05	0.43	0.79	0.95	1.00	0.17	0.88	0.63	0.82
CaO	-0.22	-0.10	0.23	0.21	0.08	0.57	0.31	0.17	1.00	0.38	0.78	0.24
TiO2	-0.05	0.03	0.39	-0.06	0.38	0.88	0.90	0.88	0.38	1.00	0.76	0.81
MnO	-0.30	-0.05	0.34	0.18	0.19	0.87	0.74	0.63	0.78	0.76	1.00	0.66
Fe2O3	0.07	0.17	0.47	-0.25	0.06	0.90	0.93	0.82	0.24	0.81	0.66	1.00

### 5.3.1. Состав глинистых минералов в источниках терригенного материала

Для сравнения состава глинистых минералов в отложениях Северного Каспия с составом в основном источнике привноса материала в исследуемой зоне — Волге — по литературным данным был проанализирован состав глинистых пород в водосборе Волги (Рис. 71).

Волжский бассейн был разделен на две части: Верхневолжскую и Камскую. Они представляют совершенно разные по составу пород территории Русской равнины. Так, состав глинистых минералов в Верхневолжском бассейне в разновозрастных моренах (которые в основном размывает Волга на этом участке) по данным Н. Судаковой и соавторов (2014) отличается преобладанием иллитовой составляющей. В то же время, состав глинистых минералов в пермско-триасовых породах в бассейне Камы (Mouraviev et al., 2020) отличается существенным преобладанием смектита над остальными глинистыми минералами.

Учитывая разную геологическую историю Камского и Верхневолжского бассейнов в рассматриваемый в диссертации период (Верхневолжский бассейн попадал в зону покровного поздневалдайского оледенения, а Камский — нет), можно предположить, что существенные изменения в соотношении иллита и смектита, которые слагают основную массу определенных глинистых минералов в отложения Северного Каспия, отражают изменения во вкладе Камы и Верхней Волги в твердый сток.

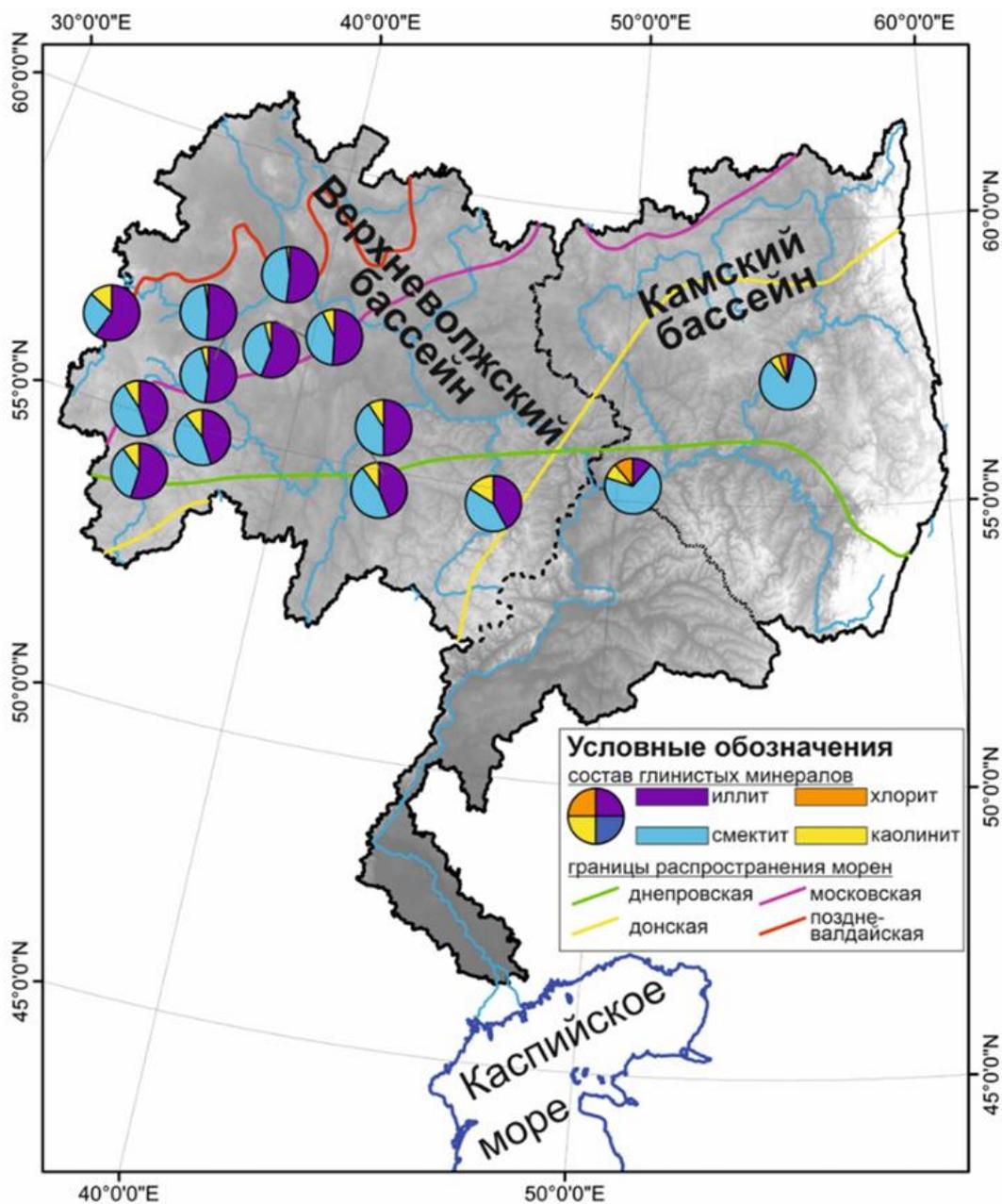


Рис. 71. Обобщенная карта преобладающих геологических образований Волжском (Верхневолжском и Камском) бассейнах с составом глинистых минералов

Так, отмечается, что повышенные содержания смектита характерны для отложений хвалынского и новокаспийского горизонтов, которые отвечают трансгрессиям Каспийского моря. Как следствие, можно связать эти трансгрессивные этапы с увеличением стока из Камского бассейна относительно Верхневолжского.

#### 5.4. Минералогический состав отложений

Минералогические исследования были выполнены преимущественно по хвалынской отложениям, а также, в меньшей степени, по ательским, мангышлакским и

новокаспийским. Наибольшее внимание было уделено изучению песчаной фракции 63-125 мкм. Она была разделена на тяжелую и лёгкую подфракции, минералогический состав которых был определен микроскопически и, в отдельных случаях, рентгеноструктурным анализом.

#### **5.4.1. Тяжелая подфракция песка**

Прослежены корреляционные связи между содержанием минералов в изученных отложениях. Отмечается несколько весьма существенных корреляционных связей (Табл. 22). Рудные минералы имеют положительную связь с цирконом и отрицательную с эпидотом, клиноцоизитом, роговой обманкой и турмалином. Также высока отрицательная корреляция роговой обманки с цирконом и рутилом, которые между собой имеют высокую отрицательную корреляцию. Высокая положительная связь отмечается для биотита с силлиманитом.

Для всех изученных образцов отмечено преобладание рудных минералов, роговой обманки, эпидота и клиноцоизита над остальными минералами, но в разном соотношении (Табл. 23, Рис. 72). Также выделяются отдельные образцы с заметно возрастающими содержаниями устойчивых минералов. По минералогическому составу тяжелой подфракции отложения делятся на несколько типов, рассмотрим их по очереди.

Первая группа проб отложений характеризуется преобладанием *рудных минералов и биотита*. Их содержание колеблется от 27 до 41 %, но неизменно преобладает. Вторыми по содержанию являются биотит (10-21%) и клиноцоизит (17-19%). Главное отличие этих образцов от других — относительно малое количество эпидота и относительно высокое биотита (которого в большинстве проб не более 4%). Оба образца, которые представляют эту группу, отобраны в районе 6 из керна скважины КНВ2 со схожих глубин из нижней части хвалынского горизонта. Ориентируясь на современный характер привноса терригенного материала, можно отметить, что поступающий и с западного, и с восточного побережья биотит (Кулакова, 1959), разносится в акватории Каспия за счет флотационных свойств и его осаждение характерно для глубоководных Среднего и Южного Каспия. Учитывая, географическое положение района 6, можно считать повышение концентраций биотита в хвалыньских отложениях вполне закономерным, особенно принимая во внимание то факт, что при трансгрессии моря развивалась абразия. Высокие содержания рудных минералов и клиноцоизит всё же говорят о преобладании волжского стока в терригенном осадконакоплении, но, возможно, при большем водообмене со Средним Каспием.

Вторая группа проб характеризуется *преобладанием рудных минералов (22-37%)* и отличается от остальных групп относительно *высокими содержаниями циркона (до 14%)* и *граната (до 16%)*. Эта группа выделена в отложениях верхнехвалыньского подгоризонта и в

новокаспийских отложениях районов 1, 3 и 6. Доминирование рудных минералов в этой группе так же свидетельствуют в пользу высокого вклада стока Волги. Повышенные содержания циркона же говорят либо о волжском привносе, либо вкладе эоловых наносов в отложения.

Таблица 22. Корреляционная матрица содержаний минералов в образцах тяжелой подфракции.

Рудный минерал, %	1.00	-0.61	-0.69	-0.55	0.17	-0.38	0.16	0.13	0.26	0.18	-0.25	-0.04	0.63	0.43	-0.56	0.31	-0.18	0.22	0.22	0.26	-0.26	-0.37	-0.38
Эпидот, %	-0.61	1.00	0.40	-0.10	0.32	-0.11	-0.07	-0.12	-0.01	0.13	0.22	-0.55	-0.35	-0.30	0.57	-0.28	-0.43	-0.27	0.40	0.32	0.40	0.32	0.19
Роговая обманка, %	-0.69	0.40	1.00	0.42	-0.22	0.04	-0.27	-0.54	0.07	0.07	0.36	0.20	-0.81	-0.64	0.41	-0.50	0.31	-0.36	0.09	0.19	0.19	0.22	0.22
Клинозоизит, %	-0.55	-0.10	0.42	1.00	-0.70	0.37	-0.12	-0.32	-0.46	-0.31	0.01	0.41	-0.60	-0.50	0.07	-0.04	0.38	-0.28	0.18	0.16	0.16	0.26	0.26
Гранат, %	0.17	0.32	-0.22	-0.70	1.00	-0.37	0.16	0.13	0.32	0.11	0.04	-0.54	0.22	0.26	-0.06	0.01	-0.49	0.20	-0.06	-0.19	-0.07	-0.07	-0.07
Актинолит, %	-0.38	-0.11	0.04	0.37	-0.37	1.00	-0.12	0.30	-0.24	-0.17	-0.16	0.25	-0.05	0.00	-0.03	-0.15	0.35	0.00	0.06	0.21	0.02	0.02	0.02
Ксенолит, %	0.16	-0.07	-0.27	-0.12	0.16	-0.12	1.00	0.20	0.22	0.22	-0.21	-0.09	0.10	0.31	-0.29	0.33	-0.12	0.37	-0.32	-0.19	-0.21	-0.21	-0.21
Пироксен, %	0.13	-0.12	-0.54	-0.32	0.13	0.30	0.20	1.00	-0.07	-0.07	-0.18	-0.16	0.60	0.66	0.00	0.20	0.02	0.47	-0.22	-0.13	-0.10	-0.10	-0.10
Ортопироксен, %	0.26	-0.01	0.07	-0.46	0.32	-0.24	0.22	-0.07	1.00	0.46	0.03	-0.04	-0.02	-0.08	-0.04	-0.17	-0.07	0.28	-0.14	-0.13	-0.10	-0.10	-0.10
Клинопироксен, %	0.18	0.13	0.07	-0.31	0.11	-0.17	0.22	-0.07	0.46	1.00	0.13	-0.10	-0.14	-0.08	-0.16	0.05	-0.07	0.07	0.02	0.08	0.08	0.10	0.10
Моноцит, %	-0.25	0.22	0.36	0.01	0.04	-0.16	0.21	-0.18	0.03	0.13	1.00	-0.06	-0.23	0.05	-0.02	0.34	-0.02	-0.24	-0.27	-0.02	0.16	0.16	0.16
Биотит, %	-0.04	-0.55	0.20	0.41	-0.54	0.25	-0.09	-0.16	-0.04	-0.10	-0.06	1.00	-0.26	-0.15	-0.11	-0.10	0.68	-0.09	-0.30	0.02	0.01	0.01	0.01
Циркон, %	0.63	-0.35	-0.81	-0.60	0.22	-0.05	0.10	0.60	-0.02	-0.14	-0.23	-0.26	1.00	0.67	-0.26	0.27	-0.18	0.48	-0.20	-0.13	-0.23	-0.23	-0.23
Рутил, %	0.43	-0.30	-0.64	-0.50	0.26	0.00	0.31	0.66	-0.08	-0.08	0.05	-0.15	0.67	1.00	-0.24	0.46	-0.06	0.35	-0.46	-0.30	-0.08	-0.08	-0.08
Турмалин, %	-0.56	0.57	0.41	0.07	-0.06	-0.03	-0.29	0.00	-0.04	-0.16	-0.02	-0.11	-0.26	-0.24	1.00	-0.45	-0.13	-0.13	0.34	0.43	0.24	0.24	0.24
Сфен, %	0.31	-0.28	-0.50	-0.04	0.01	-0.15	0.33	0.20	-0.17	0.05	0.34	-0.10	0.27	0.46	-0.45	1.00	-0.17	0.07	-0.31	-0.23	0.06	0.06	0.06
Силлиманит, %	-0.18	-0.43	0.31	0.38	-0.49	0.35	-0.12	0.02	-0.07	-0.07	-0.02	0.68	-0.18	-0.06	-0.13	-0.17	1.00	0.03	-0.22	-0.11	0.23	0.23	0.23
Ставролит, %	0.22	-0.27	-0.36	-0.28	0.20	0.00	0.37	0.47	0.28	0.07	-0.24	-0.09	0.48	0.35	-0.13	0.07	0.03	1.00	-0.26	-0.17	-0.20	-0.20	-0.20
Апатит, %	-0.26	0.40	0.09	0.18	-0.06	0.06	-0.32	-0.22	-0.14	0.02	-0.27	-0.30	-0.20	-0.46	0.34	-0.31	-0.22	-0.26	1.00	0.44	0.03	0.03	0.03
Дистен, %	-0.37	0.32	0.19	0.16	-0.19	0.21	-0.19	-0.13	-0.13	0.08	-0.02	0.02	-0.13	-0.30	0.43	-0.23	-0.11	-0.17	0.44	1.00	0.16	0.16	0.16
Эпирин, %	-0.38	0.19	0.22	0.26	-0.07	0.02	-0.21	-0.10	-0.10	0.16	0.01	-0.23	-0.23	-0.08	0.24	0.06	0.23	-0.20	0.03	0.16	0.16	1.00	1.00

Табл. 23. Фрагмент  
таблицы  
минералогического  
состава отложений

номер	страт.	Рудный минерал, %	Эпидит, %	Роговая обманка, %	Клинопцист, %	Транат, %	Актинолит, %	Ксенотим, %	Пироксен, %	Ортопироксе н, %	Клинопироксе н, %	Моноцит, %	Биотит, %	Липкон, %	Рутил, %	Турмалин, %	Сфен, %
KAR-1_ИГС-1_31.4	ат	28	19	15	15	10	2	0	0	0	1	0.5	0	4	0.5	1	1
KAR-1_ИГС-1_33.85	ат	25	22	17	18	9	0	1	0	0	0	0	0	4	0.5	2	0.5
RAK-1_ИГС-4_25.9	hv	11	24	21	14	15	2	0	0	0	0	2	1	3	3	2	0.5
KAR-1_ИГС-1_7.75	hv	26	22	20	10	10	3	2	0	1	1	1	1	1	1	1	0.5
KAR-1_ИГС-1_9.7	hv	33	14	15	7	16	1	0	0	1	0	0	1	7	0.5	2	0
RAK-2_ИГС-1_7.1	hv	22	16	6	11	11	7	1	3	0	0	0	0	13	5	2	1
RAK-2_ИГС-1_12.7	hv	34	16	9	14	6	4	0.3	0.7	0	0	0	0	11	2	1	1
SHR-3_ИГС-2_7.15	hv	18.2	14.3	22	25.5	2.8	5.2	0	0	0	0	0	3.1	1.7	1	2.1	0
SHR-3_ИГС-1_12	hv	14.5	18.8	16.6	24.4	5.1	8.7	0	0	0	0	0	3.2	3.4	0	1.7	0
SHR-3_ИГС-1_13.5	hv	12	18.5	15.9	32.6	2.3	5.4	0	0	0	0	0	3.1	1.9	0.4	2.7	0.8
SHR-3_ИГС-2_19.6	hv	19	8.8	22.4	26.8	3	5.1	0	0	0	0	0	9.5	1	0	1.7	0
SHR-3_ИГС-2_4.95	hv	14.2	18.8	18.5	29	3.6	6.3	0	0	0	0	1	1	2.6	0	0.7	1
KHV-2_ИГС-3_19.5	hv	41	4	10	17	7	3	0	0	0	0	0	10	3	2	0.3	1
KHV-2_ИГС-2_20.8	hv	27	8	10	19	5	1	0	0	0	0	0	21	5	2	0	1
KUL-1_ИГС-2_8.54	hv	15	22	21	29	3	4	0	0	0	0	0	0	0.5	0	3	0
KUL-1_ИГС-2_9.14	hv	17	16	18	30	11	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0.5
RAK-1_ИГС-1_9.9	hv	15	19	20	23	10	4	0	0	0	0	2	0	3	1	0	2
RAK-1_ИГС-1_17.3	hv	27	10	13	31	4	3	0	0	0	0	1	5	3	1	0	1
KHV-2_ИГС-3_9	hv	36	13	12	16	11	4	0.7	0	0	0	0	0.6	5	3	0.5	0.5
KHV-2_ИГС-1_9.8	hv	28	12	12	17	7	6	0.5	0	0	0	0	2	8	3	1	1
KHV-2_ИГС-2_10.2	hv	37	13	6	14	8	2	0.4	0.3	0	0	0	0.4	14	2	1	1
KHV-2_ИГС-2_11.4	hv	25	18	8	16	15	4	2	0.4	0	0	0	0.5	5	2	0.8	2
KUL-1_ИГС-2_3.15	hv	9	31	16	19	13	4	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0
KUL-1_ИГС-2_3.4	hv	13	22	21	24	9	3	0	0	0	0	0	0	1.5	0	4	0
KUL-1_ИГС-1_2.7	mg	25	23	17	12	13	2	0	0	0	0	0	0	5	0.5	1.5	0
KHV-2_ИГС-3_2.2	nk	34	13	11	16	11	1	0.7	0	0	0	0	0.5	8	2	0	1
KUL-1_ИГС-1_1.8	nk	6	27	23	19	9	4	0	0	0	0	1	0	4	0.5	5	0
RAK-1_стр.32_1.1	nk	13	17	18	32	6	3	3	0	0	0	0	2	2	1	1	1
SHR-3_ИГС-1_1.7	nk	18	18	20.6	22.6	9	6.1	0	0	0	0	1.2	0.6	4.1	0	0.6	0
KUL-1_ИГС-1_1.85	nk	12	22	19	23	9	3	0	0	0	0	1	0	3	0.6	3	0.3
RAK-1_ИГС-1_2.1	nk	27	17	16	20	5	1	0	0	0	0	2	2	3	2	3	2

