

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Лобачева Дарья Максимовна

**Бэровские бугры в Северном Прикаспии, палеогеографические
условия их формирования и развития**

1.6.14. Геоморфология и палеогеография

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата географических наук

Москва – 2026

Диссертация подготовлена на кафедре геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

- Научный руководитель** – *Янина Тамара Алексеевна, доктор географических наук, доцент*
- Официальные оппоненты** – *Рыжов Юрий Викторович, доктор географических наук, доцент, заведующий лабораторией геологии мезозоя и кайнозоя Института земной коры СО РАН*
- Голосов Валентин Николаевич, доктор географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник НИЛ эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева Географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова*
- Корзинин Дмитрий Викторович, кандидат географических наук, научный сотрудник Института океанологии РАН им. П.П. Шишова*

Защита диссертации состоится «19» марта 2026 г. в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета МГУ.016.4 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д.1, Географический факультет, 18 этаж, аудитория 1807.

E-mail: dissovet.geogr.msu@gmail.com.

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3751>.

Автореферат разослан «2» февраля 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат географических наук

Е.Ю. Матлахова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В Северном Прикаспии широко распространены грядовые формы рельефа — бэровские бугры, получившие своё название в честь естествоиспытателя, академика Императорской академии наук Карла фон Бэра. Исследователь впервые дал описание морфологических характеристик и генезиса этих форм рельефа в работе «Учёные записки о Каспийском море и его окрестностях» в 1856 году. Несмотря на длительную историю изучения (Федорович, 1941; Иванова, 1952; Якубов, 1952; Николаев, 1955; Леонтьев, Фотеева, 1965; Сладкопевцев, 1965; Белевич, 1979; Бадюкова, 1999, 2007; Жиндарев и др., 2001; Свиточ, Ключевиткина, 2006; Рычагов, 2009), происхождение бэровских бугров, время и условия их формирования и развития до настоящего времени остаются нерешёнными вопросами геоморфологии и палеогеографии Каспийского региона. Выделяется девять групп гипотез их происхождения. Слагающий бугры материал, особенности его залегания и строения (основной носитель палеогеоморфологической информации) трактуются исследователями по-разному. Дискуссия о генезисе этих форм рельефа продолжается (Головачев, 2017; Дельта Волги..., 2019; Бадюкова и др., 2021; Лобачева и др., 2021, 2023, 2025; Занозин и др., 2023; Бадюкова, 2025), что говорит об **актуальности** темы диссертации.

Комплекс рельефа бэровских бугров — реликтовый, история его развития связана с трансгрессивно-регрессивными событиями в Каспийском море на границе плейстоцена и голоцена, тоже во многом дискуссионными. Решение вопросов, касающихся происхождения и развития бэровских бугров, поможет осветить и ряд проблем палеогеографии Каспийского бассейна в этом временном интервале.

Велика значимость бэровских бугров как потенциальных археологических памятников, содержащих важнейшую информацию о расселении людей и развитии их культур. Бугры являются ключевыми центрами концентрации археологических объектов, относящихся как к хазарскому времени, так и к золотоордынскому периоду. Некоторые из них включены в Единый государственный реестр объектов культурного наследия, что свидетельствует об актуальности изучения бэровских бугров для истории и культуры. Многоэтапность в формировании рельефа бугров связана с динамикой уровня Каспийского моря, влиявшей на расселение человека и взаимодействие его культур, что еще раз подчеркивает геоархеологическую значимость их изучения. Важно значение бэровских бугров как объектов природопользования (добыча полезных ископаемых, сельскохозяйственное использование), рекреации и туризма, что указывает на актуальность их исследования и для практических задач.

Цель исследования — реконструкция палеогеографических условий формирования и развития бэровских бугров в Северном Прикаспии на основе их морфологии, комплексного анализа слагающих отложений и результатов моделирования морфолитодинамических процессов.

Основные задачи:

1. Комплексный анализ и обобщение геолого-геоморфологической и палеогеографической информации о районах распространения бэровских бугров;
2. Анализ гипотез происхождения бэровских бугров и слагающих их толщ;
3. Выделение литофациальных комплексов бугровых отложений на основе комплексного литологического анализа, выявление их распространения;

4. Математическое моделирование морфолитодинамических процессов для выявления условий формирования и развития бэровских бугров;
5. Установление этапов и реконструкция палеогеографических условий формирования и развития бэровских бугров.

Объект исследования — бэровские бугры и слагающие их отложения. **Предметом исследования** служат условия формирования и развития рельефа бэровских бугров.

Бэровские бугры — это, как правило, вытянутые, преимущественно в субширотном направлении, широкие (300–500 м) гряды длиной до 10 км, относительной высотой 5–10 (иногда до 15) м, с прямыми или полого-выпуклыми склонами, плоскими или слегка выпуклыми вершинами, расположенные на относительно плоской поверхности Прикаспийской низменности ниже абсолютной высоты 0 – +2 м.

Фактический материал и личный вклад автора. В основу диссертации положены материалы 8-летних (2017–2025 гг.) полевых исследований автора в Северном Прикаспии и результаты их аналитического изучения. Исследования проводились в рамках проектов РФФИ и РНФ по тематике работ НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена географического факультета МГУ. Значительная часть материала получена в экспедициях отдела четвертичной геологии и геоморфологии Всероссийского научно-исследовательского геологического института имени А.П. Карпинского на территории дельты Волги, Восточной Калмыкии и Западного Казахстана (Атырауская обл.). В качестве ключевых объектов исследования выбран ряд наиболее репрезентативных для изучения бугров в Северном Прикаспии: Троицкий, Яксатово, Нартово, Фунтово, Долгий, Басы, Кирпичный завод, Сарай-Бату, Селитренное, Сероглазка, Ленино, Семибугры, Орлы, Буркид-Джамбай, Аккистау, Баксай, Байчуназ, Доссор. Последние шесть бугров, расположенные на территории Казахстана, описаны автором впервые.