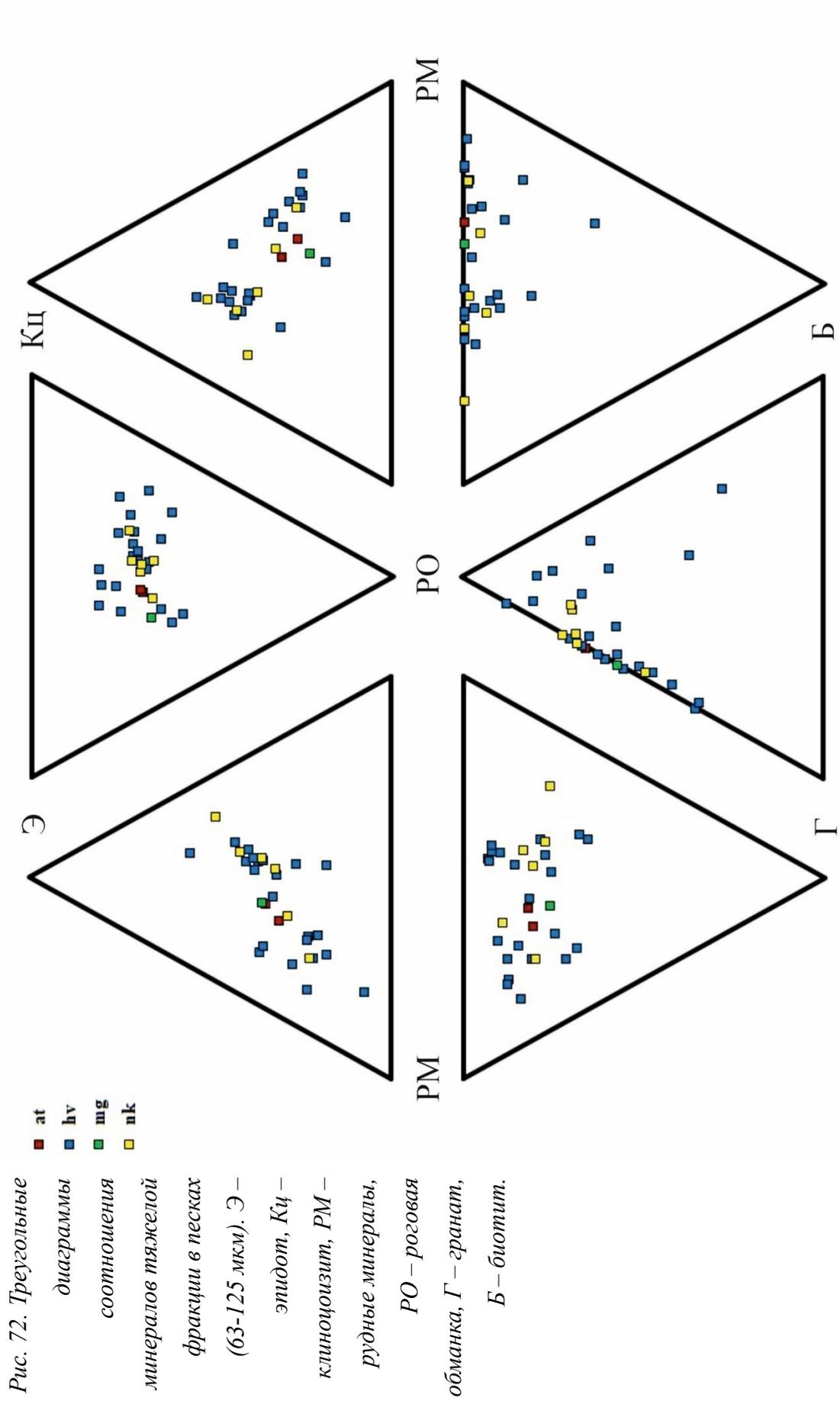


Рис. 72. Треугольные диаграммы соотношения минералов тяжелой фракции в песках (63-125 мкм). Э – этидот, Кц – клиноцизит, РМ – рудные минералы, РО – роговая обманка, Г – гранат, Б – биотит.

Третья группа образцов схожа со второй, но цирконов становится меньше. По-видимому, это означает удаление от источника привноса. А так как содержания циркона меняются при прочих равных содержаниях, то можно предположить дополнительный источник в образцах второй группы — эоловый привнос. В пользу этой концепции говорит малое содержание циркона в дельтовых отложениях и в осадках, заполняющих врезы. Группа представлена в районах 1, 2, 6.

Четвертая группа представлена только одним образцом, однако разительно отличающимся от других: при преобладании клиноцоизита отмечены повышенные содержания биотита (почти 10%). Этот тип представлен в нижнехвалынском горизонте в районе 4.

Пятая группа схожа с четвертой по преобладанию клиноцоизита, при этом повышенные значения концентраций любых других минералов небольшие. Клиноцоизит поступает в основном с волжским аллювием, поэтому контролируется удаленностью от самой Волги. К этой группе относятся образцы из районов 2 и 4 в верхнехвалынском и новокаспийском горизонтах.

Шестая группа выделяется по преобладанию эпидота и относительно высокому содержанию граната в районах 2 и 3. Это, судя по всему, также говорит об удаленности от дельты Волги.

Таким образом, все рассмотренные отложения можно отнести к единой волжской терригенно-минералогической провинции. Их состав контролируется удаленностью от источника привноса материала (р. Волги). Незначительные отклонения могут проявляться как результат интенсификации привноса эоловой составляющей (циркон) и увеличения вклада среднекаспийского привноса в район Мангышлакского порога (биотит).

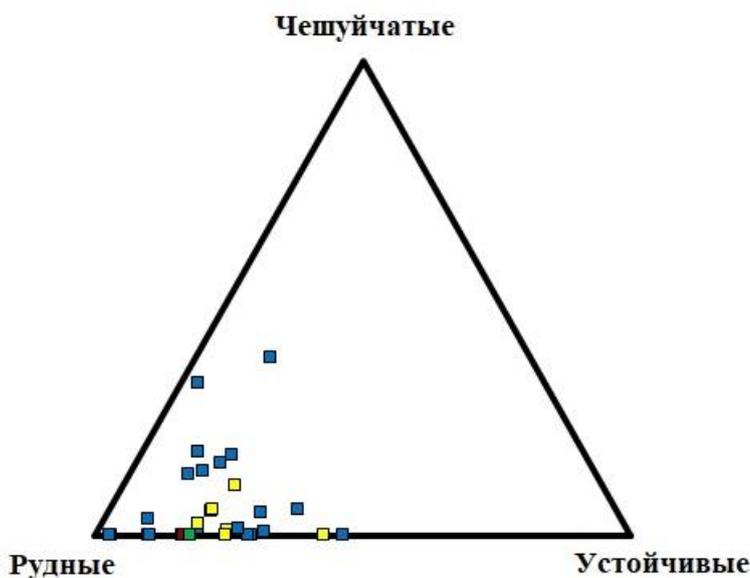


Рис. 73. Треугольная диаграмма соотношения рудные – чешуйчатые – устойчивые минералы в разновозрастных отложениях (зеленый – at, синий – hv, коричневый – tg, желтый – nk)

Помимо этого, рассмотрено соотношение в отложениях рудных, устойчивых и чешуйчатых минералов (Рис. 73). Отмечается отсутствие чешуйчатых минералов в отложениях регрессивных этапов Каспийского моря и увеличение их содержания в трансгрессивные этапы, особенно во время существования обширной хвалынской трансгрессии. Соотношение рудных и устойчивых минералов при этом примерно постоянно, при общем преобладании рудных.

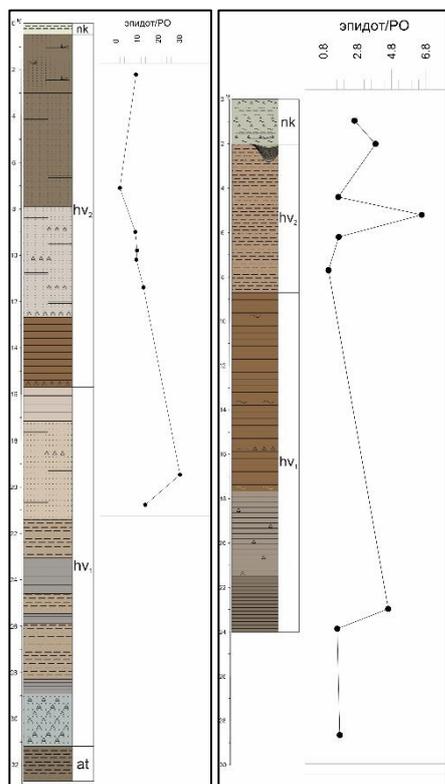


Рис. 74. Соотношение эпидота и роговой обманки в отложениях скважин KHV2 (слева) и UK1 (справа)

Соотношение эпидота и роговой обманки (Рис. 74) в отложениях может помочь проследить источники сноса материала, как и по глинистым минералам. Эпидот в большей степени ассоциирован с Камским бассейном, где он содержится в триасовых породах, в то время как роговая обманка вместе с гранатом относится к руководящим минералам Фенноскандии (Судакова и др., 2014).

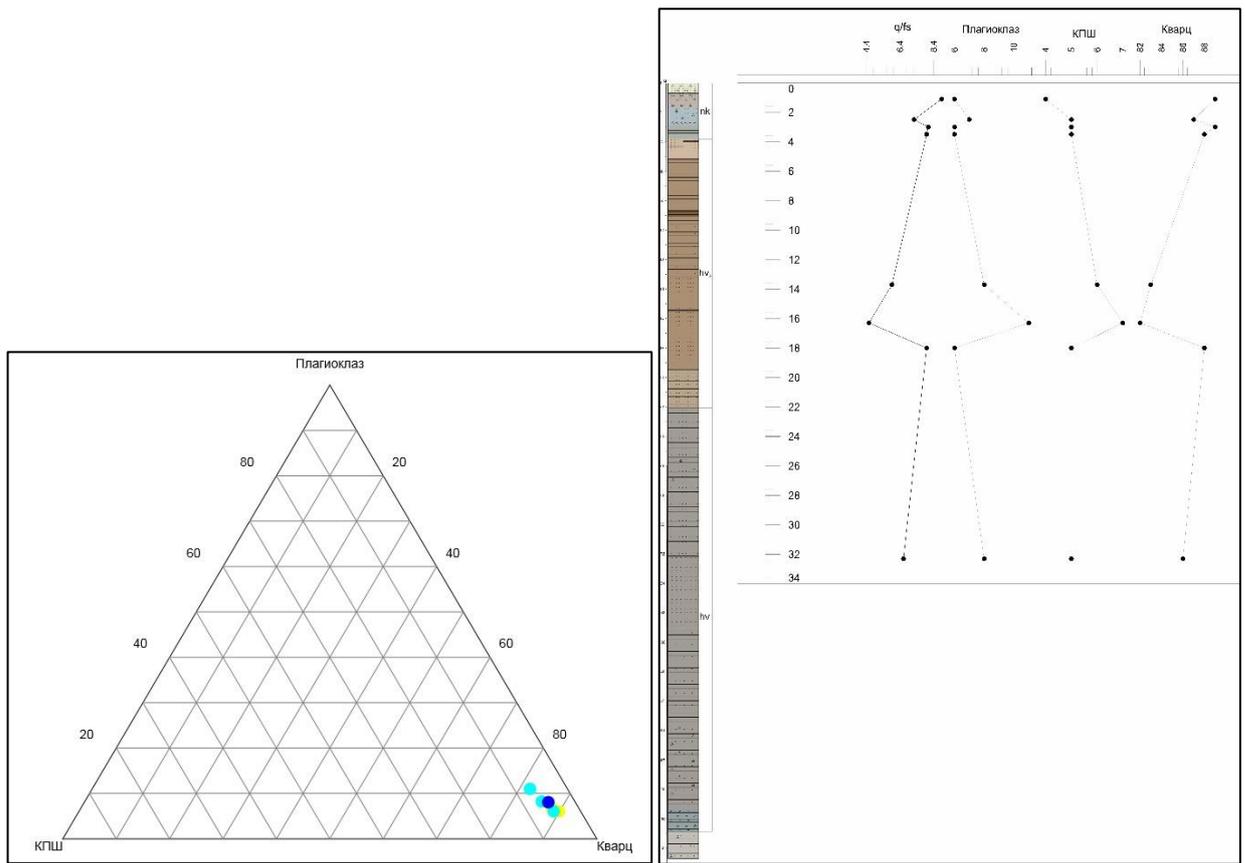
Общий рисунок распределения соотношения эпидота и роговой обманки по скважинам как в районе 1, так и в районе 6 схож: отмечаются повышенные значения в нижней части хвалынских отложений, а также в новокаспийских.

#### 5.4.1. Лёгкая подфракция песка

Наибольший интерес в изучении лёгкой подфракции представляет соотношение полевого шпата и кварца (Рис. 75).

В лёгкой фракции кварц существенно преобладает над калиевыми полевыми шпатами и плагиоклазом. Можно также отметить увеличение полевошпатовой составляющей относительно кварца в нижней части верхнехвалынских отложений.

Отсутствие площадных исследований по соотношению кварца и полевого шпата в современных осадках Северного Каспия затрудняет интерпретацию этих данных. Однако порядок соотношения схож с современной взвесью р. Волги – 7.4 (Лукашин и др., 2016) и существенно отличается от соотношения в современной гравитационной зоне маргинального фильтра – 1.1 (Лукашин и др., 2016), что говорит о преобладающем влиянии Волжских вод в Северном Каспии на протяжении всего рассматриваемого периода.



*Рис. 75. Треугольная диаграмма соотношения кварц – калиевый полевой шпат – плагиоклаз по отложениям из скважины SAR1 в районе 5 (слева) и распределение перечисленных минералов и их соотношения по отложениям той же скважины (справа)*

## Глава 6. Палеогеографическая реконструкция и история геологического развития

Рассмотренные результаты анализа строения верхнечетвертичной толщи каспийских отложений и комплекса разнообразных методов позволяют реконструировать палеогеографическую историю региона в соответствующий период времени. В главе прослежены изменения природной среды и условий осадконакопления в этапы, соответствующие четырем горизонтам, описанным в главе 4.

Однако перед этим необходимо рассмотреть вспомогательный палеогеографический материал по малакофаунистическим данным и оценке изменений уровня моря, которые позволят более глубоко понять каждый этап.

### 6.1. Колебания уровня моря и малакофаунистические данные

#### 6.1.1. Унификация малакофаунистических данных

Анализ комплексов малакофауны в рамках диссертационного исследования основан на видовых определениях к.б.н. Е.В. Бабак, имеющихся в распоряжении автора диссертации. Названия видов (Табл. 24) приведены в соответствии с актуальной на настоящий момент номенклатурой, обоснованной в экспертном заключении (Wesselingh et al., 2019). Это связано с необходимостью унификации большого количества разрозненных данных для формирования целостной картины развития каспийских малакофаунистических комплексов во времени. Такой подход также позволяет избежать таксономических разногласий, что особенно важно в свете задач диссертационной работы, к которым относится стратиграфическое разделение и выявление условий формирования тех или иных комплексов, то есть не классический палеонтологический анализ, а выявление общих закономерностей, подчиняющихся себе малакофаунистический состав.

Остановимся подробнее на наиболее спорных моментах. Считается (Логвиненко, Старобогатов, 1968), что в Каспийском море вид *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) представлен двумя подвидами *Dreissena polymorpha polymorpha* (Andrusov, 1897) и *Dreissena polymorpha andrusovi* (Brusina in Andrusov, 1897), Несмотря на то, что *D. polymorpha* подвергалась многочисленным исследованиям ДНК, каспийские экземпляры в таких работах редко принимали участие, более того, даже сопряженное изучение морфологии, экологии и молекулярной биологии вида до настоящего времени не позволяет сделать однозначного заключения, поэтому в Таблице 23 приведено лишь видовое название, что хорошо соответствует интересам исследования, поскольку согласно мнению многих исследователей (Логвиненко, Старобогатов, 1968) условия обитания обоих подвидов

*D. polymorpha* идентичны – они, главным образом, предпочитают опресненные участки Северного Каспия, но встречаются и в других, более соленых частях моря, а внешний облик раковины несколько отличается у экземпляров, обнаруженных в северо-западной и восточной областях Каспия. В то же время работа (Wesselingh et al., 2019) предлагает объединять под видом *Dreissena grimmi* (Andrusov, 1890) каспийские подвиды *Dreissena rostriformis* (Rosenberg, Ludyanskiy, 1994) (в том числе *Dreissena rostriformis distincta* (Andrusov, 1897), *Dreissena rostriformis grimmi* (Andrusov, 1890), *Dreissena rostriformis compressa* Logvinenko, Starobogatov, 1966 и *Dreissena rostriformis pontocaspica* (Andrusov, 1897), обнаруженные в пробах, представляющих интерес для диссертации). Такой подход обосновывается тем, что: 1) лектотип *D. rostriformis* выбран из плиоценовых отложений Черноморского бассейна, но, согласно мнению упомянутых выше авторов, к современным каспийским видам следует относиться иначе, чем к плиоценовому *D. rostriformis* и применять другое название – *D. grimmi*; 2) несмотря на то, что виду приписывают несколько морфологически отличающихся подвидов (Богущкая и др., 2013), встречаются также и промежуточные формы между этими подвидами; 3) в работе (Stepien et al., 2013) на основании заключения по анализу ДНК сделан вывод о том, что все каспийские формы, упомянутые в литературе как подвиды *D. rostriformis* (или *D. grimmi* по (Wesselingh et al., 2019)), представляют собой один и тот же вид. Однако, с молекулярной точки зрения авторам (Stepien et al., 2013) также не удалось обнаружить и существенных доказательств отличия *D. rostriformis* от черноморского *Dreissena bugensis* Andrusov, 1897, в то время как они характеризуются непересекающейся экологической толерантностью и географически разделены. Более того, известно, что разные каспийские формы *D. rostriformis* могут не только отличаться формой раковины, размером и окрасом, но и существуют в определённом диапазоне глубин (Табл. 24): например, *D. rostriformis compressa* – наиболее глубоководный подвид с уплощенной раковиной, обитающий на глубинах 70 – 300 м, в то время как *D. rostriformis distincta* распространена на глубинах не более 80 м (Логвиненко, Старобогатов, 1968; Богущкая и др., 2013; Янина, устное сообщение). По тому же принципу автор придерживается выделения двух форм *Didacna protracta* (Eichwald, 1841): *Didacna protracta protracta* (Eichwald, 1829), обитающей на глубинах до 50 м, и *Didacna protracta submedia* Andrusov, 1910, более глубоководной формы, экземпляры которой встречаются преимущественно на глубинах от 50 до 100 м. Таким образом, соискатель счел оправданным в контексте диссертационной работы сохранение выделения разных подвидов *D. rostriformis*, но объединения подвидов *D. polymorpha*.

Таблица экологических предпочтений моллюсков (Табл. 24) основана на анализе нескольких работ, некоторые из которых в свою очередь также являются обобщением

данных, полученных предшественниками. Таким образом, Таблица 24 – это синтез всех имеющихся в настоящий момент данных об экологии рассматриваемых видов от информации, опубликованной в начале прошлого столетия, до устных сообщений ведущих каспийских малакологов современности. Среди таких работ следует, в первую очередь, отметить: 1) (Логвиненко, Старобогатов, 1968); 2) (Янина, 2005); 3) (Богущая и др., 2013) – синтез работ (Логвиненко, Старобогатов, 1968; Старобогатов, 1994; Анистратенко, 1998; Starobogatov, 2000; Старобогатов и др., 2004; Кантор, Сысоев, 2005) и собственных наблюдений на основе коллекционных материалов ЗИН РАН; 4) (van de Velde et al., 2020) – синтез работ (Андреева, Андреев, 2003; Богущая и др., 2013; Логвиненко, Старобогатов, 1968; Mirzoev, Alekperov 2017; Nevesskaja 2007; Neubauer et al. 2018; Parr et al. 2007; Мордухай-Болтовской, 1974; Старобогатов, 1994; Starobogatov 2000; Wesselingh et al.(2019; Chukhchin, 1984) и собственных наблюдений. Источником информации о пресноводной фауне (*Unio pictorum* (Linnaeus, 1758), *Viviparus viviparus* (Linnaeus, 1758)) является работа (Богущая и др., 2013).

Таблица 24. Распространение и условия обитания изученных видов моллюсков.

Вид	мин. глубина, м	макс. глубина, м	мин. соленость, ‰	макс. соленость, ‰
<i>Abra segmentum</i> (Récluz, 1843)	0	70	0	13
<i>Adacna laeviuscula</i> (Eichwald, 1829)	30	100	4	14
<i>Adacna vitrea</i> (Eichwald, 1829)	0	40	5	13
<i>Cerastoderma glaucum</i> (Bruguière, 1789)	0	40	5	13
<i>Clessiniola variabilis</i> (Eichwald, 1838)	0	300	0	13
<i>Didacna baeri</i> (Grimm, 1877)	0	60	8	14
<i>Didacna barbotdemarnii</i> (Grimm, 1877)	0	45	5	14
<i>Didacna cristata</i> Bogachev, 1932	0	50	3	14
<i>Didacna ebersini</i> Fedorov, 1953	0	50	3	14
<i>Didacna longipes</i> (Grimm, 1877)	0	40	10	14
<i>Didacna parallela</i> Bogachev, 1932	50	85	8	14
<i>Didacna praetrigonoides</i> Nalivkin & Anisimov, 1914	0	60	5	13

<i>Didacna protracta protracta</i> (Eichwald, 1829)	25	50	5	14
<i>Didacna protracta submedia</i> Andrusov, 1910	50	100	5	14
<i>Didacna profundicola</i> Logvinenko & Starobogatov, 1966	70	410	5	14
<i>Didacna pyramidata</i> (Grimm, 1877)	30	130	5	14
<i>Didacna subcatillus</i> Andrusov, 1910	0	50	3	14
<i>Didacna trigonoides</i> (Pallas, 1771)	5	60	4	15
<i>Dreissena caspia</i> Eichwald, 1855	0	40	2	8
<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)	0	40	2	13
<i>Dreissena rostriformis compressa</i> Logvinenko & Starobogatov, 1966	70	300	2	13
<i>Dreissena rostriformis distincta</i> (Andrusov, 1897)	0	80	2	13
<i>Dreissena rostriformis grimmi</i> (Andrusov, 1890)	40	100	2	13
<i>Dreissena rostriformis pontocaspica</i> (Andrusov, 1897)	20	100	2	13
<i>Hypanis plicata</i> (Eichwald, 1829)	0	40	4	13
<i>Laevicaspia caspia</i> (Eichwald, 1838)	30	500	5	13
<i>Laevicaspia conus</i> (Eichwald, 1838)	0	300	5	13
<i>Monodacna acuticosta</i> (Logvinenko & Starobogatov, 1967)	0	50	5	13
<i>Monodacna albida</i> (Logvinenko & Starobogatov, 1967)	0	150	5	13
<i>Monodacna caspia</i> (Eichwald, 1829)	2	15	2	14
<i>Monodacna filatovae</i> (Logvinenko & Starobogatov, 1967)	35	100	5	13
<i>Mytilaster minimus</i> (Poli, 1795)	35	100	8	15
<i>Theodoxus pallasi</i> Lindholm, 1924	0	40	0	13
<i>Turricaspia andrussowi</i> (Dybowski & Grochmalicki, 1915)	25	100	5	13

<i>Turricaspia elegantula</i> (Clessin & Dybowski in Dybowski, 1887)	40	100	5	13
<i>Turricaspia grimmi</i> (Clessin & Dybowski in Dybowski, 1887)	70	200	5	13
<i>Turricaspia lyrata</i> (Dybowski & Grochmalicki, 1915)	25	50	5	13
<i>Turricaspia meneghiniana</i> (Issel, 1865)	0	40	5	13
<i>Turricaspia pseudospica</i> (Logvinenko & Starobogatov, 1969)	15	75	5	13
<i>Turricaspia spica</i> (Eichwald, 1855)	0	40	5	13
<i>Unio pictorum</i> (Linnaeus, 1758)	0	40	0	2
<i>Viviparus viviparus</i> (Linnaeus, 1758)	0	5	0	2

Для некоторых видов, ареал обитания которых не ограничен современным Каспийским морем, в таблице (Табл. 24) приводятся данные об экологических предпочтениях только в акватории Каспия. Так, например, вид *Abra segmentum* (Récluz, 1843) (известный также как *Abra ovata*) распространен в Атлантическом океане к югу от берегов Англии, в Средиземном, Черном и Азовском морях, в Каспий был завезен лишь в 1939 году для повышения кормовой базы рыб (Логвиненко, Старобогатов, 1968).

Как правило, диапазон встречаемости видов ограничен максимальными и минимальными показателями, выбранными в ходе анализа многочисленных литературных источников. То есть в случае, если хотя бы один автор находил вид на глубинах около 300 м, в то время как другие встречали его лишь до глубин около 100 м, в Таблице 24 диапазон будет расширен до 300 м. Такой подход, постулирующий максимально широкие экологические рамки, позволяет учесть мнения всех исследователей, внося при этом поправку как на неполную, недостаточную изученность, так и на различия описаний разных авторов. Например, мнения об экологических предпочтениях вида *Clessiniola variabilis* (Eichwald, 1838) разнятся в работах разных авторов. Так, по мнению (Логвиненко, Старобогатов, 1968) вид, упоминающийся автором как *Pyrgula variabilis*, распространен в Северном, Среднем и Южном Каспии на глубинах до 20-25 м, а также в опресненных участках Черного и Азовского морей. Н.Г. Богуцкая с соавторами (2013) отмечают, что вид распространен на глубинах 20-40 м. В то же время другие авторы (van de Velde et al., 2020), проанализировав серию работ предшественников указывают диапазон встречаемости по глубине от 0 до 300 м, отмечая при этом, что данный вид является наиболее

многочисленным брюхоногим моллюском среди изученных ими материалов из разреза Селитренное на Нижней Волге. Оптимальная соленость для этого вида также определена по-разному. Согласно мнению Н.Г. Богдацкой с соавторами (2013) она составляет 0-8 ‰, по данным В.Д. Чухчина (Чухчин, 1983; Chukhchin, 1984) оптимум находится в диапазоне 5-7 ‰. В интересах работы для *C. variabilis*, как и в других подобных случаях, диапазон встречаемости представлен наиболее широко (Таблица 24). *Adacna vitrea* (Eichwald, 1829) — согласно данным, представленным в работе Богдацкая и др., 2013 — морской вид, который получает распространение при солености воды выше 5‰.

### **6.1.2. Результат обобщения данных абсолютного датирования**

Составленная база данных, которая была описана в главе 3, послужила основой для составления графика, отражающего тренды в изменениях уровня моря в течение рассматриваемого времени. Скорректированные и калиброванные радиоуглеродные даты (личные данные, Васильев, 1967, Каплин и др., 1972, 1973, Геохронология СССР, 1974, Парунин и др., 1974, 1985, 1989, Герасимов и др., 1975, Бадинова и др., 1976, 1978, Арсланов и др., 1978, 1988, 2016, Купцов, 1985, Яхимович и др., 1986, Карпычев, 1987, 1992, 1998, 2005, Рычагов, 1993, Свиточ, Селиванов, Янина, 1998, Свиточ, Парунин, 2001, Свиточ и др., 2006, 2008, Tudryn et al., 2013, 2016, Leroy et al., 2013, 2014, Makshaev, Svitoch, 2016, Макшаев, 2019, Лобачева, 2021, Семиколенных и др., 2022, Макшаев, Ткач, 2023), а также даты, полученные методом оптически стимулированной люминесценции (Янина и др., 2017, Kurbanov et al., 2021, Butuzova et al., 2022, Kurbanov et al., 2022, Taratunina et al., 2022), были помещены на высотно-временной график. Учитывая низкие скорости неотектонических движений в регионе и, как следствие, существенное доминирование эвстатических колебаний уровня моря над относительными, такой график будет отражать как раз эвстатические изменения уровня моря (Рис. 76).

На основе картины распределения точек дат на графике, была проведена примерная кривая колебания уровня моря. Кривая призвана послужить инструментом для того, чтобы проследить главные тренды изменения уровня моря и выделить основные этапы истории Каспия в прошлом, в то время как однозначно определять максимальные и минимальные уровни моря в разные этапы по ней не рекомендуется. Выделяется ательский этап низкого стояния уровня моря (до 55 м от СК или -83 м абс. БС) до примерно 30 т.л.н.; хвалынский этап высокого стояния уровня моря до 11,5 т.л.н. с максимумом в 14-13 т.л.н. (до +73 – +78 м от СК или +48 – +50 м абс. БС); мангышлакский регрессивный этап (до -72 м от СК или -100 м абс. БС) до 8 т.л.н.; новокаспийский этап с флуктуациями колебаний на схожем с современным уровнем, продолжающийся по сей день.

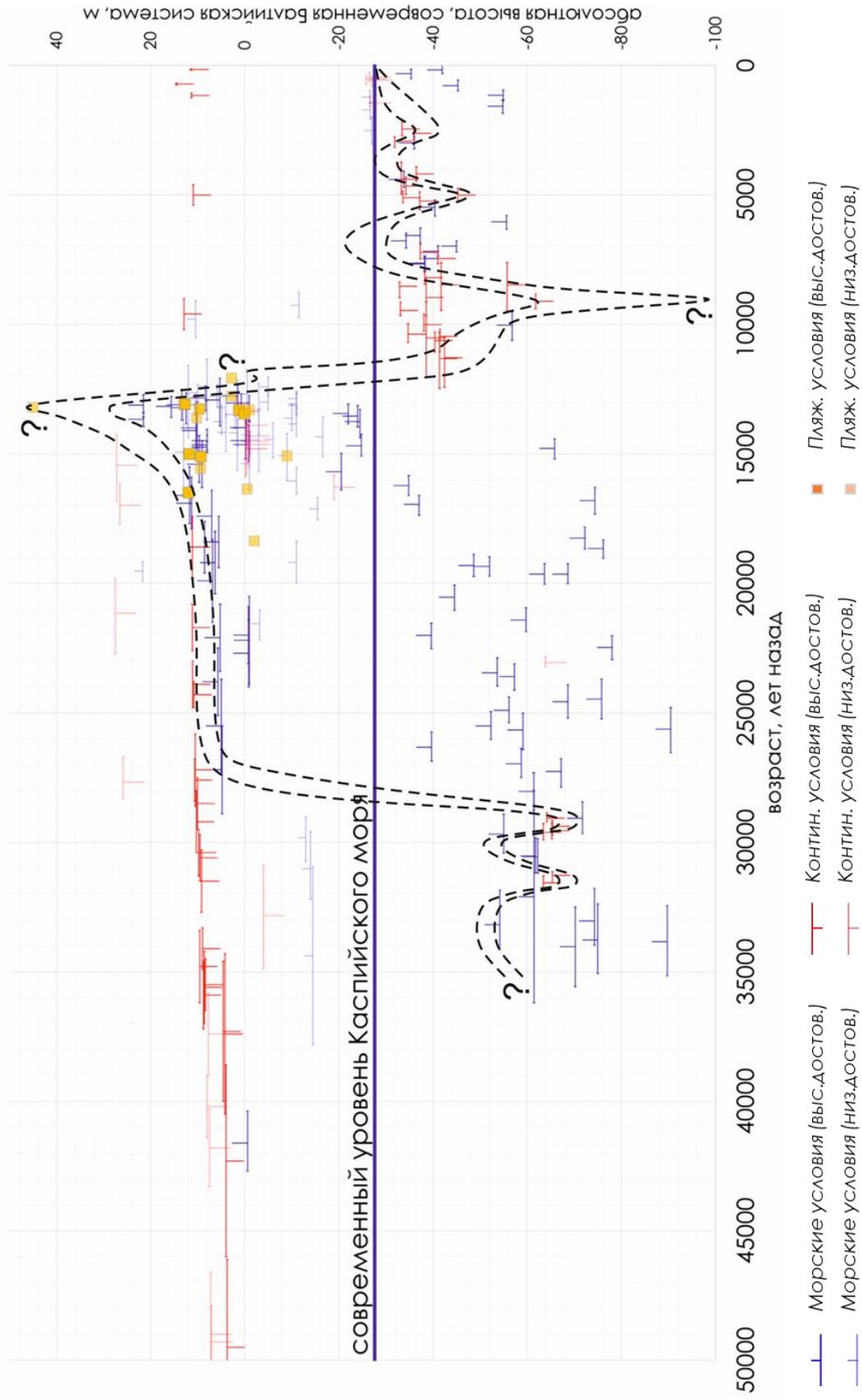


Рис. 76. График обобщения абсолютных даты в регионе с примерным ходом кривой колебания уровня моря за последние 35 т.л.н. Синие знаки – морские условия осадконакопления; красные – континентальные условия; оранжевые – пляжевые условия. Яркость

Для того, чтобы получить более ясную картину колебаний уровня моря в Северном Каспии, которые диссертантом характеризуются как эвстатические, был произведен пересчет кривой колебаний уровня моря с абсолютными отметками (Рис. 67) на кривую изменения объема Каспийского бассейна при том или ином уровне стояния моря. Такая кривая покажет более ясную картину изменения объема вод и упростит палеогеографическую интерпретацию.

Расчет объема воды в Каспийском бассейне был произведен для нескольких уровней стояния Каспия за последние 40 тысяч лет (Рис. 77).

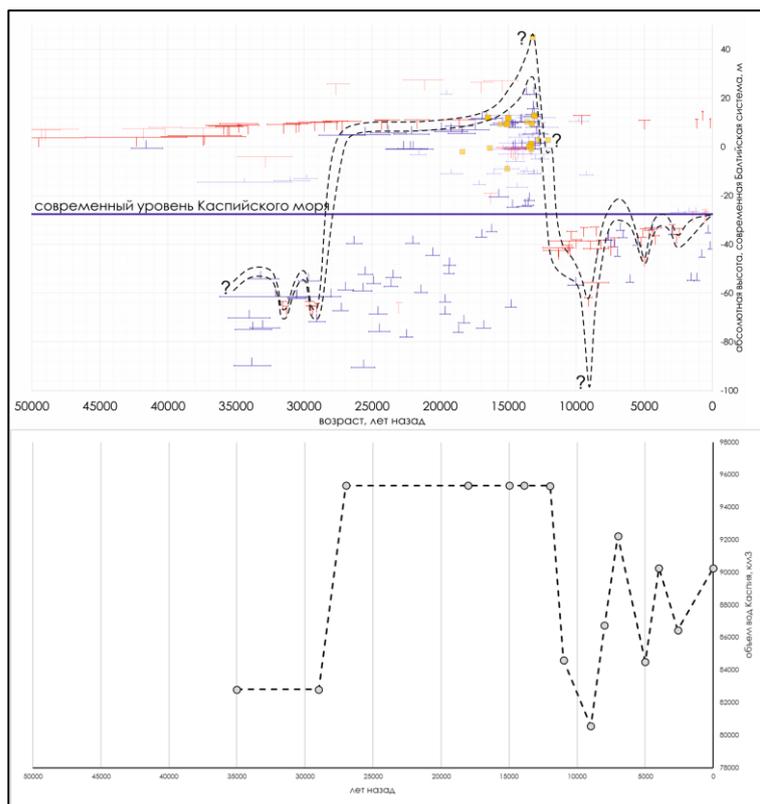


Рис. 77. Кривая колебания уровня моря (вверху) и кривая колебания объема водной массы в море (внизу).

Кривая изменения объема вод демонстрирует (Рис. 77), что пик хвалынской трансгрессии около 14000 лет назад связан не с единомоментным поступлением большого объема вод, а с тем, что к тому моменту, вероятно, вся плоская в геоморфологическом отношении Прикаспийская низменность заполнилась (покрылась) водами Каспийского моря, и для дальнейшего подъема на  $n$  метров в условиях более крутых склонов Общего Сырта и Ергеней был необходим меньший объем, чем на начальных этапах затопления Прикаспийской низменности.

## 6.2. Скорости осадконакопления.

На основе собранных и скорректированных геохронологических данных были подсчитаны скорости осадконакопления для ательских, хвалынских, мангышлакских

Для расчета объема вод использовались данные цифровой модели рельефа SRTM. При том, что модель имеет некоторые погрешности, а при моделировании диссертант не учитывал, к примеру, изменение топографии и батиметрии во времени, отметим, что подобные расчеты покажут лишь общую тенденцию изменения объема водной массы.

Кривая изменения объема вод демонстрирует (Рис. 77), что пик хвалынской трансгрессии около 14000 лет назад связан не с единомоментным поступлением большого объема вод, а с тем, что к тому моменту, вероятно, вся плоская в геоморфологическом отношении Прикаспийская низменность заполнилась (покрылась) водами Каспийского моря, и для дальнейшего подъема на  $n$  метров в условиях более крутых склонов Общего Сырта и Ергеней был необходим меньший объем, чем на начальных этапах затопления Прикаспийской низменности.

отложений. В виду разрозненности данных датирования по разным скважинам, построить качественную возрастную модель для отдельной скважины не представляется возможным (особенно учитывая сложную для моделирования историю осадконакопления с разными фациями и двумя перерывами в осадконакоплении). Поэтому в отдельных скважинах были посчитаны скорости осадконакопления для отдельных возрастных интервалов (Табл. 25).

Таблица 25. Рассчитанные скорости осадконакопления изучаемых отложений

скважина	толща	скорость, мм/год
SHKBK125	at	1.14
KHV2	hv1	2.05
KHV2	hv2	1.85
SAR1	hv2	0.72
R2	mg	0.17
KUL1	nk	0.21
R1	nk	0.29

Рассчитанные данные позволяют заключить, что в конце позднего плейстоцена — в ательский и хвалынский этапы — скорости осадконакопления были выше, чем в голоцене — в мангышлакский и новокаспийский этапы. Наибольшие скорости подсчитаны для начала хвалынского этапа (2,05 мм/год), что является весьма высоким показателем для шельфовой обстановки.