Диссертант приняла участие в комплексных палеогеографических исследованиях опорных разрезов Нижнего Поволжья: Средняя Ахтуба, Райгород, Цаган-Аман, Сероглазка, Ленино, Селитренное (три последних вскрывают строение бэровских бугров), что расширило представление о стратиграфии и палеогеографических особенностях развития территории Северного Прикаспия. Автор участвовала в геоморфологических и палеогеографических исследованиях в Манычской депрессии, по которой осуществлялся сброс каспийских вод в Черноморскую котловину, в рамках НСО кафедры геоморфологии и палеогеографии (2016) и экспедиции Института географии РАН (2022).

В ходе полевых работ автором выполнено фациально-литологическое описание рыхлых отложений, слагающих бугры, их зарисовка и фотофиксация, отобраны образцы на комплекс анализов. В лабораторных условиях им выполнены гранулометрический (143 пробы), геохимический (69 образцов), текстурный, геоинформационный анализы. Подготовка образцов для их изучения другими методами (малакофаунистическим, геохронологическим, микроморфологическим) также выполнена автором. Результаты всех анализов проинтерпретированы и обобщены диссертантом в контексте данной работы. Автором проведён критический анализ и обобщение опубликованных и фондовых материалов, выполнены палеогеографические реконструкции, сформулированы основные научные положения и выводы работы.

Методология и методика. С методологической точки зрения исследование основывается на общей концепции региональной геоморфологии с опорой на обширные палеогеографические данные, полученные по Каспийскому региону, о пространственно-временном изменении природы.

Геоморфологический анализ предполагает выделение элементов рельефа, их характеристику, сопоставление между собой и вывод о влиянии тех или иных факторов и условий на происхождение рельефа в ходе его эволюции (Марков, 1948; Щукин, 1960; Симонов, 1972; Кривцова, 1998; Симонов, Болысов, 2002). Методическая основа настоящего исследования — сопряженный метод палеогеографических реконструкций на основе результатов комплексного анализа рельефа и слагающих его отложений, как основных источников знаний о природной среде прошлого (Марков, 1960). Особое место в исследовании занимает изучение рельефа и отложений его слагающих с точки зрения учения о морфолитогенезе (Симонов и др., 1998).

Для обоснования гипотезы о происхождении бэровских бугров и определения условий накопления отложений применен комплексный подход, включающий взаимодополняющие методы: геоморфологический, комплексный литологический (гранулометрический, текстурный, микроструктурный анализы), геохимический, малакофаунистический, геоинформационный и геохронологический (радиоуглеродный анализ). Для проверки морской гипотезы происхождения бэровских бугров применено математическое моделирование морфолитодинамики среды. Широко использованы критический анализ, систематизация и обобщение опубликованных и фондовых материалов.

Научная новизна работы. Новизна работы заключается в решении научной проблемы генезиса бэровских бугров на основе анализа и обобщения оригинального авторского исследовательского материала, полученного в 2017–2025 гг. Предложенная палеогеоморфологическая схема формирования бэровских бугров, установление этапов в их развитии и их палеогеографическая реконструкция отличаются от существующих и отражают собственную научную точку зрения диссертанта о рельефе бэровских бугров. Для решения проблемы автором использован комплекс аналитических методов, позволивший получить новые значимые результаты. Заключение, сделанное автором в ходе использования разных подходов к изучению механического состава бугровых толщ, предложено им в качестве методической рекомендации. Впервые проведено математическое моделирование для выявления гидродинамических условий возникновения бэровских бугров как форм рельефа и проверки гипотезы их подводного морского образования. Сформулировано авторское определение бэровских бугров как форм рельефа. По результатам математического моделирования литодеформаций на мелководье, выявлен новый механизм возникновения подводного морского рельефа.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные результаты существенно дополняют и уточняют существующие представления о генезисе, условиях формирования и развитии бэровских бугров в Северном Прикаспии, а также о палеогеографии региона в позднем плейстоцене и начале голоцена. Материалы диссертации могут использоваться (и используются) в учебных курсах по палеогеографии и геоморфологии на географическом факультете МГУ, при проведении студенческих практик и геологических экскурсий в Северном Прикаспии.

Полученные результаты могут найти практическое применение в гидрогеологических и инженерных изысканиях на территории Северного Прикаспия. Знание о распространении бэровских бугров и особенностях их строения необходимо при размещении производств, связанных с использованием местных строительных материалов. Следует отметить обязательность строгого экологического надзора за их деятельностью из-за опасности полного уничтожения бугров. Результаты исследования, вне сомнения, представляют ценность для

прикладных отраслей (краеведение, туризм, природоохранное и музейное дело и др.), поскольку бугры являются объектами как природного, так и культурного наследия России.

Основные защищаемые положения:

1. Морской рельеф, находящийся в погребенном состоянии в основании бэровских бугров в виде узких вытянутых и замкнутых форм с размахом высот до первых метров, согласно результатам математического моделирования, образован ветро-волновым воздействием на мелководье при постепенном снижении уровня Каспия.