### 6.3. Палеогеографические этапы

#### 6.3.1. Ательский этап

Ательскому этапу соответствуют условия пониженного уровня Каспийского моря. Степень регрессии бассейна в данном случае оценить затруднительно – данные, полученные в рамках диссертационного исследования, позволяют лишь чётко указать уровень, ниже которого опускалось море. Таким уровнем является отметка -55 м от современного уровня Каспия (-83 м абс. БС), на которой в скважинах из района 6 вскрываются ательские отложения.

Растительные остатки, которыми богаты отложения ательского горизонта, представляют собой фрагменты аквальных высших растений (*Ceratophyllum* и *Typha*) (Yanina et al., 2021). Также для этих отложений характерно высокое содержание пыльцы водных и прибрежных растений (*Potamogeton*, *Sparganium*, *Lemna*, *Myriophyllum*). Состав раковинного материала в ательских отложениях (*Dreissena polymorpha polymorpha*, *Valvata piscinalis*, *Theodoxus pallasii*, *Limnea stagnalis*), в котором отсутствуют слабосоленоватоводные виды, свидетельствует об мелководных, опресненных или слабопроточных обстановках. Такой характер остатков флоры и фауны позволяет реконструировать дельтовые или авандельтовые условия накопления изученной ательской толщи в Северном Каспии.

Подтверждением этого вывода служит минеральный состав тяжелой подфракции, в котором преобладают рудные минералы (по мере увеличения содержания: гранат –

клинцоизит – роговая обманка – эпидот). Такой состав характерен для области, в которой накапливается только принесенный Волгой материал, где первыми осаждаются тяжелые рудные минералы, относительно много граната, а также и другие устойчивые минералы в малых концентрациях.

Изотопно-кислородные данные по ательским отложениям в районе 4 (Бердникова и др., 2018) также показывают, что ательские отложения накапливались в дельтовых условиях. Значения  $\delta^{18}\text{O}$  крайне низки, что обычно в Северном Каспии интерпретируется как повышенное речное влияние. По мере продвижения вверх по разрезу, условия, вероятно, сменялись авандельтовыми, так как изотопно-кислородный состав раковин остракод постепенно утяжелялся, все равно оставаясь относительно низким. Отмеченный тренд на повышение уровня моря в конце ательского этапа реконструируется также по данным соискателя об изменении уровня моря (Рис. 76).

Состав глинистых минералов с преобладанием иллита над смектитом говорит, предположительно, о повышенном стоке из Верхневолжского бассейна относительно Камского. Низкие содержания каолинита и хлорита отражают отсутствие весомого вклада в твердый сток в этот период р. Урал.

На основе имеющихся данных установить, как именно перестраивалась речная система Волги и Урала при глубокой регрессии, когда осушалась вся акватория Северного Каспия, проблематично. В результате работ в западной части Мангышлакского порога (Куприн и др., 1992) вскрыто палеоруло Волги, прослеженное по данным сейсмоакустического профилирования, положение которого позволяет отнести время его формирования к ательскому этапу. В то же время палео-Урал, вероятнее всего, впадал в Каспийское море восточнее (Рис. 78). Возможно, именно по его палеорулу было заложено более позднее мангышлакское палео-руло Урала и Волги, выявленное в результате инженерно-геологических изысканий в восточной части Мангышлакского порога (Безродных и др., 2018). Принимая во внимание все имеющиеся палеогеографические и геологические свидетельства, этот сценарий представляется наиболее вероятным, однако данный вопрос требует более детальной проработки, построенной на основе более обширного фактического материала.

Изученная толща ательских отложений по данным диссертанта относится к завершающей стадии регрессии, а именно ко временному отрезку до 30 т.л.н. (Рис. 78), что соотносится с морской изотопной стадией 3, когда климат в целом был холоднее современного, хотя отличался отдельными чуть более тёплыми фазами. Палинологические спектры (Yanina et al., 2021) указывают на смену растительных ассоциаций в регионе в течение накопления ательских отложений от еловых и сосновых лесов до лесостепей,

существовавших при более аридных обстановках, которые все же отражают лишь осцилляции в пределах прохладных климатических условий, что характерно для глобального климата по данным NGRIP (2004). Период некоторой аридизации в этап после накопления ательских отложений проявляется и при макроскопическом изучении керн в виде трещин усыхания.

Подводя итог, можно сказать, что изученные скважины позволяют проследить лишь окончание ательского этапа, соответствующего регрессивной фазе Каспийского моря, достигавшей отметок как минимум -55 м от СК (-83 м абс. БС). Накопление этих отложений происходило в прохладных условиях продвигавшейся вслед за уровнем моря дельты Волги во время изотопно-кислородной стадии 3. Основным поставщиком терригенного материала на данном этапе являлась Волга.

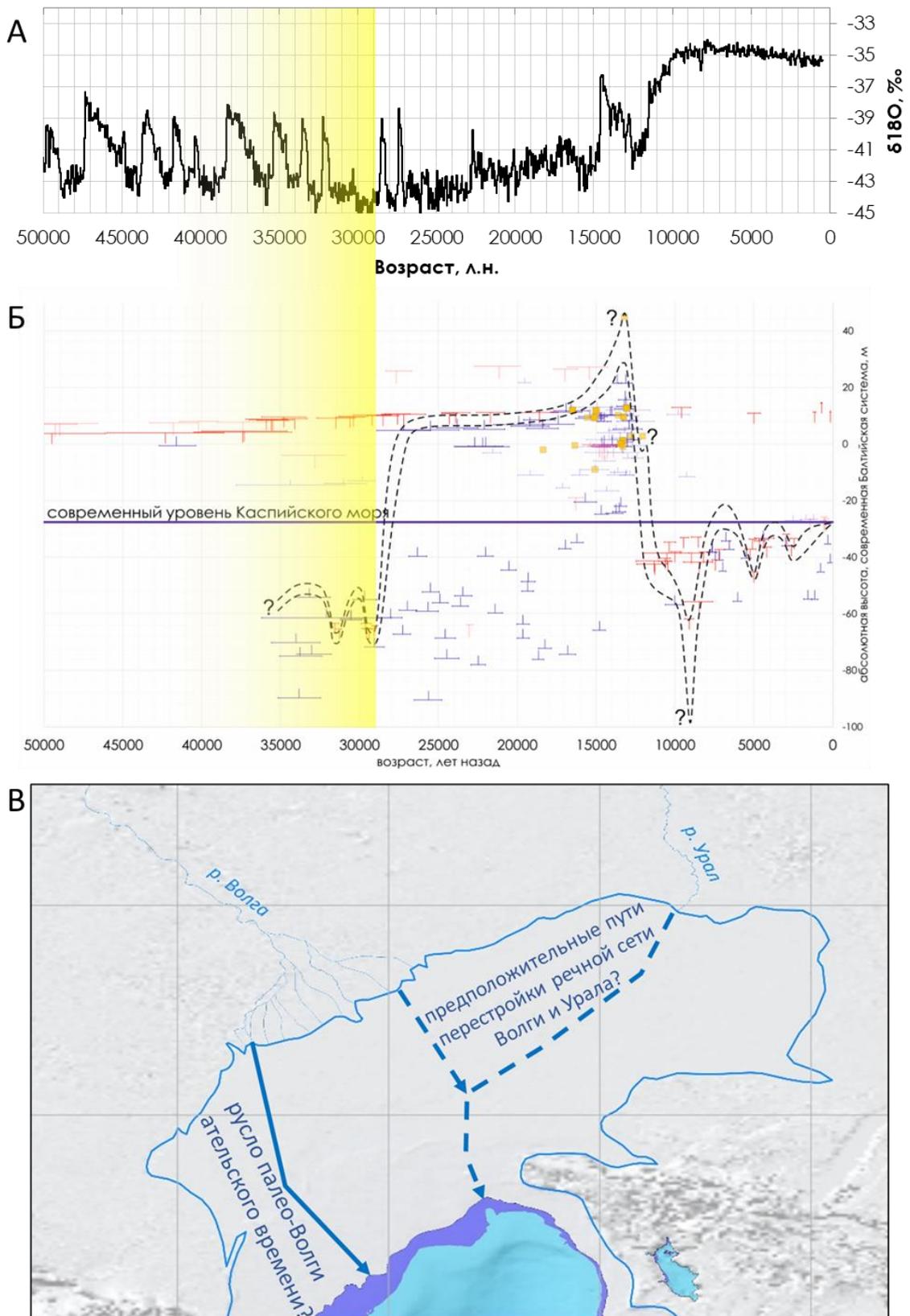


Рис. 78. А: Изотопно-кислородная кривая NGRIP (2004); Б: схема колебаний уровня моря по авторским данным (жёлтым выделен ательский этап); В: схема положения моря и речной системы в северокаспийском регионе в ательский этап (голубым – море в рассматриваемый этап, фиолетовым – диапазон определения уровня).

### **6.3.2. Хвалынский этап**

Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, позволяют предположить, что ко временной отметке порядка 30 т.л.н. в Северокаспийском регионе приурочено начало хвалынского этапа. Разумеется, в силу большой площади Северного Каспия и поступательного характера трансгрессии, которому свойственно постепенное затопление окружающей территории, изменение обстановок осадконакопления в разных частях акватории происходит асинхронно. Так, например, на нарастание трансгрессивного тренда указывает параллельное накопление дельтовых и авандельтовых отложений в районе 3 и морских отложений, богатых раковинным материалом, в районе 6. Подобная закономерность прослеживается во все переходные этапы – будь то начало или окончание трансгрессивно-регрессивных событий, и существенно усложняет установление четких хронологических границ тех или иных событий.

По своей внутренней структуре хвалынский этап неоднороден, что можно заметить и по строению толщи, соотнесенной с хвалынским горизонтом, и по реконструкции изменения уровня моря на протяжении данного этапа (Рис. 79).

#### **6.3.2.1. Хвалынский подэтап 1**

Начало *подъема уровня моря* в хвалынский этап приходится на окончание морской изотопной стадии 3 и предшествует наступлению поздневалдайской ледниковой эпохи и аридизации климата в Северном полушарии (NGRIP, 2004) во время последнего ледникового максимума, когда часть Верхневолжского бассейна была занята покровным оледенением (Stroeven et al., 2016).

Постепенный подъем уровня моря от района 6 (отметки подошвы хвалынских отложений -90 м абс. БС) до наиболее близкого к дельте Волги района 1 (-55 м абс. БС) происходил с 32,1 до 26,9 т.л.н., после чего море затопило Северный Прикаспий до отметок +33 м от СК (+5 м абс. БС), где накопились лагунные серые глины, вскрытые в разрезе Ленинск (Kurbanov et al., 2022).

Весь период подъема уровня моря сопровождался накоплением в Северном Каспии отложений, богатых раковинным материалом, которые постепенно, начиная с Широтной депрессии (район 3), стали перекрываться серыми глинами в период 26-22 т.л.н. Этот этап совпадает с периодом относительной стабилизации уровня моря на отметках +38 – +48 м от СК (+10 – +20 м абс. БС), о чем свидетельствуют установленное О.К. Леонтьевым (1965) положение береговой линии хвалынского времени на отметках +20 м, а также обобщенные данные по абсолютному возрасту соответствующих отложений.

Для данного этапа также характерно увеличение содержания смектита относительно иллита, и по-видимому, увеличение стока из Камского бассейна. Состав РЗЭ, а точнее

положение точек проб на дискриминационных диаграммах, отражающих изменения в питающих провинциях, немного меняется, что также может говорить не о смене источника материала, а о флуктуациях в нем.

Рассматривая причины такого подъема (Рис. 79) уровня Каспийского моря, можно предположить, что они, вероятнее всего, связаны непосредственно с климатическими изменениями, поскольку путь от регрессии до относительной стабилизации уровня моря в трансгрессивную фазу примерно соответствует по времени периоду перестройки климата при переходе от МИС 3 к МИС 2. Тем не менее открытым остается вопрос — произошло ли это повышение уровня моря за счет суммарного увеличения стока со всего водосборного бассейна (поскольку признаков кардинальных смен питающих провинций на не-Волжские не наблюдается), или за счет уменьшения испарения над акваторией моря и, в частности, предположительно, палео-Кара-Богаз-Гола? Поскольку, установление холодного и сухого климата ледниковой эпохи (МИС 2) должно было способствовать уменьшению общего стока Волги, предполагается, что большее влияние на развитие трансгрессивного ритма оказало уменьшение расходной составляющей водного баланса.

#### *6.3.2.2. Хвалынский подэтап 2*

Вторая фаза развития хвалынского бассейна сопровождается относительной стабилизацией уровня моря, возможно, с некоторыми осцилляциями на отметках +38 – +48 м от СК (+10 – +20 м абс. БС). Она соотносится со временным интервалом 22-18 т.л.н., когда господствовал относительно стабильно аридный и холодный климат.

Этот этап сопровождается накоплением во всех исследованных районах Северного Каспия толщи пылеватых песков с глинистыми прослоями и небольших толщ коричневых глин в пределах Широтной депрессии (районы 3-4) и за Мангышлакским порогом, (район 6). Смена характера осадконакопления с преобладания глинистого материала на преобладание песчаного связана, вероятно, именно со стабилизацией уровня моря, сменой седиментационного режима.

Обращает на себя внимание прослой, насыщенный гипсом в подошве коричневых глин в пределах районов 3 и 4. Изначально предполагалось, что он соответствует обмелению бассейна, однако других признаков изменения уровня моря выявлено не было. Принимая во внимание тот факт, что гипсовый прослой находится именно в подошве коричневых глин, его образование допустимо связать с диагенетическими процессами, происходящими в толще верхнечетвертичных отложений (Козина, 2015).

В отложениях рассматриваемого временного отрезка уменьшается содержание рудных минералов за счёт постепенного удаления от источника привноса материала, при этом остальные изменения не носят систематический характер. Все изменения в составе

минералов тяжелой подфракции в хвалынских отложениях второго этапа, вероятно, могли быть обусловлены несколькими факторами: а) изменением циркуляции вод в бассейне, которая, в свою очередь, менялась в силу того, что Северокаспийская акватория становилась все более глубоководной, или же б) развитием таких явлений, как песчаные бури.

Стабилизация уровня моря подтверждается данными датирования по разрезам северной части Нижнего Поволжья (Янина и др., 2017, Kurbanov et al., 2021, Kurbanov et al., 2022, Taratunina et al., 2022). В климатическом отношении это также был довольно стабильный этап аридного климата ледниковой эпохи.

### *6.3.2.3. Хвалынский подэтап 3*

Третий этап отвечает максимальной стадии трансгрессии Каспийского моря на всем рассматриваемом в работе временном промежутке. Уровень моря резко начал меняться – реконструируется его подъем за короткий срок до отметок, по некоторым данным, превышающим +78 м от СК (+ 50 м абс. БС). Данный этап маркируется в рельефе разных побережий Каспия (Леонтьев и др., 1977), а также по распространению лагунных шоколадных глин в Северном Прикаспии (Макшаев, 2019).

В акватории Северного Каспия этому времени соответствует толща переслаивающихся алевроитов, временные рамки накопления которой оценить затруднительно, поскольку в отложениях присутствует лишь небольшое количество раковинных остатков, обычно используемых для датирования. Наиболее «молодая» калиброванная радиоуглеродная дата, полученная по соответствующим отложениям составляет 14,8 т.л.н.кал., что соответствует началу интерстадиального потепления, выделяемого по пыльцевым зонам бёллинг-аллерёд, и, соответственно, началу МИС 1.

На Прикаспийской низменности синхронно этой толще накапливалась пляжевая фация, а затем лагунные шоколадные глины (Макшаев, 2019). Для отложений всё так же характерно в среднем преобладание смектита над иллитом в составе глинистых минералов, что отражает весомый вклад Камского бассейна в общий сток.

Минералогический состав тяжелой подфракции в этот этап так же не претерпел существенных изменений — наблюдается примерно равное содержание клиноцоизита и рудных минералов с отдельными образцами, в которых относительно много циркона и граната. Вклад Волги в этот этап преобладает.

Окончание этого периода в силу малого количества дат для отложений в акватории Северного Каспия, как отмечалось выше, оценить проблематично. Однако косвенные свидетельства возраста морских и прибрежных фаций, фиксируемые в Прикаспии

(радиоуглеродные даты по ним), позволяют оценить примерный возраст окончания хвалынского этапа как 11,5 т.л.н.кал.

Причина столь высокого подъема уровня моря на данном этапе, скорее всего, кроется не в уменьшении расходной составляющей водного баланса, как на первом этапе хвалынской трансгрессии, но в увеличении приходной. Так, для этого же хронологического интервала (около 18-14 т.л.н.) многими исследователями фиксируется плювиальная эпоха на Европейской части России, существенно увеличившийся речной сток (Panin, Matlakhova, 2015; Gelfan et al., 2024).

Рассмотренное строение толщи хвалынского горизонта не позволяет реконструировать глубокую (ниже современного уровня Каспия) енотаевскую регрессию (Свиточ, 2016), выделяющуюся по разрезам Нижнего Поволжья некоторыми исследователями между разными стадиями хвалынской трансгрессии. В толще хвалынских отложений в акватории Северного Каспия не наблюдается ни перерывов в осадконакоплении, ни врезов, которые могли бы свидетельствовать о регрессии. Таким образом, в данной работе показано, что по материалам бурения Северного Каспия нет оснований для выделения следующей — позднехвалынской — трансгрессии в самостоятельный этап. Возможно, это была одна из фаз стабилизации уровня моря на фоне общего перехода к мангышлакской регрессии от максимума хвалынского этапа.