2. Бэровские бугры — это грядовые денудационно-аккумулятивные формы рельефа комплексного генезиса, сформированные эоловыми и эрозионно-абразионными процессами на морском рельефе, образованном на мелководье Каспия при снижении его уровня.

3. В развитии бэровских бугров выделяются четыре этапа: (1) позднехвалынский — образование подводного рельефа (основания бэровских бугров) на фоне постепенного снижения уровня Каспия; (2) мангышлакский — формирование бугровой толщи и линейных дюн эоловыми процессами в условиях регрессии Каспия в аридном климате; (3) новокаспийский — преобразование рельефа бэровских бугров в связи со стабилизацией дюн растительностью, ослаблением активности эоловых процессов, последующим размывом межбугровых понижений и подмывом бугров во время новокаспийской трансгрессии; (4) современный — преобразование рельефа бугров человеком.

Степень достоверности полученных результатов. Достоверность результатов работы обусловлена обширным фактическим материалом по геологическому строению и распространению бэровских бугров, полученным автором в ходе исследования, а также комплексом данных аналитического изучения их отложений. Геохронологические реконструкции были предложены на основе результатов датирования, полученным по образцам автора в сертифицированной лаборатории Геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана СПбГУ. Гранулометрический и геохимический анализы проводились в соответствии со стандартами научной работы при помощи новейшего оборудования в лабораториях (лазерный дифрактометр Fritsch Analysette 22 microtec, энергодисперсионный портативный анализатор геохимического состава Olympus Delta Professional и стационарный волнодисперсионный спектроскан Макс-GV). Результаты атомно-эмиссионной спектроскопии по образцам автора были получены в ВИМС имени Н.М. Федоровского. Достоверность результатов проверялась на многочисленных конференциях, в общении с экспертами в соответствующих отраслях науки, а также публикацией основных положений диссертации в рецензируемых журналах.

Апробация. Результаты и основные положения работы представлены на отечественных и международных научных форумах: международная конференция проекта UNESCO IUGS-IGCP 610 «From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary» (Анталья, Турция, 2018); международная конференция PRIDE-RCMNS «Ecosystem isolation and connection: rise and demise of biota in the Pontocaspian-Caucasian region» (Тбилиси, Грузия, 2018); 11-я и 12-я международные молодежные школы-конференции «Меридиан: от теории к практике в исследованиях природы и общества» (Курская биосферная станция, 2018, 2019); научные чтения Экзолит–2019 «Фациальный анализ в литологии: теория и практика» (Москва, 2019); XX международный конгресс по изучению четвертичного периода INQUA (Дублин, Ирландия, 2019); VIII конференция молодых ученых-геоморфологов Италии: «Sharing experiences on geomorphological research in different morphogenetic and morphoclimatic environments» (Милан,

Италия, 2019); Третья международная пленарная встреча проекта INQUA IFG 1709F POCAS (Тегеран, Иран, 2019); международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов–2019» (Москва, 2019); всероссийская конференция с международным участием, посвященная 115-летию со дня рождения академика К.К. Маркова, «Марковские чтения 2020 года: Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена и голоцена» (Москва, 2020); международная конференция «Annual Meeting of the Geological Society of America (Портленд, США, 2021); международная конференция INQUA SEQS (Варшава, Польша, 2021); всероссийская конференция, посвященная памяти профессора В.Г. Очева (Москва-Самара-Тольятти, 2021); всероссийская научная конференция: «Пути эволюционной географии», посвященная памяти профессора А.А. Величко (Москва, 2021); международная конференция общества седиментологов 35th IAS Meeting (Прага, Чехия, 2021); X международная научно-практическая конференция MARESEDU-2021 (Москва, 2021); 2-я Международная конференция по четвертичным наукам (Горган, Иран, 2021); геоморфологический вебинар IAG Central-Eastern Europe 2022; XIII семинар молодых ученых по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (Набережные Челны, 2022); VI всероссийская научная конференция с международным участием «Динамика экосистем в голоцене» (Санкт-Петербург, 2022); XXXVII пленум Геоморфологической комиссии Российской академии наук (Иркутск, 2023); XXI международный конгресс по изучению четвертичного периода INQUA, 2023 (Рим, Италия, 2023); XXV Международная научная конференция-школа по морской геологии (Москва, 2023); Научно-практический форум, посвященный 270-летию МГУ имени М.В. Ломоносова. Современные вопросы литологии и морской геологии (Москва, 2024); VI международная конференция молодых ученых и специалистов памяти А.П. Карпинского (Санкт-Петербург, 2024); IX Щукинские чтения: к 80-летию кафедры геоморфологии и палеогеографии и XXXVIII Пленум Геоморфологической комиссии (Москва, 2025); всероссийская конференция с международным участием, посвященная 120-летию со дня рождения академика К.К. Маркова, «Марковские чтения 2025 года: Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена и голоцена» (Москва, 2025); XI Всероссийская конференция по изучению четвертичного периода (Санкт Петербург, 2025).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 9 статей в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе ядра Российского индекса научного цитирования «eLibrary Science Index», а также глава в монографии. Формулировка научных задач, проведение исследований, интерпретация результатов, подготовка текста, предоставление материалов в печать и работа с отзывами осуществлялась при активном участии соискателя. При подготовке текста диссертации использован текст всех 10 публикаций, выполненных автором в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении учёных степеней в МГУ, отражены основные положения, результаты и выводы исследования.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы (335 наименований, из которых 122 на иностранных языках). Работа содержит 5 приложений. Общий объем диссертации составляет 256 страниц, основной текст представлен на 228 страницах и включает в себя 72 рисунка, 7 таблиц.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю д.г.н., профессору Т.А. Яниной за постоянную профессиональную помощь и руководство диссертационной работой, всестороннюю поддержку и понимание. Автор