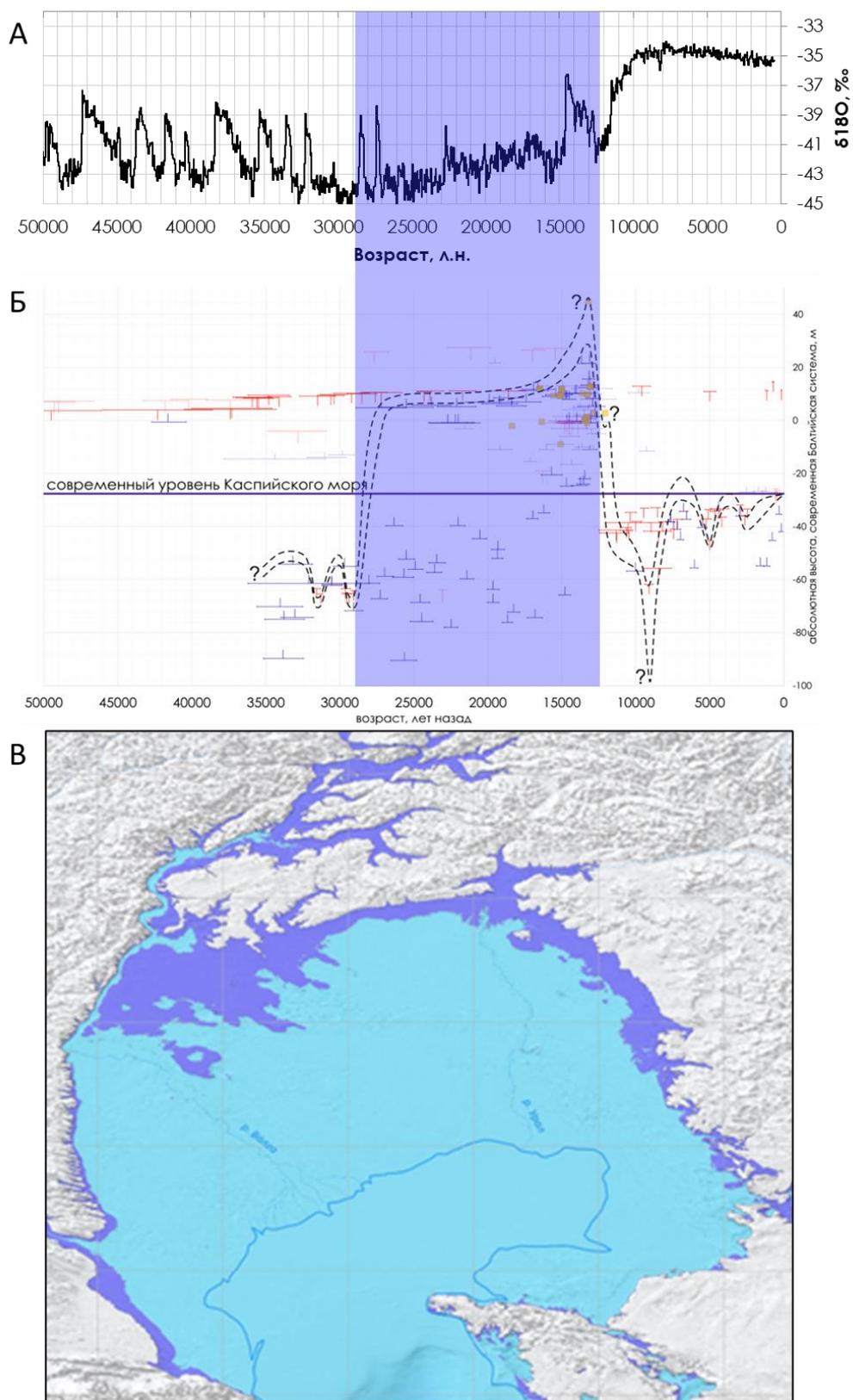


Рис. 79. А: Изотопно-кислородная кривая NGRIP (2004); Б: схема колебаний уровня моря по авторским данным (синим на графиках выделен хвалынский этап); В: схема положения моря и речной системы в северокаспийском регионе в максимум хвалынского этапа (голубым – море в максимум этапа, фиолетовым – диапазон его определения).

### 6.3.3. Мангышлакский этап

Обширная хвалынская трансгрессия сменилась глубоким регрессивным этапом в Каспийском регионе. В результате падения уровня моря шельф Северного Каспия осушался, что подтверждается повсеместно прослеженной зоной размыва и серией врезов в кровле хвалынского горизонта.

Явные свидетельства наличия затопленных береговых линий для мангышлакского этапа отсутствуют, что не позволяет оценить предел падения уровня моря, как и в случае с ательским этапом. Однако по положению тальвега фрагмента погребенной долины палео-Волги, вскрытого в районе 6, можно утверждать, что море опускалось до уровня -72 м от СК (-100 м абс. БС). Косвенно это подтверждается наличием на схожих глубинах в рельефе дна северного склона Среднего Каспия очертаний палеодельты (Маев, 1992).

Остается вопросом, функционировало ли в этот этап русло Волги в западной части Северного Каспия, где отмечаются серии понижений в современном рельефе, которые можно интерпретировать, как фрагменты одного из русел палео-Волги. Основное русло Волги того времени заложило по условной линии, простирающейся от восточной части современной дельты до палеодельты, выраженной в рельефе дна к юго-востоку от района 6. Палео-Урал же, судя по рельефу дна, впадал в палео-Волгу между районами 4 и 5 (Рис. 80).

Отложения данного этапа, видимо, начинали накапливаться сразу после образования рассмотренных ранее врезов и понижений. В районах 4 и 5 они датируются временем от 11,3 т.л.н.кал. Накопление глин в небольших врезках происходило в ильменных и дельтовых условиях. Минералы тяжелой фракции в отложениях, заполняющих врезки, подтверждают близость к р. Волге по преобладанию рудных минералов.

По данным анализа органических остатков и спорово-пыльцевых спектров (Безродных и др., 2018) отмечается большое количество клеток и обрывов растительных тканей, остатки ископаемых грибов и ксерофитная степная растительность без древесных компонент. Для нижней части отложений заполнения врезов (глинисто-карбонатных) характерно большое количество остатков роголистника — растения, которое растет в мелководных застойных условиях. Такие данные подтверждают накопление материала в ильменах или дельте в ходе постепенного выравнивания рельефа при заполнении понижений, в условиях сухого, но более теплого, чем в хвалынский этап, климата, в начале голоцена.

Преобладающий сток Камского бассейна в этот этап сменился равнозначным вкладом в сток Верхневолжского и Камского по данным состава глинистых минералов.

Окончание накопления отложений данного этапа пришлось примерно на 8 т.л.н.кал. (наиболее «молодая» дата по этим отложениям – 8,3 т.л.н.) (Рис. 80).

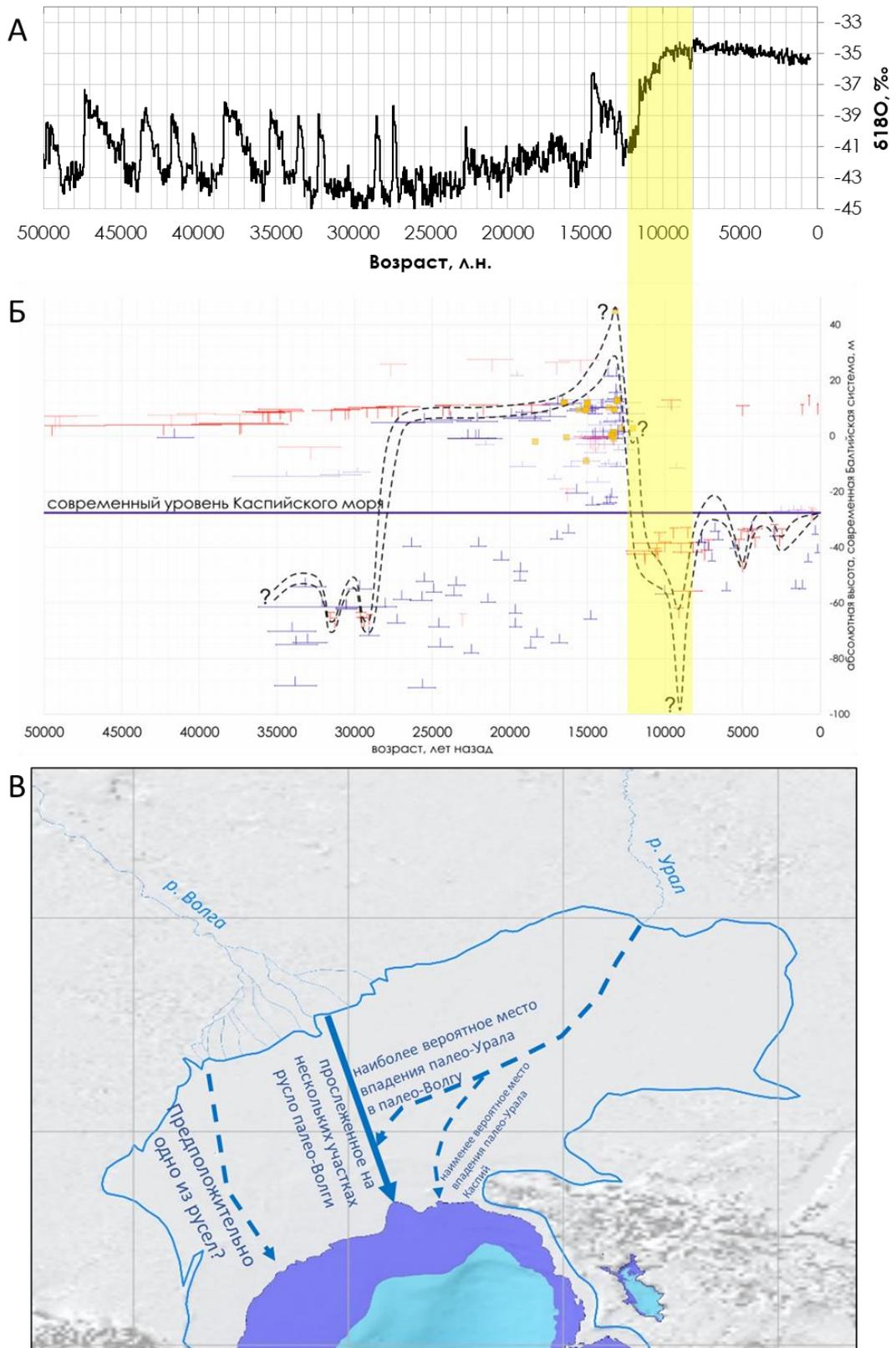


Рис. 80. А: Изотопно-кислородная кривая NGRIP (2004); Б: схема колебаний уровня моря по авторским данным (жёлтым выделен мангышлакский этап); В: схема положения моря и речной системы в северокаспийском регионе в мангышлакский этап (голубым – море в рассматриваемый этап, фиолетовым – диапазон определения уровня)..

#### **6.3.4. Новокаспийский этап**

Глубокий регрессивный этап вновь сменился трансгрессией Каспийского моря — новокаспийской — которая продолжается и по сегодняшний день. Уровень моря в ходе данного этапа поднялся примерно до современных отметок и неоднократно осциллировал в обе стороны от современного его положения (Рис. 81).

В этом этапе, как и в одноименном горизонте, выделяется 5 подэтапов: три трансгрессивных и два регрессивных.

##### *6.3.4.1. Новокаспийский подэтап 1*

Первый трансгрессивный этап отвечает эпохе накопления в Северном Каспии пылеватых песков, которая началась практически сразу после заполнения мангышлакских врезов. Верхняя часть мангышлакских палеоврезов в некоторых случаях «дозаполнялась» этими песками уже в прибрежно-морских условиях. Наиболее «древняя» дата для новокаспийских отложений первого этапа — 8,2 т.л.н.кал. То есть отложения в хронологическом отношении накапливались практически без перерыва с мангышлакским этапом.

Начало новокаспийской трансгрессии по данным диссертационной работы во временном отношении четко соотносится с началом тёплого и влажного атлантического периода голоцена (по схеме Блитта-Сернандера) или северогрипшианского этапа (согласно международной стратиграфической шкале) — 8,2 т.л.н., а также с периодом повышенного речного стока в Европейской части России (Panin, Matlakhova, 2015). Кроме того, отнесение данного этапа к теплым и влажным условиям подтверждается работой Н.С. Болиховской (2011) по анализу спорово-пыльцевых спектров в дельте Волги.

Трансгрессивный этап продолжался в период 8-6 т.л.н.кал., когда море достигло уровня +6 м от СК (-22 м абс. БС), судя по датам аккумулятивных морских террас в Дагестане (Геохронология СССР, 1974).

Вышеупомянутое увеличение флювиальной активности определило, по-видимому, и увеличение смектитовой составляющей в составе глинистых минералов новокаспийских отложений относительно иллитовой.

##### *6.3.4.2. Новокаспийский подэтап 2*

Второй этап представляет собой понижение уровня моря. Оно маркируется в районах 1-4 серий врезов, которые заполнены глинистыми тонкослоистыми отложениями. По положению тальвегов врезов можно предположить, что уровень моря падал примерно до отметок -12 м от СК (-40 м абс. БС). Понижения палеорельефа представляют собой скорее дельтовые протоки, чем ильмени и затоны. Этим обусловлено и большее содержание песчаной и алевритистой составляющих относительно заполнителей мангышлакских

врезов. В отложениях встречается множество растительных остатков (Bezrodnykh et al., 2020), что характерно для дельтовых условий. Флуктуации в составе глинистых минералов внутри новокаспийских отложений разных подгоризонтов невелики, так как и амплитуда колебания уровня моря была незначительна в масштабе позднеплейстоценовой истории Каспийского моря.

Временные рамки этого этапа: 6-4,2 т.л.н.кал. Самые «древние» даты получены по отложениям, заполняющим врезы – 5,2 т.л.н.кал. В период 6-5,2 т.л.н.кал до стабилизации базиса эрозии, по-видимому, происходило образование врезов.

#### *6.3.4.3. Новокаспийский подэтап 3*

Регрессивный этап сменился подъемом уровня моря, максимальный уровень которого сложно оценить в виду слабой изученности. Отложения данного этапа имеют схожи с отложениями первого этапа, их отличает лишь чуть более грубый гранулометрический состав.

Возрастные рамки этого этапа по данным датирования отложений акватории и прибрежных участков составляют 4-3 т.л.н.кал.

#### *6.3.4.4. Новокаспийский подэтап 4*

Четвертый этап отвечает регрессии Каспийского моря. Однако, величина падения уровня была меньше, чем во время первой новокаспийской регрессии – тальвеги врезов обнаружены на отметках -10 м от СК (-38 м абс. БС). Врезы представляют собой такие же по морфометрическим показателям формы, как и более ранние новокаспийские, их генерации заполнены идентичным глинистым материалом. Все это вновь позволяет говорить о пространственном смещении положения дельты Волги в связи с понижением уровня в направлении района 3 и о постепенном заполнении врезов в слабопроточных условиях вплоть до последующего этапа повышения уровня моря.

Временные рамки новокаспийского подэтапа 4 определены по возрасту отложений, заполняющих врезы, как 3-2 т.л.н.кал.

#### *6.3.4.5. Новокаспийский подэтап 5*

Финальный этап ознаменовался формированием современного покрова осадков в Северном Каспии и стабилизацией уровня моря на высотных отметках, близких к современным. Начало заключительной стадии датировано возрастом 1,6 т.л.н.кал. В этот период формировались осадки и мезорельеф, подробно описанные в нескольких работах, посвященных современному Северному Каспию (Лебедев и др., 1973, Хрусталеv, 1978, 1989, Козина, 2015).

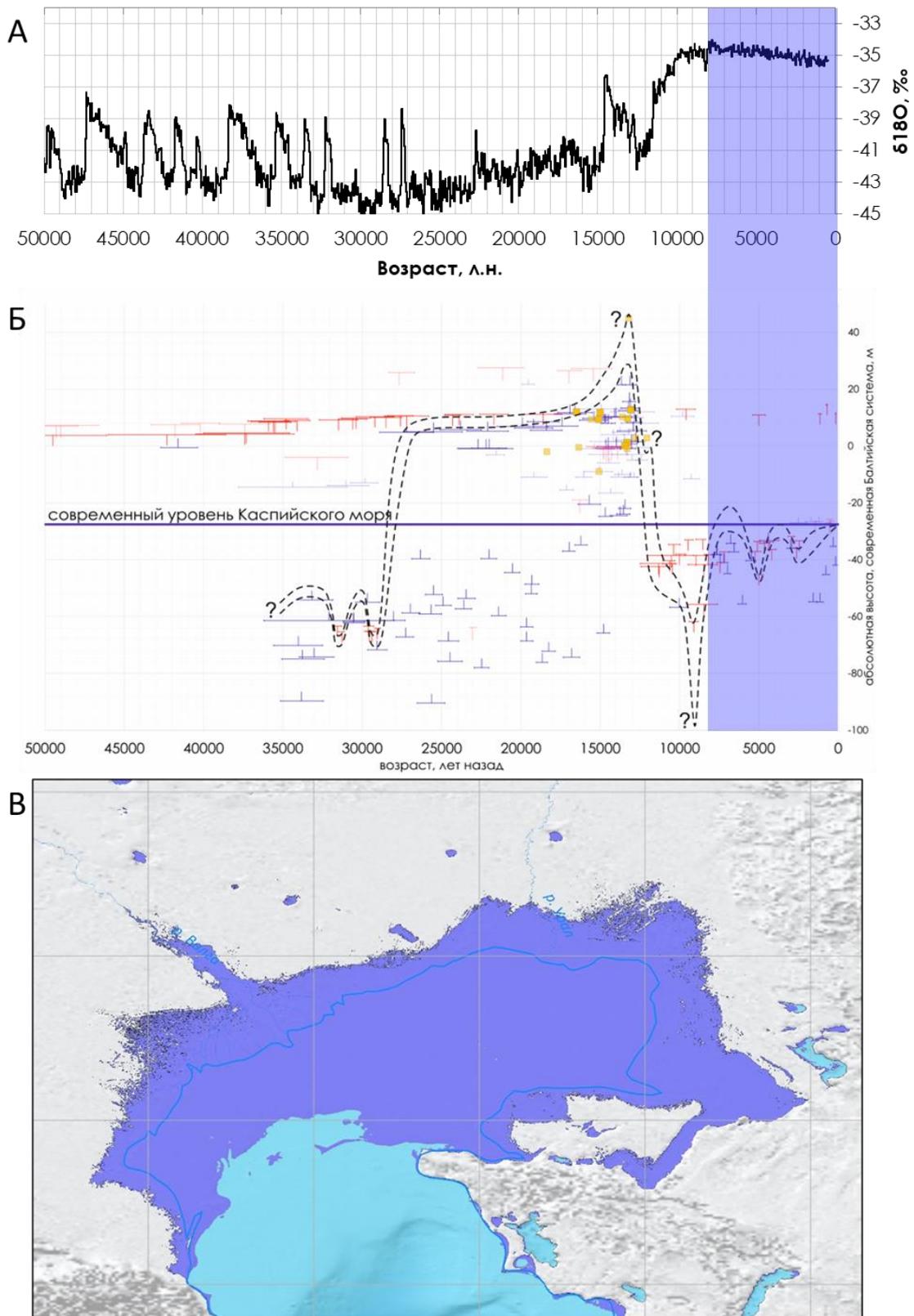


Рис. 81. А: Изотопно-кислородная кривая NGRIP (2004); Б: схема колебаний уровня моря по авторским данным (синим на графиках выделен новокастийский этап); В: схема положения моря и речной системы в северокастийском регионе в новокастийский этап (голубым – море в максимум этапа, фиолетовым – диапазон колебаний в новокастийский этап)

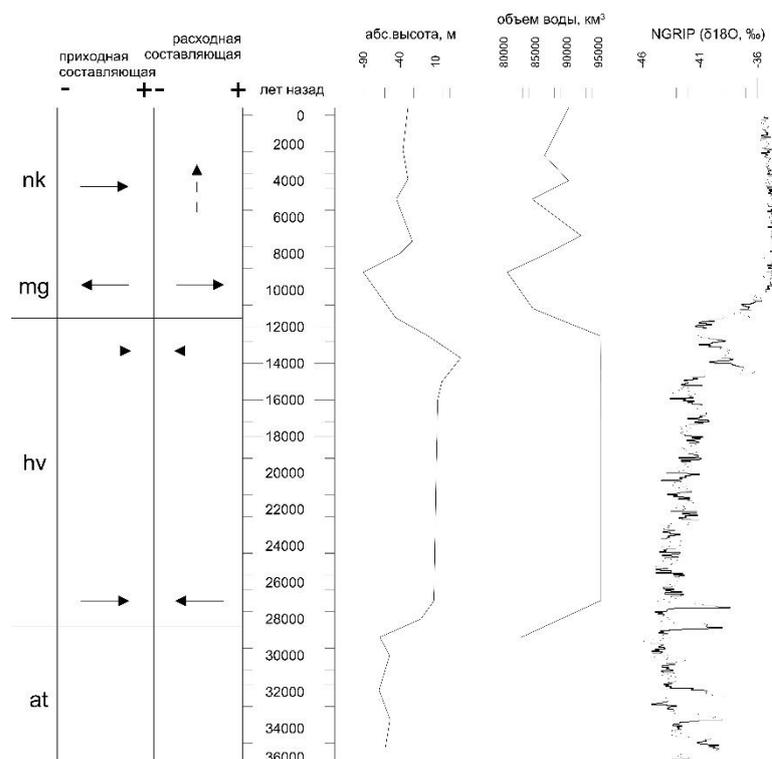


Рис. 82. Объединенные данные об изменении приходной и расходной составляющих водного баланса при колебаниях уровня Каспия

На основе палеогеографической реконструкции были объединены данные о приходной и расходной составляющей водного баланса Каспийского моря, колебаниях уровня моря, изменении объема и климатических изменений в Северном полушарии (NGRIP, 2004) (Рис. 82).

Эти данные подтверждают общую зависимость колебаний уровня Каспия от климатических изменений.

## Заключение

В результате диссертационного исследования достигнута цель — выявлены особенности позднечетвертичного седиментогенеза в Северном Каспии. Обратимся к основным выводам, сделанным в ходе работы:

1) В отличие от фрагментированных разрезов четвертичных отложений на окружающей суше, на шельфе Северного Каспия в многочисленными скважинами вскрыта заметно более полная последовательность верхнечетвертичных отложений. В их составе по смене комплексов фауны моллюсков и литологических признаков выделено 4 горизонта, отражающих существенные колебания уровня моря в интервале до  $\pm 80$  м от современного уровня моря. Радиоуглеродное датирование позволило установить их возрастные границы в интервалах более 30 тыс. лет назад для регрессивного ательского, 30-11,5 тыс. лет назад для трансгрессивного хвалынского, 11,5-8 тыс. лет назад для регрессивного мангышлакского и 8-0 тыс. лет назад для новокаспийского трансгрессивного горизонтов. По данным сейсмоакустического профилирования выделенные толщи разделены региональными отражающими горизонтами, соотнесены с разрезами скважин,

скоррелированы между изученными участками шельфа, различаются по условиям их залегания.

2) В строении верхнечетвертичных отложений Северного Каспия участвуют различные литологические типы, сформированные в терригенных условиях осадконакопления: ильменно-озерных, дельтовых, авандельтовых и шельфовых. В регрессивные эпохи палеорельеф определял латеральное распределение отложений. Смена обстановок осадконакопления происходила без заметных хронологических перерывов.

3) Изучение вещественного состава осадков позволило установить по результатам изучения минералогии обломочной и глинистой фракций и составу РЗЭ соотношение во времени Верхневолжского и Камского источников питания терригенным материалом на фоне существования единой волжской терригенно-минералогической провинции осадков. Волга, несмотря на существенные изменения в ее бассейне на протяжении рассматриваемого периода, по данным геохимии и минералогии являлась преобладающим источником привноса материала в Северный Каспий.

4) Анализ строения, вещественного состава и геохронологический хвалынский отложений свидетельствует о составном характере хвалынской трансгрессии, который отличается от картины, реконструированной предшественниками по береговым разрезам. Отложения первого и, как правило, второго этапов прослеживаются лишь в скважинах Северного Каспия, в то время как отложения, традиционно выделяемые как нижне- (например, шоколадные глины) и верхнехвалынские в береговых разрезах, соотносятся в диссертационном исследовании с третьим хвалынским этапом.

5) Строение отложений Северного Каспия не позволяет выделить глубокую енотаевскую регрессию, описанную предшественниками по одному из разрезов Нижнего Поволжья между ранне- и позднехвалынской трансгрессиями. Как следствие, позднехвалынская трансгрессия Каспия, выделяемая по береговым разрезам и морским террасам, вероятнее всего, является не самостоятельным трансгрессивным событием, а осцилляцией или периодом стабилизации уровня моря при общем отступании хвалынского моря после достижения максимума трансгрессии.

6) Все реконструированные в рамках диссертационного исследования колебания уровня моря и, следовательно, смены условий осадконакопления обусловлены климатическими изменениями, что подтверждается сходством динамики кривой колебаний Каспийского моря, построенной в рамках диссертационного исследования, с изотопно-кислородной кривой NGRIP.

## Список литературы

1. Алексеева Л.И. Териофауна раннего антропогена Восточной Европы / Алексеева Л.И. — М.: АН СССР — 1977. — 214 с.
2. Андреева С.И. Эволюционные преобразования двустворчатых моллюсков Аральского моря в условиях экологического кризиса / Андреева С.И., Андреев Н.И. — Омск: Изд-во Омск. гос. пед. ун-та. — 2003. — 382 с.
3. Анистратенко В.В. Определитель гребнежаберных моллюсков (Gastropoda, Rostinibranchia) фауны Украины / Анистратенко В.В. // Вестник зоологии. — 1998. — №8. — с. 3-65.
4. Арсланов Х.А. О возрасте плейстоценовых и голоценовых отложений Каспийского моря (по данным радиоуглеродного и уран-иониевого методов датирования) / Арсланов Х.А., Герасимова С.А., Леонтьев О.К., Локшин Н.В., Мамедов А.В., Рычагов Г.И., Тертычный Н.И., Ширинов Н.Ш. // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. — 1978. — №48. — с. 39-48.
5. Арсланов Х.А. О возрасте хазарских, хвалынских и новокаспийских отложений Каспийского моря (по данным радиоуглеродного и ураново-иониевого методов) / Арсланов Х.А., Локшин Н.В., Мамедов А.В., Алескерев Б.Д., Герасимова С.А., Тертычный Н.И., Тертычная Т.В., Чернов С.Б. // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. — 1988. — №57. — с. 28-38.
6. Асадуллаев Э.М. Палеомагнетизм и стратиграфия позднекайнозойских отложений Прикуринской низменности / Асадуллаев Э.М., Певзнер М.А. // Палеомагнитный анализ при изучении четвертичных отложений и вулканитов. — М.: Наука. — 1973. — с. 6-11.
7. Бадинова В.П. Радиоуглеродные датировки Лаборатории ВСЕГЕИ (индекс Л Г). Список IV / Бадинова В.П., Зубаков В.А., Ициксон Е.М., Черепанов Е.В., Липин В.М. // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. — 1978. — №48. — с. 208-212.
8. Бадинова В.П. Радиоуглеродные датировки лаборатории ВСЕГЕИ (ЛГ). Список III / Бадинова В.П., Зубаков В.А., Ициксон Е.М., Руднев Ю.П. // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. — 1976. — №45. — с. 154-164.
9. Безродных Ю.П. Биостратиграфия, строение верхнечетвертичных отложений и некоторые черты палеогеографии Северного Каспия / Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф., Делия С.В., Магомедов Р.Д., Сорокин В.М., Парунин О.Б., Бабак Е.В. // Стратиграфия. Геологическая корреляция. — 2004. — 12, № 1. — С. 114-124.

10. Безродных Ю.П. Мангышлакские отложения (голоцен) Северного Каспия / Безродных Ю.П., Делия С.В., Романюк Б.Ф., Федоров В.И., Сорокин В.М., Лукша В.Л. // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2014. – 22, № 4. – С. 88-108.
11. Безродных Ю.П. Новые данные по стратиграфии верхнечетвертичных отложений Северного Каспия / Безродных Ю.П., Делия С.В., Романюк Б.Ф., Сорокин В.М., Янина Т.А. // Доклады Академии наук. – 2015. – 462, № 1. – С. 95-99.
12. Безродных Ю.П. Первые данные о радиоуглеродном возрасте ательских отложений Северного Каспия / Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф., Сорокин В.М., Янина Т.А. // Доклады Академии наук. – 2017. – 473, № 3. – С. 327-330.
13. Безродных Ю.П. Строение осадочной толщи голоцена Северного Каспия как отражение изменений климата и уровня моря / Безродных Ю.П., Янина Т.А., Сорокин В.М., Романюк Б.Ф. // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2018. – 5. – С. 52-60.
14. Богуцкая Н.Г. Определитель рыб и беспозвоночных Каспийского моря. Т1. Рыбы и моллюски / Богуцкая Н.Г., Кияшко П.В., Насека А.М., Орлова М.И. // Спб.; М.: Товарищество научных изданий КМК. — 2013. — 543 с.
15. Болгов М. В. Каспийское море: экстремальные гидрологические события / М. В. Болгов, Г. Ф. Красножон, А. А. Любушин. – М.: Наука, 2007. – 381 с.
16. Болиховская Н. С. Эволюция климата и ландшафтов Нижнего Поволжья в голоцене / Н.С. Болиховская // Вестник Московского Университета. Серия 5: География. Изд-во Моск. ун-та. – 2011. – № 2. – С. 13-27.
17. Болиховская Н.С. Природная обстановка ательской эпохи (по данным палинологического анализа) / Болиховская Н.С., Янина Т.А., Сорокин В.М. // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2017. — №6. — с. 96-101.
18. Васильев Ю.М. Новые данные о возрасте второй надпойменной террасы Волги / Васильев Ю.М. // Бюлл. комиссии по изучению четвертичного периода. — 1967. — № 34. — с. 99-107.
19. Ганзей С.С. Хронология палеогеографических событий позднего кайнозоя Понто-Каспия (по данным метода треков). Автореф. диссерт. Ганзей С.С. — Москва, МГУ. — 1984. — 24 с.
20. Геология СССР. Т.46. Ростовская, Волгоградская, Астраханская области. Калмыцкая АССР. — Москва: Недра. — 1970. — 650 с.
21. Геохронология СССР. Том 3. Новейший этап. / Недра, Ленинград. — 1974 — 359 с.

22. Герасимов И.П. Радиоуглеродные исследования Радиометрической лаборатории Института географии АН СССР. Сообщение 1 / Герасимов И.П., Завельский Ф.С., Чичагова О.А., Дорошенко В.В., Черкинский А.Е., Парунин О.Б., Васенкова Л.Г., Лыхин В.Л. // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. — 1975. — №44. — с. 154-159.
23. Глумов И.Ф. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря / Глумов И.Ф., Маловичкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В. // ООО "Недра-Бизнесцентр", Москва. — 2004. — 342 с.
24. Гофман Е.А. К стратиграфии четвертичных отложений Северного Каспия / Гофман Е.А., Рихтер В.Г. // В сб.: «Палеонтология и стратиграфия нефтегазоносных областей СССР». — Москва, АН СССР. — 1963.
25. Громов В.И. Стратиграфическое значение четвертичных млекопитающих Поволжья / Громов В.И. // Труды Комис. по изуч. четв. пер. — 1935. — Т. 4. Вып. 2. — с. 309-324.
26. Гурарий Г.З. Стратиграфическое положение палеомагнитной границы Матуяма - Брю-нес в разрезах Западной Туркмении и Азербайджана / Гурарий Г.З., Трубихин В.М., Ушко К.А. // Главное геомагнитное поле и проблемы палеомагнетизма. — 1976. — Л.: Наука.
27. Кантор Ю.И. Каталог моллюсков России и сопредельных стран / Кантор Ю.И., Сысоев А.В. // Москва, КМК. — 2005. — 629 с.
28. Каплин П. А. Радиоуглеродные датировки лабораторий Географического факультета МГУ и Института океанологии АН СССР (Индекс МГУ-ИОАН) / Каплин П. А., Парунин О. Б., Шлюков А. И., Гракова И. В., Хаит В. З., Федоров Е. В. // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. — 1972. — №39. — с. 165-173.
29. Каплин П.А. Радиоуглеродные датировки Лаборатории новейших отложений географического факультета МГУ. (Сообщение II) / Каплин П.А., Парунин О.Б., Шлюков А.И., Гракова И.В., Хаит В.З., Тимашкова Т.А. // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. — 1973. — №40. — с. 184-188.
30. Карпычев Ю.А. Датировка по  $^{14}\text{C}$  регрессивных стадий Каспийского моря / Карпычев Ю.А. / Водные ресурсы. — 1998. — т. 25, №3. — с. 274-278
31. Карпычев Ю.А. Изучение донных отложений Каспийского моря и Днепро-Бугского лимана по данным радиоуглеродного анализа / Карпычев Ю.А. / Водные ресурсы. — 1987. — №1. — с. 147-154

32. Карпычев Ю.А. Трансгрессивно-регрессивные стадии Каспийского моря за последние 20 тыс. лет по <sup>14</sup>C датировкам прибрежных и донных отложений / Карпычев Ю.А. / Океанология. — 2005. — т. 45, №3. — с. 447-457
33. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы ее изучения / Качинский Н.А. / М.: Изд-во АН СССР. — 1958. — 192 с.
34. Квасов Д. Д. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы / Д. Д. Квасов. — Л.: Наука, 1975. — 278 с.
35. Кириллова И.В. Водяная полевка (*Arvicola*, *Arvicolinae*, *Rodentia*) из хазарских отложений Нижней Волги / Кириллова И.В., Тесаков А.С. // Экология антропогена и современности: природа и человек. СПб: Гуманистика. — 2004. — С. 168-170.
36. Кленова М.В. Осадки Каспийского моря / Кленова М.В., Ястребов А.А. и др. // Л.: АН СССР. — 1962. — 637 с.
37. Кленова М.В. Основные закономерности морского осадкообразования / Кленова М.В. // Изв. Акад. наук СССР. сер. геол. — 1951. — № 1.
38. Козина Н.В. Минеральный состав донных отложений и особенности современного осадконакопления в Каспийском море. Диссертация .... к.г.-м.н. по спец. 25.00.28 / Москва, ИО РАН. — 2015. — 245 с.
39. Козина Н.В. Состав обломочных минералов поверхностного слоя донных осадков Каспийского моря / Козина Н.В., Новигатский А.Н. // Океанология. — 2014. — Т. 54. № 3. — с. 378-395.
40. Кошкин В.Л. Датирование вулканических пеплов из четвертичных и неогеновых отложений по трекам от осколков деления урана. Автореф. диссер. / Пермь. — 1984. — 24 с.
41. Кулакова Л.С. О минеральном составе современных осадков восточного побережья Южного Каспия / Кулакова Л.С. // Докл. АН СССР. — 1959. — Т 124. № 2. — с. 406-409.
42. Куприн П.Н. Геологическая структура Мангышлакского порога / Куприн П.Н., Росляков А.Г. // Геотектоника. — 1991. — 2. — С. 28-40.
43. Куприн П.Н. Строение разреза и литология плиоцен-четвертичных отложений в Каспийском море / Куприн П.Н., Лукша В.Л., Семенов Е.О. // Литология и полезные ископаемые. — 1992. — 5. — С. 35-50.
44. Купцов В.М. Радиоуглеродные датировки Института океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР. Сообщение VI / Купцов В.М. // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. — 1985. — №54. — с. 152-164.

45. Лебедев Л. И. Осадки Каспийского моря / Л. И. Лебедев, Е. Г. Маев, Л. С. Кулакова, О. К. Бордовский. – М.: Наука, 1973. – 119 с.
46. Лебедев С. А. Динамика Каспийского моря по данным инструментальных измерений, результатам моделирования и данным дистанционного зондирования / С. А. Лебедев, А. Г. Костяной, А. И. Гинзбург. // III Международная научно-практическая конференция «Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий», Майкоп 11–14 мая 2015 г. – Майкоп: МГТУ, 2015. – С. 146-179.
47. Леднев В.А. Течения Северного и Среднего Каспия / Леднев В.А. // М.: Морской транспорт. — 1943. — 97 с.
48. Леонтьев О.К. Геоморфология берегов и дна Каспийского моря / Леонтьев О.К., Маев Е.Г., Рычагов Г.И. // М.: МГУ. — 1977. — 210 с.
49. Леонтьев О.К. Колебания уровня Каспийского моря в голоцене / Леонтьев О.К., Чекалина Т.И. // Колебания увлажненности Арало-Каспийского региона в голоцене. — М.: Наука. — 1980. — с. 90-98.
50. Леонтьев О.К. Происхождение и возраст бэровских бугров / Леонтьев О.К., Фотева Н.Н. // Известия АН СССР. Серия Географическая. — 1965. — №2. — с. 90-97.
51. Лобачева Д.М. Литофациальное строение и условия накопления отложений Бэровских бугров Северного Каспия / Лобачева Д.М., Бадюкова Е.Н., Макшаев Р.Р. // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2021. – 6. – С. 89-101.
52. Логвиненко Б.М. Тип Моллюски. Mollusca / Логвиненко Б.М., Старобогатов Я.И. // Атлас беспозвоночных Каспийского моря. — М.: Пищевая промышленность. — 1968 — с. 308-385.
53. Лохин М.Ю. Позднеплейстоценовые дельты на шельфе северной части Среднего Каспия / Лохин М.Ю., Маев Е.Г. // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 1990. – 3. – С. 34-40.
54. Лукашин В.Н. Минеральный состав осадочного материала в Каспийском море / В.Н. Лукашин, А.П. Лисицын, О.М. Дара, Н.В. Козина, А.А. Ключиткин, А.Н. Новигатский // Океанология. — 2016. — 56(6) — с. 935-945.
55. Маев Е. Г. Регрессии Каспийского моря (их место в четвертичной истории Каспия и роль в формировании рельефа дна) / Е. Г. Маев // Геоморфология. – 1994. – №2. – С. 94-101
56. Макшаев Р. Р. Палеогеография Среднего и Нижнего Поволжья в эпоху раннехвалынской трансгрессии Каспия: автореферат дис. ... кандидата географических наук

: 25.00.25 / Макшаев Радик Рафаэлевич; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. – Москва, 2019. – 26 с.

57. Макшаев Р. Р. Хронология хвалынского этапа развития Каспия по данным радиоуглеродного датирования / Р. Р. Макшаев, Н. Т. Ткач // Геоморфология, М.: Наука. – 2023. – том 54, № 1. – С. 37-54.

58. Мамедов А. В. Палеогеография Азербайджана в раннем и среднем плейстоцене / Мамедов А. В., Алескеров Б. Д. // Баку: ЭЛМ. — 1988. — 158 с

59. Маслов А.В. Распределение редкоземельных элементов и систематика  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в современных донных осадках Каспийского моря / Маслов А.В., Козина Н.В., Клювиткин А.А. и др. // Докл. РАН. — 2014. — Т. 459. № 2. — с. 203-207.

60. Маслов А.В. Распределение ряда редких и рассеянных элементов в современных донных осадках Каспийского моря / Маслов А.В., Козина Н.В., Клювиткин А.А., Новигатский А.Н., Филиппов А.С., Шевченко В.П. // Океанология. — 2016. — 56(4). — с. 605-617.

61. Международная тектоническая карта Каспийского моря и его обрамления / Москва. Институт литосферы окраинных и внутренних морей РАН — 2003.

62. Михалевский А.И. Схема течений Каспийского моря / Михалевский А.И. // Записки по гидрографии. — 1931. — Т. 16. — с. 46-54.

63. Мордухай-Болтовской Ф.Д. Атлас беспозвоночных Аральского моря / Мордухай-Болтовской Ф.Д. / Пищевая промышленность, Москва. — 1974. — 270 с.