безгранично благодарна к.г.н. Е.Н. Бадюковой за многолетнюю работу, консультации, совместные труды и полезные наставления. Автор выражает благодарность коллективу НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена за помощь в сборе полевого материала и его интерпретации, всестороннюю поддержку и творческую атмосферу. Особая благодарность к.г.н. Р.Р. Макшаеву за конструктивные советы и помощь в получении данных, полезный опыт и необходимые знания для проведения ряда анализов; д.с.-х.н. М.П. Лебедевой за ценный методический опыт, возможность проведения совместных микроморфологических исследований и полезные советы по работе. Автор признательна к.б.н. П.П. Кречетову за возможность проведения гранулометрического анализа на кафедре геохимии ландшафтов и географии почв. Особая признательность диссертанта к.г.-м.н. заведующему отделом четвертичной геологии и геоморфологии Института Карпинского А.С. Застрожнову за проведение экспедиций в Прикаспийской низменности и помощь в получении необходимого материала для работы. Автор благодарит и.о. зам. ген. директора Института Карпинского, к.г.-м.н. Д.В. Назарова за помощь в проведении текстурного анализа отложений бэровских бугров и ценные рекомендации; выражает глубокую благодарность с.н.с. отдела численного моделирования гидрофизических процессов ГОИН имени Н.Н. Зубова В.В. Фомину за помощь, конструктивные советы и проведение совместных экспериментов математического моделирования гидродинамической среды возникновения бэровских бугров. Автор искренне благодарна профессору С. Крооненбергу (Нидерланды) за ценные методические советы и критику в работе над диссертацией. Диссертант глубоко благодарна к.и.н., и.о. директора Каспийского филиала ИО РАН С.А. Котенькову. Глубоко признательна д.г.н., профессору С.И. Болысову за полезные советы и конструктивную критику, к.г.н. Е.Ю. Матлаховой за ценные рекомендации. Автор выражает безмерную благодарность кафедре геоморфологии и палеогеографии и ее заведующему за всестороннюю поддержку, конструктивную критику, понимание и бесценные советы по работе. Автор признательна своей семье и всем близким за постоянную поддержку и понимание, творческую атмосферу и помощь.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность настоящего исследования, сформулирована его цель, задачи и защищаемые положения. Выявлена научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Глава 1. История изучения бэровских бугров: гипотезы происхождения, современные проблемы

Глава состоит из двух подразделов: история изучения бэровских бугров и бугры как объект междисциплинарных исследований. Бэровские бугры привлекают к себе интерес исследователей более двух веков. Первые упоминания о буграх встречаются в работах С.Г. Гмелина (1777), П.С. Палласа (1788), Э.А. Эверсмана (1844). Изучение бугров проводилось, как правило, в составе крупных экспедиций в Нижнем Поволжье. Нельзя не упомянуть одни из первых исследований ботаника С.И. Коржинского (1884) и геолога И.В. Мушкетова (его экспедицию в Калмыцкой степи в 1884–1885 годах). Особо следует отметить труды геолога П.А. Православлева (1926), организовавшего крупнейшую после К.М. Бэра экспедицию в северо-западный Каспий с осмотром и тщательным описанием геологического строения большого числа бугров и прилегающих к ним территорий. Б.А. Федоровичем (1941) и Г.А. Ивановой (1952) была собрана большая коллекция образцов

отложений из разных бугров, а также смежных отложений хвалыньских песков, глин, аллювия Волги и барханных песков, для исследования их механического и минералогического состава с целью выявления исходного материала для формирования бугровой толщи. Нельзя не отметить обширные экспедиции в Прикаспии, проведенные П.В. Федоровым с коллегами в 1949 и 1951 годах, а также комплексные исследования Прикаспийской экспедиции географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова 1948 – 1955 годов. Одним из наиболее крупных трудов последнего времени стоит назвать монографию А.А. Свиточа и Т.С. Ключиткиной (2006), содержащую анализ обширного фактического материала по бэровским буграм Нижнего Поволжья и критический обзор существующих представлений о происхождении бугров с выдвижением полигенетической гипотезы.

С середины XIX века накопился обширный объем литературы, посвященной палеогеографии и геоморфологии Каспийского региона, в том числе с упоминанием или описанием с разной степенью детальности бэровских бугров и слагающих их отложений. На основе ее изучения диссертантом представлен систематизированный анализ существующих точек зрения на генезис исследуемых форм.