64. Москвитин А. И. Плейстоцен Нижнего Поволжья / А. И. Москвитин // Труды Геолог. ин-та АН СССР. – М.: Изд-во АН СССР. – 1962. – Вып. 64. – 263 с.

65. Мяконин В.С. Литолого-стратиграфическая характеристика и особенности строения четвертичных отложений северо-западной части Каспийского моря / Мяконин В.С., Тураев И.А. // Комплексные исследования Каспийского моря. — М.: Изд-во МГУ. — 1970. —Вып. 1. — с. 149–159

66. Немцова Г.М. Состав и источники глинистого материала морен Центра и Севера Русской равнины / Немцова Г.М. // Новые материалы по палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. Уфа, 1986. С. 22-28.

67. Панин А. В. Флювиальные процессы и речной сток на Русской равнине в конце поздневалдайской эпохи / А. В. Панин, А. Ю. Сидорчук, О. К. Борисова // Горизонты Географии. К 100-летию К.К. Маркова. – М.: Типография Россельхозакадемии, 2005. – С. 114-127.

68. Парунин О.Б. Список радиоуглеродных датировок Лаборатории новейших отложений Географического факультета МГУ (индекс - МГУ) / Парунин О.Б., Шлюков А.И.,

Хаит В.З., Тимашкова Т.А. // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. — 1974. — №41. — с. 200-204.

69. Парунин О.Б. Список радиоуглеродных датировок Лаборатории новейших отложений географического факультета МГУ. Сообщение XI / Парунин О.Б., Тимашкова Т.А., Турчанинов П.С., Шлюков А.И. // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. — 1985. — №54. — с. 133-138.

70. Парунин О.Б. Список радиоуглеродных датировок лаборатории новейших отложений географического факультета МГУ. Сообщение XII / Парунин О.Б., Тимашкова Т.А., Турчанинов П.С., Шлюков А.И. // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. — 1989. — №58. — с. 166-171.

71. Рихтер В.Г. Новые данные по геологии западной части акватории Северного Каспия / Рихтер В.Г., Гофман Е.А. // Новости нефтяной техники, геология. — 1962. — №1.

72. Рычагов Г. И. Плейстоценовая история Каспийского моря / Г. И. Рычагов. — М.: Изд-во МГУ, 1997. — 267 с.

73. Рычагов Г. И. Плейстоценовая история Каспийского моря: Автореферат дис. на соиск. учен. степени д-ра геогр. наук: 11.00.04 / Рычагов Георгий Иванович; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. Геогр. фак. — Москва, 1977. — 62 с.

74. Рычагов Г. И. Уровенный режим Каспийского моря за последние 10000 лет // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 1993. — 2.

75. Свиточ А. А. Биостратиграфия плейстоцена Каспийского моря / А. А. Свиточ, Т.А. Янина // Четвертичная геология и палеогеография России. — М.: ГЕОС, 1997. — С. 143-151

76. Свиточ А. А. Колебания уровня Каспийского моря в плейстоцене (классификация и систематическое описание) / А. А. Свиточ // Каспийское море. Палеогеография и геоморфология. — М.: Наука. — 1991. — С. 5-100.

77. Свиточ А. А. Маныч: история древних проливов / А. А. Свиточ // Природа. — 2014. — 1 — С. 15-23.

78. Свиточ А. А. Материалы изучения керна скважины 1 в Северном Каспии (описание керна, малакофаунистический, радиоуглеродный и магнитный анализы, стратиграфия и условия накопления) / А. А. Свиточ, Х. А. Арсланов, В. А. Большаков, Т. А. Янина // Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. — М.: Географический ф-т МГУ, 2008. — С. 128-143.

79. Свиточ А.А. Новейшая история трёх морей / Свиточ А.А., Селиванов А.О., Янина Т.А. / Природа. — 1998. — №6. — с. 17-25.

80. Свиточ А.А. Радиоуглеродное датирование раковин моллюсков из морских Дагестанского побережья Каспия (Туралинский полигон) / Свиточ А.А., Бадюкова Е.Н., Крооненберг С.В., Парунин О.Б., Вонхов Х.Б. // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2006. — №3. — с. 13-21.
81. Свиточ А.А. Радиоуглеродное датирование раковин моллюсков отложений Дагестанского побережья Каспия (Туралинский полигон) / Свиточ А.А., Бадюкова Е.Н., Крооненберг С.В., Парунин О.Б., Вонхов Х.Б. // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2006. — 3. — С. 13-21.
82. Свиточ А.А. Радиоуглеродный возраст палеогеографических событий позднего плейстоцена Северного Прикаспия / Свиточ А.А., Парунин О.Б. // Доклады Академии наук. — 2001. — 371(4). — с. 535-540.
83. Седайкин В.М. Опорные разрезы четвертичных отложений Северо-Западного Прикаспия / Седайкин В.М. / Деп. ВИНТИ, N 1594-В-88. — 1988. — 190 с.
84. Семиколенных Д.В. Возраст хвалынского пролива в позднеплейстоценовой истории Манычской депрессии / Семиколенных Д.В., Курбанов Р.Н., Янина Т.А. // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2022. — 5. — С. 103-112.
85. Сорокин В.М. О возрасте верхнечетвертичных отложений Северного Каспия / Сорокин В.М., Янина Т.А., Романюк Б.Ф. // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2023. — 4. — С. 75-85.
86. Старобогатов Я.И. Виды фауны России и сопредельных стран. Дрейссена *Dreissena polymorpha* (Pall.) (*Bivalvia*, *Dreissenidae*) / Старобогатов Я.И. // Систематика и палеонтология. — 1994. — с. 18-46.
87. Старобогатов Я.И. Моллюски. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т.6. Моллюски, полихеты, немертины. / Старобогатов Я.И., Прозорова Л.А., Богатов В.В., Саенко Е.М. / СПб.: Наука. — с.9-491.
88. Судакова Н.Г. Минералогические провинции древнеледниковой области Русской равнины / Судакова Н.Г., Немцова Г.М. // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2004. — № 2. — С. 42-47.
89. Судакова Н.Г. Палеогеографические закономерности изменчивости состава морен в центральной части Восточно-Европейской равнины / Судакова Н.Г., Немцова Г.М., Глушанкова Н.И. // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2014. — №4. — с. 62-68.
90. Туровский Д.С. Локализация глинистых минералов в верхнем слое донных осадков акватории Каспийского моря / Туровский Д.С., Хеиров М.Б., Ратеев М.А. // Литология и полезные ископаемые. — 1981. — №1. — с. 6-17

91. Федоров П. В. Каспийские четвертичные моллюски рода *Didacna* Eichwald и их стратиграфическое значение / Федоров П.В. // Стратиграфия четвертичных отложений и новейшая тектоника Прикаспийской низменности. — 1953. — с. 112-130.
92. Федоров П. В. Стратиграфия четвертичных отложений и история развития Каспийского моря / П. В. Федоров // Труды Геологич. ин-та АН СССР. — 1957. — Вып. 10. — 308 с.
93. Федоров П.В. Плейстоцен Понто-Каспия / Федоров П.В. / М.: Наука. — 1978. — 165 с.
94. Хрусталеv Ю.П. Закономерности осадконакопления во внутриконтинентальных морях аридной зоны / Хрусталеv Ю.П. / Л.: Наука. — 1989. — 261 с.
95. Хрусталеv Ю.П. Закономерности современного осадкообразования в Северном Каспии / Хрусталеv Ю.П. / Ростов, Дон. — 1978. — 207 с.
96. Чепалыга А. Л. Каспийско-Черноморский водообмен по Маныч-Керченскому проливу в позднем плейстоцене / А. Л. Чепалыга, Т. А. Садчикова, Н. Б. Леонова, С. А. Несмеянов, А. Н. Пирогов // Материалы международной конференции "Экология антропогена и современности: Природа и человек". — С-Пб.: Гуманистика, 2004. — С. 50-53.
97. Чеховская М. П. Позднеплейстоценовые-голоценовые комплексы остракод шельфовой равнины Северного Каспия / М. П. Чеховская, А. Ю. Степанова, Т. А. Хусид, А. Г. Матуль, А. З. Раковски // Океанология. — 2014. — Т. 54. № 2. — С. 233-242.
98. Чеховская М. П. Реконструкция палеообстановки в голоцене на Северном шельфе Каспийского моря по остракодам / М. П. Чеховская, М. А. Зенина, А. Г. Матуль, А. Ю. Степанова, А. З. Раковски // Океанология. — 2018. — Т. 58. № 1. — С. 89-101.
99. Чухчин В.Д. Экология брюхоногих моллюсков Черного моря / Чухчин В.Д. / Киев: Наукова думка. — 1983. — 176 с.
100. Шнейдер Г.Ф. Новые виды и рода остракод / Шнейдер Г.Ф. // Тр. ВНИГРИ. — 1958. — Вып. 115. — с. 232-299
101. Янина Т. А. Неоплейстоцен Понто-Каспия: биостратиграфия, палеогеография, корреляция / Т. А. Янина. — М.: Изд-во Московского ун-та, 2012. — 264 с.
102. Янина Т. А. Опыт датирования плейстоценовых отложений Нижнего Поволжья методом оптически стимулированной люминисценции. / Т. А. Янина, А. А. Свиточ, Р. Н. Курбанов, А. С. Мюррей, Н. Т. Ткач, Н. В. Сычев // Вестник Моск. ун-та. Серия 5: География. Изд-во Моск. ун-та. — 2017. — № 1. — С. 21-29.

103. Янина Т.А. Гирканский этап в плейстоценовой истории Каспийского моря / Янина Т.А., Сорокин В.М., Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф. // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2014. – 3. – С. 3-9.
104. Янина Т.А. Голоценовые комплексы моллюсков разреза Турали дагестанского побережья Каспия / Янина Т.А., Свиточ А.А., Весселинг Ф. // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. – 2005. – 80, № 1. – С. 56-65.
105. Янина Т.А. Опыт датирования плейстоценовых отложений Нижнего Поволжья методом оптически стимулированной люминесценции / Янина Т.А., Свиточ А.А., Курбанов Р.Н., Мюррей А.С., Ткач Н.Т., Сычев Н.В. // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2017. – 1. – С. 21-29.
106. Янина Т.А. Урунджикский этап в плейстоценовой истории Каспийского моря / Янина Т.А. // Известия Российской академии наук. Серия географическая. — 2008. — № 4. — с. 60-73
107. Яхимович В.Л. Плейстоцен нижнего течения р. Урал / Яхимович В.Л., Алимбекова Л.И., Дорофеев П.И., Латыпова Э.К., Немкова В.К., Попова-Львова М.Г., Сулейманова Ф.И., Хабибуллина Г.А. / БФАН СССР, Уфа. — 1986. — 135 с.
108. Bezrodnikh Y.P. On the age of the Mangyshlakian deposits of the northern Caspian sea / Bezrodnikh Y.P., Sorokin V.M. // Quaternary Research. — 2016. — 85.2. — P. 245-254.
109. Bezrodnikh Y. The Northern Caspian Sea: Consequences of climate change for level fluctuations during the Holocene / Bezrodnikh Y., Yanina T., Sorokin V., Romanyuk B. // Quaternary International. — 2020. — 540. — P. 68-77.
110. Biscaye P.E. Mineralogy and Sedimentation of Recent Deep-Sea Clay in the Atlantic Ocean and Adjacent Seas and Oceans // Geological Society of America Bulletin. — 1965. — 76. — P. 803-832. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1965\)76\[803:MASORD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1965)76[803:MASORD]2.0.CO;2)
111. Blanchet C.L. Formation and preservation of greigite (Fe<sub>3</sub>S<sub>4</sub>) in sediments from the Santa Barbara Basin: implication for paleoenvironmental changes during the past 35 ka / Blanchet C.L., Thouveny N., Vidal L. // Paleocyanography. — 2009. — 24. — PA2224. doi:10.1029/2008PA001719
112. Bolikhovskaya N. Environmental Variability of the Northern Caspian Sea during Khazarian Epoch (Based on Drilling Data) / Bolikhovskaya N., Yanina T., Sorokin V. // Quaternary. — 2024. — 7. — P. 1-26 DOI: 10.3390/quat7010005
113. Boutton, T. W. Stable Carbon Isotope Ratios of Natural Materials (II). Atmospheric, Terrestrial, Marine, and Freshwater Environments / Boutton, T. W. // In: Carbon Isotope Techniques, edited by D. C. Coleman and B. Fry. — Academic Press, San Diego, CA. — 1991. — P. 173–185.

114. Butuzova E. A. Shedding light on the timing of the largest Late Quaternary transgression of the Caspian Sea / E. A. Butuzova, R. N. Kurbanov, N. A. Taratunina, A. O. Makeev, A. V. Rusakov, M. P. Lebedeva, A. S. Murray, T. A. Yanina // *Quaternary Geochronology*. – 2022. – 73. – P. 101378.
115. Chamley H. *Clay Sedimentology* / Chamley H. / Springer-Verlag, Berlin — 1989/ — 623 p.
116. Chepalyga A. L. Chronology of the Khvalynian sea-level oscillations: new data and approach / A. L. Chepalyga, Kh. A. Arslanov, T. Svetlitskaya // *Black Sea – Mediterranean corridor during the last 30 ky: sea level change and human adaptation*. – Bukharest: EcoGeoMar, 2008. – P. 32-34.
117. Chepalyga A. L. Detailed age control of the Khvalynian basin history / A. L. Chepalyga, Kh. A. Arslanov, T. A. Yanina // *Black Sea – Mediterranean corridor during the last 30 ky: sea level change and human adaptation*. – Istanbul, 2009. – P. 23-26.
118. Chukhchin V.D. *Ecology of the Black Sea gastropods*. / Chukhchin V.D. — Naukova dumka. Kiev, 1984. — 176 p.
119. Gelfan A. Hydroclimatic processes as the primary drivers of the Early Khvalynian transgression of the Caspian Sea: new developments / Gelfan A., Panin A., Kalugin A., Morozova P., Semenov V., Sidorchuk A., Ukraintsev V., Ushakov K. // *Hydrology and Earth System Sciences*. – 2024. – 28. – P. 241-259 DOI: 10.5194/hess-28-241-2024
120. Heaton T. J. Marine20 - the marine radiocarbon age calibration curve (0 - 55,000 cal BP), simulated data for IntCal20 / T. J. Heaton, P. Kohler, M. Butzin, E. Bard, R. W. Reimer, W. E. N. Austin, C. Bronk Ramsey, P. M. Grootes, K. A. Hughen, B. Kromer, P. J. Reimer, J. F. Adkins, A. Burke, M. S. Cook, J. Olsen, L. C. Skinner // *Radiocarbon*. – 2020. – 62. – P. 779-820.
121. Khan N.S. Inception of a global atlas of sea levels since the Last Glacial Maximum / Khan N.S., Horton B.P., Engelhart S., Rovere A., Vacchi M., Ashe E.L., Törnqvist T.E., Dutton A., Hijma M.P., Shennan I. // *Quaternary Science Reviews*. — 2019. — 220. — P. 359-371.
122. Krijgsman W. Quaternary time scales for the Pontocaspian domain: Interbasinal connectivity and faunal evolution / W. Krijgsman, A. Tesakov, T. Yanina, S. Lazarev, G. Danukalova, C. Van Baak, J. Agustí, M. Alçiçek, E. Aliyeva, D. Bista, A. Bruh, Y. Büyükmeriç, M. Bukhsianidze, R. Flecker, P. Frolov, T. Hoyle, E. Jorissen, U. Kirscher, S. Koriche, S. Kroonenberg, D. Lordkipanidze, O. Oms, L. Rausch, J. Singarayer, M. Stoica, S. van de Velde, V. Titov, F. Wesselingh // *Earth-Science Reviews*. – 2019. – Vol. 188. – P. 1-40.
123. Kurbanov R. First reliable chronology for the early Khvalynian Caspian Sea transgression in the lower Volga River valley / R. Kurbanov, A. Murray, W. Thompson, M. Svistunov, N. Taratunina, T. Yanina // *Boreas*. – 2021. – 50 (1). – P. 134-146.

124. Kurbanov R. N. A detailed luminescence chronology of the Lower Volga loess-palaeosol sequence at Leninsk / R. N. Kurbanov, J. P. Buylaert, T. Stevens, N. A. Taratunina, V. R. Belyaev, A. O. Makeev, M. P. Lebedeva, A. V. Rusakov, D. Solodovnikov, C. Koltringer, V. V. Rogov, I. D. Streletskaya, A. S. Murray, T. A. Yanina // *Quaternary Geochronology*. – 2022. – 73. – P. 101376
125. Kuzmin Y. V. Apparent  $^{14}\text{C}$  ages of the ‘pre-bomb’ shells and correction values (R, DR) for caspian and aral seas (central Asia) / Y. V. Kuzmin, L. A. Neveeskaya, S. K. Krivonogov, G. S. Burr // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. – 2007. – Vol. 259. – P. 463-466.
126. Leroy S. A. G. From the Allerød to the mid-Holocene: palynological evidence from the south basin of the Caspian Sea / S. A. G. Leroy, A. Tudryn, F. Chalié, L. López-Merino, F. Gasse // *Quaternary Science Reviews*. – 2013. – 78. – P. 77-97.
127. Leroy S. A. G. Late Pleistocene and Holocene palaeoenvironments in and around the Middle Caspian Basin as reconstructed from a deepsea core / S. A. G. Leroy, L. López-Merino, A. Tudryn, F. Chalié, F. Gasse // *Quaternary Science Reviews*. – 2014. – 101. – P. 91-110.
128. Makshaev R. R. Chocolate clays of the Northern Caspian Sea Region: Distribution, structure, and origin / R. R. Makshaev, A. A. Svitoch // *Quaternary International*. – 2016. – № 409. – P. 44-49.
129. Makshaev R.R. Chocolate clays of the Northern Caspian Sea Region: Distribution, structure, and origin / Makshaev R.R., Svitoch A.A. // *Quaternary International*. — 2016. — 409. — P. 44-49.
130. Mirzoev G.S. Zoobenthos distribution on biotope in the shelf zone of the Azerbaijan sector of the South Caspian / Mirzoev G.S., Alekperov L.H. // *J. Entomol. Zool. Stud.* — 2017. — 5. — P. 953-959.
131. Mouraviev F. Paleosols and host rocks from the Middle–Upper Permian reference section of the Kazan Volga region, Russia: A case study / Mouraviev F., Arefiev M., Silantiev V., Eskin A., Kropotova T. // *Palaeoworld*. — 2020. — 29-2. — P. 405-425.
132. Muscheler R. Tree rings and ice cores reveal  $^{14}\text{C}$  calibration uncertainties during the Younger Dryas / R. Muscheler, B. Kromer, S. Björck, A. Svensson, M. Friedrich, K. F. Kaiser, J. Southon // *Nature Geoscience*. – 2008. – 1(4). – P. 263-267. Nance and Taylor, 1976
133. Neubauer T.A. A late Pleistocene gastropod fauna from the northern Caspian Sea with implications for Pontocaspian gastropod taxonomy / Neubauer T.A., van de Velde S., Yanina T.A., Wesselingh F.P. // *Zookeys*. — 2018. — 770. — P. 43-103.
134. Neveeskaja L.A. History of the genus *Didacna* (Bivalvia: Cardiidae) / Neveeskaja L.A. // *Paleontol. J.* — 2007. — 41. — P. 861-949.