Существующие гипотезы происхождения бэровских бугров разделены на ряд групп. Почти каждая из них включает в себя несколько различающихся между собой мнений исследователей о механизме возникновения бугров. Морская гипотеза объединяет представления о том, что бэровские бугры могут быть подводно-дельтовыми образованиями в зоне мелководного взморья (Эверсман, 1844; Герасимов, 1951; Николаев, 1955; Седайкин, 1977); формами, возникающими на дне моря при снижении его уровня или береговыми валами (Берг, 1952; Паллас, 1788), приливно-отливными формами или результатом сгонно-нагонных явлений (Красножон, 1979; Жиндарев, и др., 2001; Рычагов, 2009) или результатом прибойного потока (Сладкопевцев, 1965). Эрозионная гипотеза подразумевает возникновение бугров в результате эрозии приморской поверхности, сложенной хвалыньскими осадками, водотоками и дельтовыми протоками (Барбот-де-Марни, 1862; Мушкетов, 1895; Неуструев, 1925; Розен, 1929; Голынец, 1932; Жуков, 1935; Захаров, 1948, 1975; Якубов, 1952; Владимиров, 1953). Широко популярна эоловая гипотеза о возникновении бугров в качестве барханов, линейных дюн и иных аккумулятивных эоловых форм (Федорович, 1941; Краснова, 1951; Иванова, 1952; Шанцер, 1951; Федоров, 1957; Белевич, 1979; Волков, 1960; Леонтьев, Фотеева, 1965; Аристархова, 1980; Харченко с соавт., 2009; Kroonenberg, 1997, 2005; Zastrozhnov et al., 2018; Лукашов (устное сообщение), 2000; Астахов, 2020). Известны и такие специфические гипотезы, как катастрофическая (Бэр, 1856, Гросвальд, 1999), тектоническая (Православлев, 1926), гравитационная (Лаврушин, 1995 и др.), криогенно-мерзлотная (Рябуха, 2018). Наиболее активно разрабатываемая в последнее время гипотеза связывает образование бэровских бугров с действием пластового потока при перетоке вод из Каспийского моря в Черное (Бадюкова, 1999, 2005, 2018). Ряд авторов (Доскач, 1949; Брицина, 1955; Менабде, 1989; Свиточ, Ключиткина, 2006) выступают за то, что наиболее плодотворной является полигенетическая гипотеза.

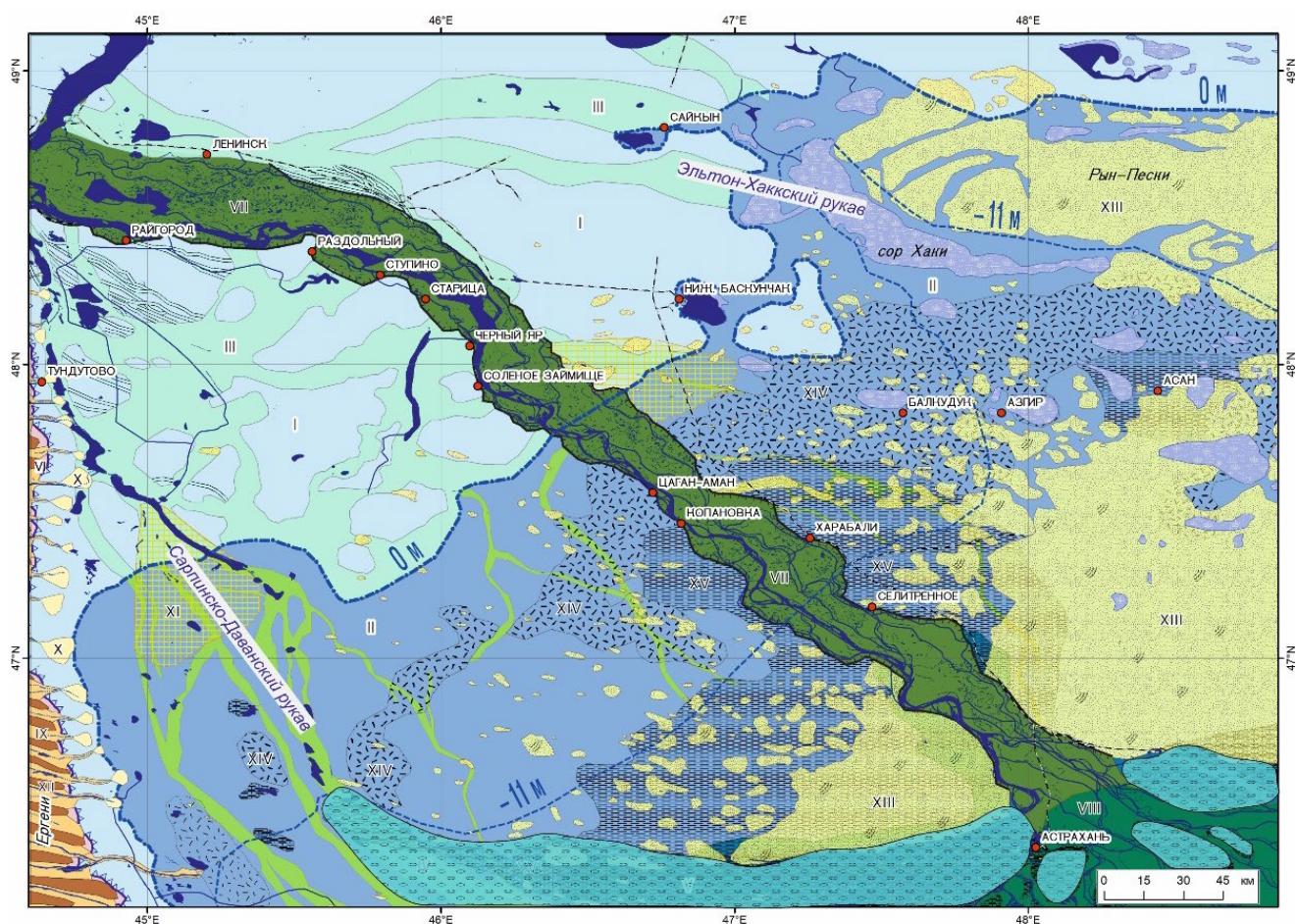
На данный момент превалируют эоловая и морская гипотезы происхождения бугров Бэра, однако, и внутри этих групп единого мнения относительно механизма происхождения гряд до сих пор не выявлено. Существует ряд вопросов в терминологии, путаница понятий, связанных особенно с определением генезиса отложений, слагающих бугры, и пониманием механизмов возникновения самих гряд как форм рельефа, о пространственном расположении и территориальных особенностях бугров.

Анализ и обобщение опубликованных материалов показали актуальность проблемы формирования и развития бэровских бугров и позволили диссертанту сформулировать основные задачи для ее решения.

Глава 2. Природные условия Северного Прикаспия

Глава состоит из ряда разделов: климат, почвенно-растительный покров, гидрография, геологическое строение, геоморфологическое строение, где представлен краткий обзор природных условий территории Прикаспийской низменности в пределах исследуемой области. Автором составлена геоморфологическая карта северо-западной части Прикаспийской низменности.

Большая часть исследуемой территории Северного Прикаспия представляет собой низменную или слегка возвышенную равнину, расположенную в полупустынной и пустынной зонах. Главную роль в формировании рельефа сыграли трансгрессивно-регрессивные ритмы Каспия, комплекс эндогенных и экзогенных факторов, действующих на данной территории, и климатические изменения. Прикаспийская низменность по большей части является первичной морской аккумулятивной равниной, образовавшейся в результате неравномерного накопления плиоцен-четвертичных морских отложений. На ней диссертантом выделен ряд геоморфологических районов (Рисунок 1): морская равнина раннехвалынского и позднехвалынского возраста, осложненные эоловыми и флювиальными формами, а также бэровскими буграми — формами комплексного генезиса (Рисунок 2Б); Волго-Ахтубинская пойма и пойма Урала; дельты Волги и Урала.



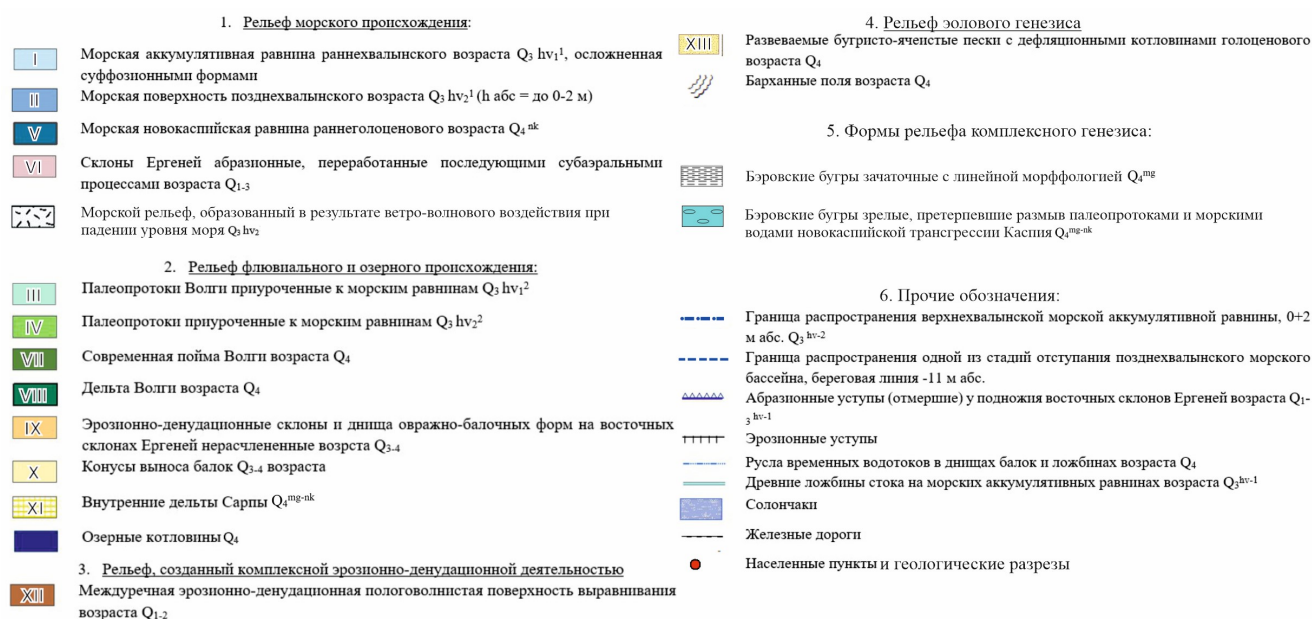


Рисунок 1. Геоморфологическая карта северо-западной части Прикаспийской низменности и легенда к ней (Лобачева и др., 2023; Lobacheva et al., 2024)

К концу позднихвалынского времени Волга в своем нижнем течении функционировала в виде серии крупных дельтовых рукавов: на месте современной Волго-Ахтубы, вероятно, существовал сравнительно небольшой центральный рукав, на западе — Сарпинский рукав, на востоке — Эльтон-Хакский. Они были соединены между собой обширной сетью протоков, рельеф которых до сих пор в значительной степени сохранился. В самом конце позднихвалынского времени Сарпинский и Хакский рукава начали отмирать, а большая часть стока стала устремляться по центральному рукаву, формируя современную Волго-Ахтубинскую долину. Представленная концепция автора является лишь схематизацией этапов развития рельефа Нижнего Поволжья в этот период (Лобачева и др., 2023).