135. NGRIP, North Greenland Ice Core Project Members. High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period / North Greenland Ice Core Project Members // *Nature*. – 2004. – 431(7005). – P. 147-151.
136. Panin A. Fluvial chronology in the East European Plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications / A. Panin, E. Matlakhova // *Catena*. – 130. – 2015. – P. 46-61.
137. Parr T.D. A descriptive account of benthic macrofauna and sediment from an area of planned petroleum exploration in the southern Caspian Sea / Parr T.D., Tait R.D., Maxon C.L., Newton F.C., Hardin J.L. // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* — 2007. — 71. — P. 170-180.
138. Reimer P. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP) / Reimer P., Austin W., Bard E., Bayliss A., Blackwell P., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R., Friedrich M., Grootes P., Guilderson, T., Hajdas, I., Heaton, T., Hogg, A., Hughen, K., Kromer, B., Manning, S., Muscheler, R., Palmer, J., Pearson, C., van der Plicht, J., Reimer, R., Richards, D., Scott, E., Southon, J., Turney, C., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A. and Talamo, S. // *Radiocarbon*. — 2020. — 62(4). — P. 725-757.
139. Rothwell R.G. Turbidite emplacement on the southern Balearic Abyssal Plain (western Mediterranean Sea) during Marine Isotope Stages 1–3: an application of ITRAX XRF scanning of sediment cores to lithostratigraphic analysis / Rothwell RG, Hoogakker B, Thomson J, Croudace IW, Frenz M // In: Rothwell RG (ed) *New Techniques in Sediment Core Analysis*. Geol Soc Spec Publ. — 2006. — 267. — P. 79-98.
140. Sidorchuk A. Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East European Plain) during the Late Glacial period / A. Sidorchuk, A. Panin, O. Borisova // *Geomorphology*. – 2009. – 113. – P. 137-157.
141. Sorokin V.M. Identification and age of submarine Girkanian sediment beds (Upper Pleistocene) in the Caspian Sea / Sorokin V.M., Yanina T.A., Bezrodnykh Yu P., Romanyuk B.F. // *Quaternary International*. — 2018. — 465A — P. 130-141.
142. Spofforth D.J.A. Paleogene record of elemental concentrations in sediments from the Arctic Ocean obtained by XRF analyses / Spofforth DJA, Pälike H, Green D. // *Paleoceanography*. — 2008. — 23. — PA1S09.
143. Starobogatov Y.I. Caspian endemic genus *Andrusovia* (Gastropoda Pectinibranchia Horatiidae) / Starobogatov Y.I. // *Ruthenica*. — 2000. — 10. — P. 37-42.
144. Stepien C.A. Evolutionary, Biogeographic, and Population Genetic Relationships of Dreissenid Mussels, with Revision of Component Taxa / Stepien CA, Grigorovich IA, Gray MA, Sullivan TJ, Yerga-Woolwine S, Kalayci G // In: Nalepa TF, Schloesser DW (Eds) *Quagga*

and Zebra Mussels: Biology, Impacts, and Control. 2nd edition. — CRC Press, Boca Raton. — 2013. P. 403-444.

145. Stroeven A. P. Deglaciation of Fennoscandia / Stroeven, A. P., Hattestrand, C., Kleman, J., Heyman, J., Fabel, D., Fredin, O., Goodfellow, B. W., Harbor, J. M., Jansen, J. D., Olsen, L., Caffee, M. W., Fink, D., Lundqvist, J., Rosqvist, G. C., Stromberg, B. & Jansson, K. N. // *Quat. Sci. Rev.* — 2016. — 147. — P. 91-121.

146. Taratunina, N. A. Late Quaternary evolution of lower reaches of the Volga River (Raygorod section) based on luminescence dating / N. A. Taratunina, J. P. Buylaert, R. N. Kurbanov, T. A. Yanina, A. O. Makeev, M. P. Lebedeva, A. O. Utkina, A. S. Murray // *Quat. Geochronol.* — 2022. — 72. — P. 101369

147. Tudryn A. Late Quaternary Caspian Sea environment: Late Khazarian and early Khvalynian transgressions from the lower reaches of the Volga River / Tudryn, A., Tucholka, P., Chalief, F., Lavrushin, Y. A., Antipov, M. P., Lavrushin, V., Spiridonova, E. A., Leroy, S. A. G. // *Quat. Int.* — 2013. — 292. — P. 193-204.

148. Tudryn A. The Ponto-Caspian basin as a final trap for southeastern Scandinavian Ice-Sheet meltwater / Tudryn A., Leroy, S., Toucanne, S., Gibert-Brunet, E., Tucholka, P., Lavrushin, Yu, Dufaure, O., Miska, S., Bayon, G. // *Quat. Sci. Rev.* — 2016. — 148. — P. 29-43.

149. van de Velde S. The Late Pleistocene mollusk fauna of Selitrennoye (Astrakhan province, Russia): A natural baseline for endemic Caspian Sea faunas / van de Velde S., Yanina T., Neubauer T., Wesselingh F. // *Journal of Great Lakes Research.* — 2020. — 46(5). — P. 1227-1239.

150. Vital H. Lowermost Amazon River: evidence of late Quaternary sea-level fluctuations in a complex hydrodynamic system / Vital H., Stattegger K. // *Quaternary International.* — 2000. — 72(1) — P. 53-60.

151. Wesselingh F. P. Mollusc species from the Pontocaspian region – an expert opinion list / Wesselingh, F. P., Neubauer, T. A., Anistratenko, V. V., Vinarski, M. V., Yanina, T. A., ter Poorten, J. J., Kijashko, P. V., Albrecht, C., Anistratenko, O., D'Hont, A., Frolov, P., Martínez Gándara, A., Gittenberger, A., Gogaladze, A., Karpinsky, M. G., Lattua, M., Popa, L., Sands, A. F., van de Velde, S., Vandendorpe, J., Wilke, T. // *Zookeys.* — 2019. — 827. — P. 31-124.

152. Yanina T. A. Correlation of the Late Pleistocene paleogeographical events of the Caspian Sea and Russian Plain / T. A. Yanina // *Quaternary International.* — 2012. — 271. — P. 120-129.

153. Yanina T. A. Late Pleistocene climatic events reflected in the Caspian Sea geological history (based on drilling data) / T. A. Yanina, V. M. Sorokin, Yu. P. Bezrodnykh, B. F. Romanyuk // *Quaternary International.* — 2018. — 465. — P. 130-141.

154. Yanina T. A. The Ponto-Caspian region: Environmental consequences of climate change during the Late Pleistocene / T. A. Yanina // *Quaternary International*. – 2014. – 345. – P. 88-99.
155. Yanina T. Paleogeography of the Atelian regression in the Caspian Sea (based on drilling data) / Yanina T., Bolikhovskaya N., Sorokin V., Romanyuk B., Berdnikova A., Tkach N. // *Quaternary International*. — 2021. — 590. — P. 73-84.
156. <https://visibleearth.nasa.gov>

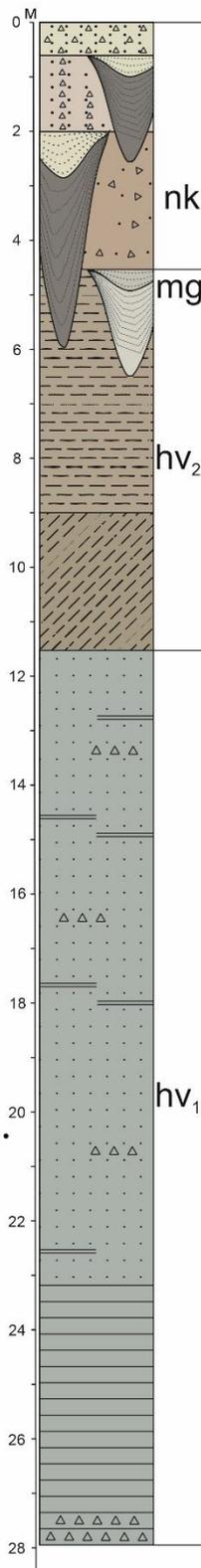
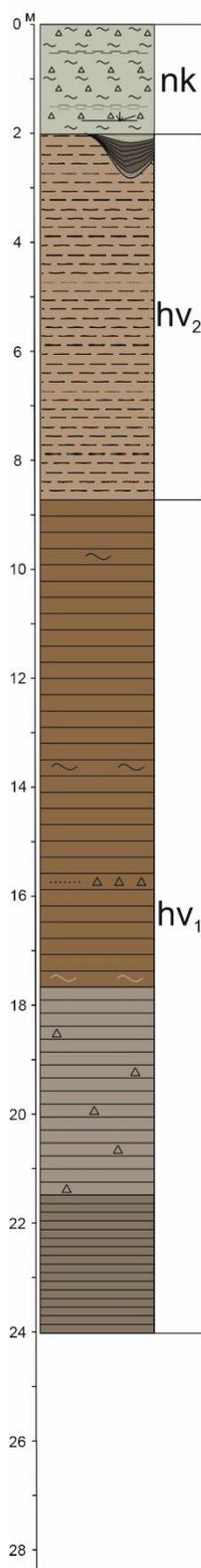
# Приложение 1. Литологические колонки. Район 1

## РАЙОН 1.

Литологические колонки отдельных скважин из района

UK1

KAR1



### Условные обозначения (для этого и следующих приложений)

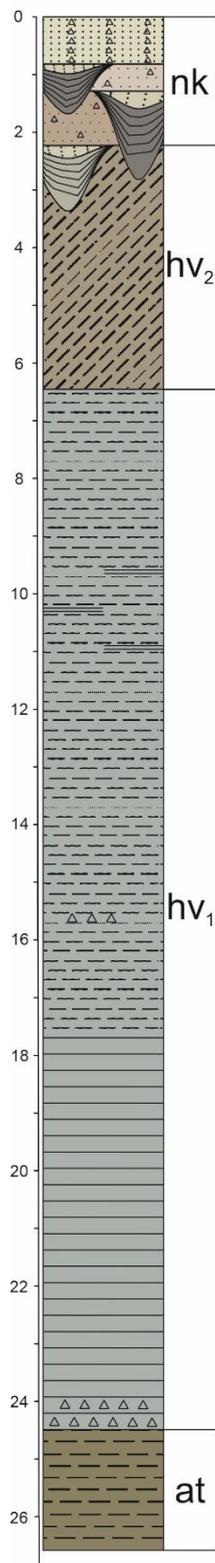
-  раковины и раковинный детрит
-  песок
-  алеврит опесчаненный
-  алеврит
-  пелит алевритистый
-  пелит алевритистый водонасыщенный
-  гипс

## Приложение 2. Литологические колонки. Район 2

### РАЙОН 2.

Литологические колонки отдельных скважин из района

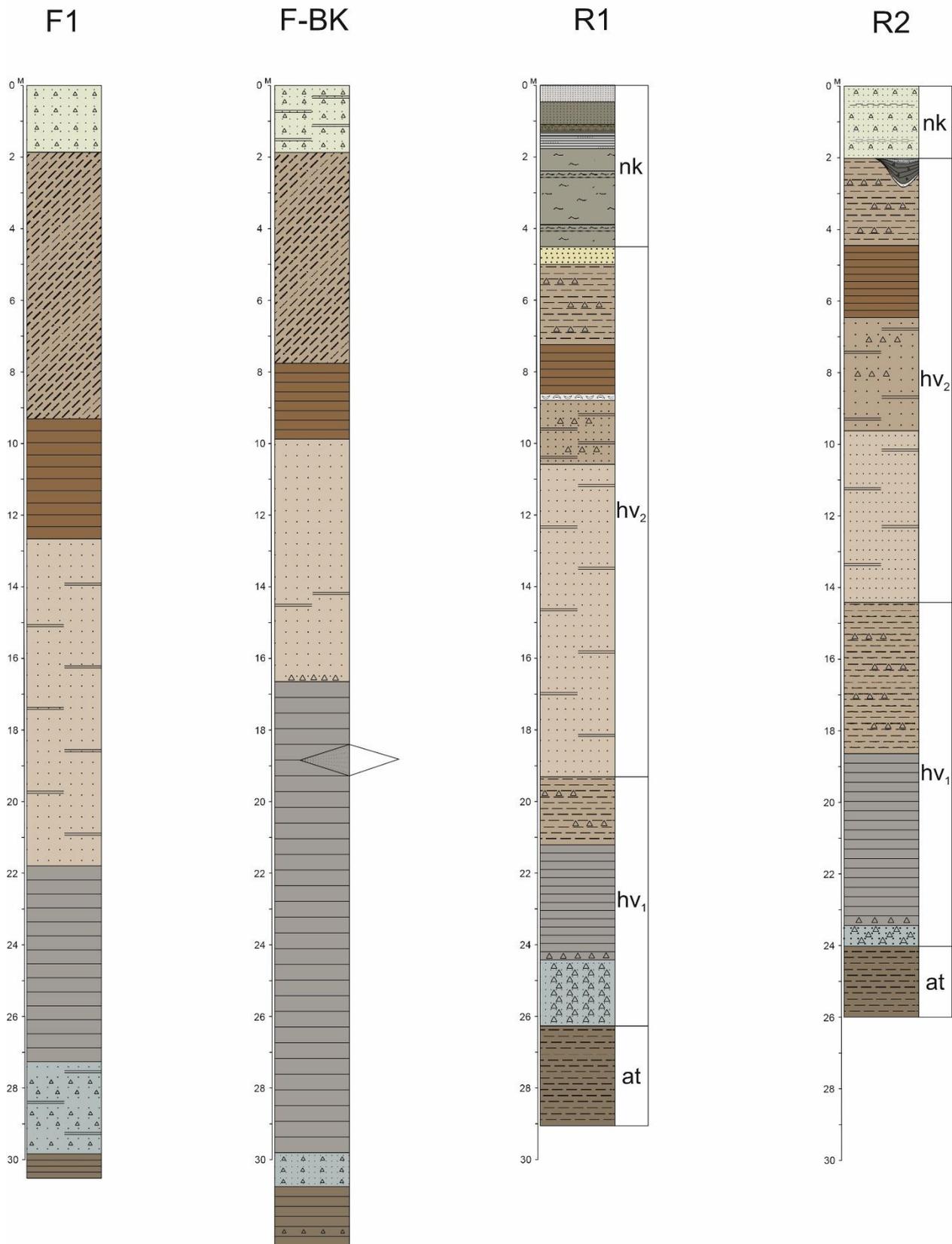
### KUL1



# Приложение 3. Литологические колонки. Район 3

## РАЙОН 3.

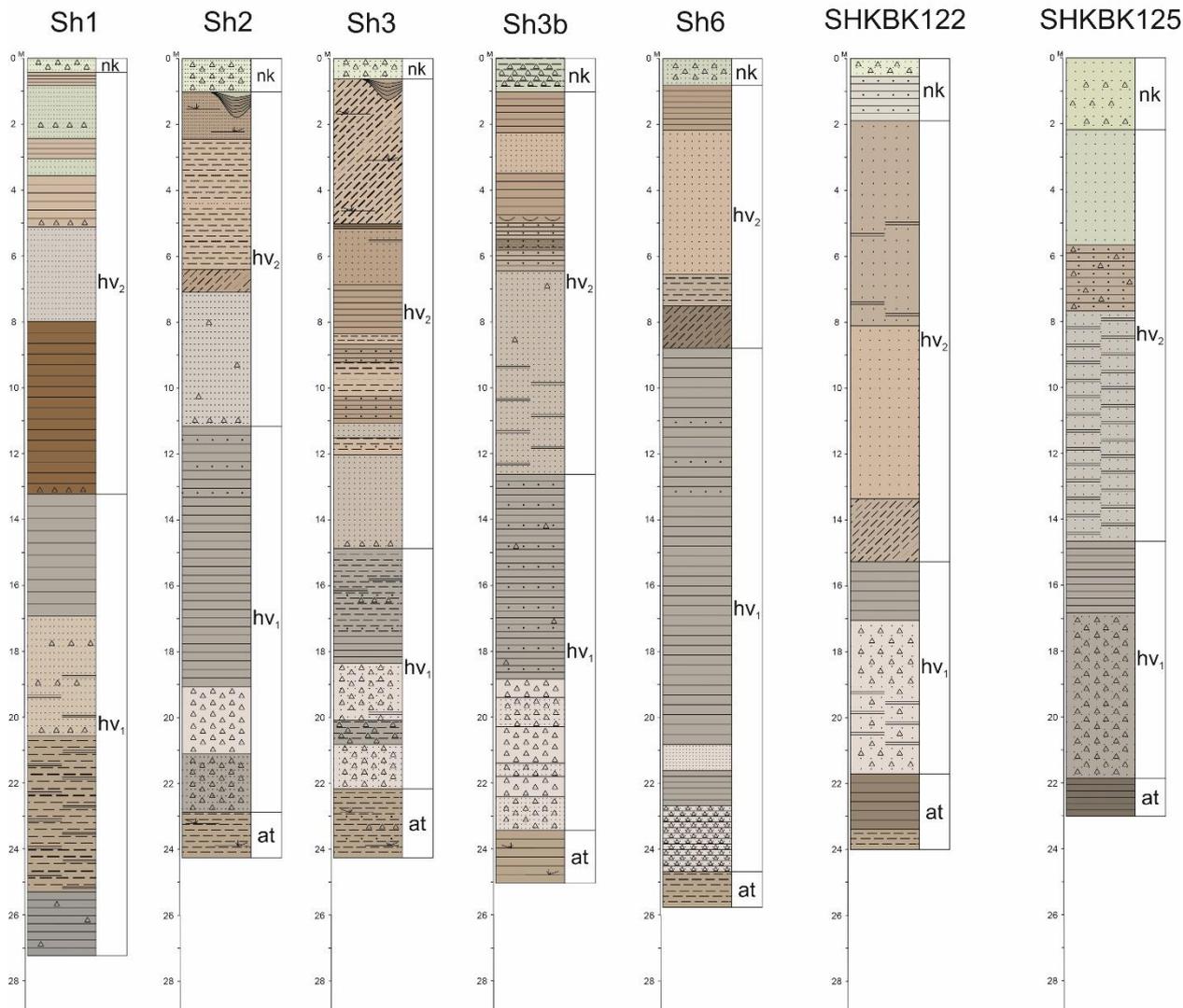
Литологические колонки отдельных скважин из района



# Приложение 4. Литологические колонки. Район 4

## РАЙОН 4.

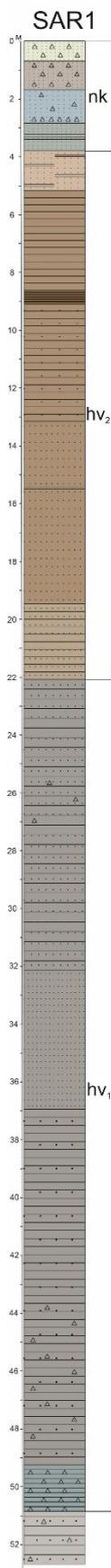
Литологические колонки отдельных скважин из района



# Приложение 5. Литологические колонки. Район 5

## РАЙОН 5.

Литологические колонки отдельных скважин из района



# Приложение 6. Литологические колонки. Район 6

## РАЙОН 6.

Литологические колонки отдельных скважин из района