Глава 3. Материалы и методы исследования

Изучению рельефа бугров и четвертичных отложений Северного Прикаспия посвящены полевые сезоны 2017–2025 гг. В качестве основных объектов исследования выбраны наиболее репрезентативные для изучения бугры в Северном Прикаспии: Троицкий, Яксатово, Нартово, Фунтово, Долгий, Басы, Кирпичный завод, Сарай-Бату, Селитренное, Сероглазка, Ленино, Семибугры, Орлы, Буркид-Джамбай, Аккистау, Баксай, Байчуназ, Доссор (район исследования показан на Рисунке 2А).

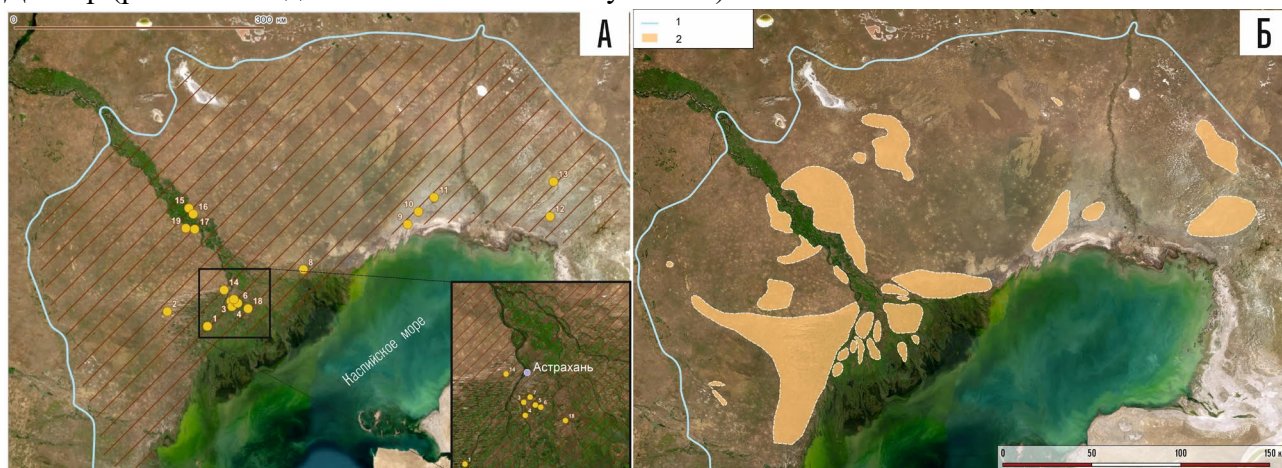


Рисунок 2. А — Схема фактического материала. Изученные обнажения в бэровских буграх (желтые пунсоны на карте); Б — Схема распространения бэровских бугров в Северном Прикаспии (1 —

граница верхнехвалынского моря, береговая линия 0+2 м абс.; 2 — бэровские бугры). Рельеф, морских мелководий, образующийся в результате ветро-волновой деятельности при отступании уровня моря, имеет почти повсеместное распространение в границах верхнехвалынского бассейна

Проведено исследование верхнечетвертичных отложений вдоль Нижней Волги и изучен ряд скважин в прилегающих областях по литературным, фондовым и собственным материалам. Особое внимание уделено детальному изучению литофациального строения бэровских бугров и седиментологическим особенностям слагающих их отложений. В ходе работ выбраны наиболее полные разрезы (преимущественно в карьерах) бугровых отложений, где организованы расчистки с целью детального седиментологического анализа. Изучено пространственное взаиморасположение гряд и особенности их сочленения. Проведено геоморфологическое исследование ареала распространения гряд, их морфолого-морфометрических особенностей и взаиморасположения с формами иного генезиса, в частности, палеодолинами и западинами.

Аналитические исследования включали комплекс анализов, выполненных диссертантом самостоятельно (геоинформационный, гранулометрический, определение ихнофоссилий, геохимический анализ за исключением ряда проб, выполненных в ходе атомно-эмиссионной спектроскопии в ВИМС), либо при консультации и помощи специалистов (микроморфологический анализ проведен совместно с д.с.-х.н. М.П. Лебедевой, текстурный анализ — при консультации к.г.-м.н. Д.В. Назарова). Малакофаунистический анализ проведен проф. д.г.н. Т.А. Яниной. Радиоуглеродное датирование выполнено в лаборатории Геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана СПбГУ по методике и под руководством Х.А. Арсланова. Математическое моделирование проведено в ГОИН имени Н.Н. Зубова под руководством Фомина В.В.

Для визуализации данных в работе использовались программные пакеты: CorelDraw, Grapher, Adobe Photoshop и среда программирования RStudio. Методологическая основа настоящего исследования — сопряженный метод палеогеографических реконструкций на основе комплексного анализа отложений и рельефа как основных источников данных о природной среде позднего плейстоцена-начала голоцена (Марков, 1960). Особое место в исследовании занимает изучение рельефа и слагающих его отложений с точки зрения учения о морфолитогенезе (Симонов и др., 1998).

Глава 4. Особенности распространения, морфологии и внутреннего строения бэровских бугров в Северном Прикаспии

4.1. Особенности морфологии и распространения бэровских бугров в Северном Прикаспии

Бэровские бугры — это грядовые денудационно-аккумулятивные формы рельефа. Плановая морфология их весьма различна, тем не менее, чаще всего это линейно вытянутые гряды, чередующиеся с понижениями, плавно переходящие в холмисто-западинный рельеф ближе к границе позднехвалынского бассейна (0–+2 м абс.). Обширная низменная равнина Прикаспийской низменности от устья р. Кумы до устья р. Эмбы — район сосредоточения ареалов бэровских бугров (Рисунок 2Б), тяготеющих преимущественно к палеодельтам позднехвалынского возраста. Очевидна связь возникновения рельефа бэровских бугров с функционированием палеорусел конца хвалынского времени, имеющих привязку базиса эрозии к постепенно отступающему морю и развитию мангышлакской регрессии. Так, крупные массивы грядового рельефа приурочены к дельте Сарпинско-Даванской системы,

постепенно переходящей в западные подступные ильмени, к протокам палеodelьты Волги южнее Хакского эстуария.

Длина бугров составляет от первой сотни метров до 10 км. Ширина от 100–200 до 400–500 м. Высота колеблется от 2–4 м до 15 м, иногда и более. Ширина межгрядовых понижений составляет от 300–500 м до 1–2 км. Характерной особенностью гряд в некоторых местах является вилообразный характер соединений с открытым на восток развилком и округлость гребней. Такие характеристики форм являются признаками эолового генезиса, где развилком обращен против ветра. Характерная черта задернованных редкой растительностью линейных дюн типа *Vegetated Linear Dunes* по классификации Tsoar, 1989.

По морфологии бэровские бугры близки (что иногда приводит к заблуждению) с уникальным прибрежно-морским рельефом мелководных зон, образовавшимся, по нашим представлениям, на дне регрессирующего позднихвалынского бассейна при ветро-волновом воздействии и течениях. Так, достаточно широко распространены формы, неправильные в плане, преимущественно денудационные (блюдца, вытянутые ложбины с неправильными изрезанными краями, обширные понижения разноориентированные в пространстве). Формы морского рельефа ориентированы преимущественно вдоль древних береговых линий, начиная с отметок 0–+2 м абс. (например, у подножия Ергеней).

4.2. Литофациальное строение бэровских бугров

В строении бэровских бугров отмечаются Литофации 1 и 2 или единая нерасчлененная бугровая толща, где цоколь форм сложен, как правило, Литофацией 3 с редким включением Литофации 4 (Рисунок 3).

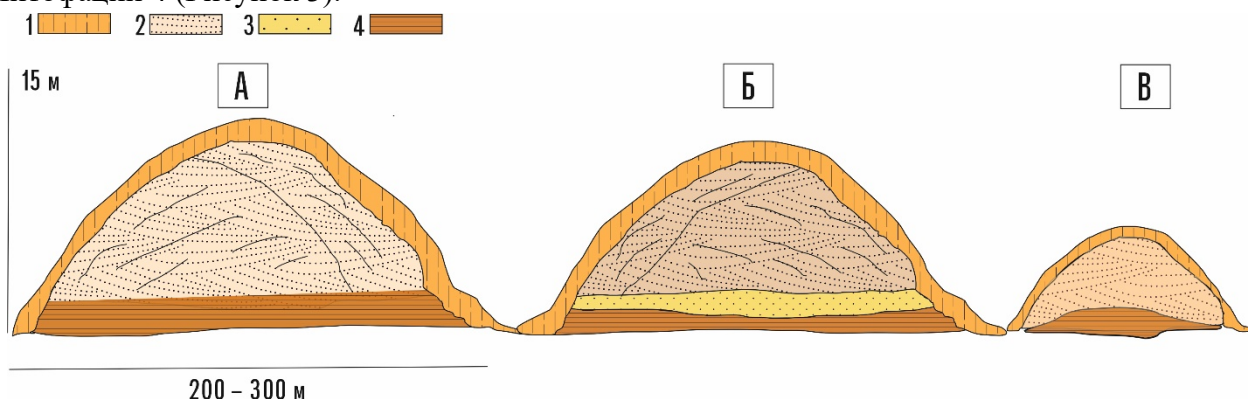


Рисунок 3. Схема типичного строения лито-морфологических типов бугров А, Б и В (составлено по полевым наблюдениям автора); Цифрами в легенде обозначены литофации (ЛФ): 1 — современные эоловые и склоновые отложения, 2 — ЛФ1 и ЛФ2, 3 — ЛФ4, 4 — ЛФ3

Для большинства исследованных бугров основание сложено шоколадными глинами (Литофация 3), то есть последние служат цоколем для бэровских бугров. Бугровая толща залегает на них с эрозионным контактом. Иногда между бугровой толщей и шоколадными глинами отмечается песчаная Литофация 4. Подошва ее слоя, выдержанная по простиранию, залегает почти субгоризонтально. Кровля неровная, с локальными возвышениями до полуметра в высоту. Кровля и подошва слоя характеризуются эрозионными контактами. Раковины обнаружены не были. Эта литофация отличается наличием по всей мощности текстур ряби волнения, характерной для обстановки морского мелководья, залива, где работала волна и не исключено действие вдольбереговых течений. В подошве слоя встречаются многочисленные глинистые линзы и гравий из крупных глинистых обломков и окатышей, что свидетельствует о высокой гидродинамике среды и активном размыве

нижележащих нижнехвалынских шоколадных глин. Постепенно динамика водоёма становилась более спокойной, о чем свидетельствует более тяжелый состав материала в средней части слоя. В целом, период накопления материала Литофации 4 отличался высокой динамичностью бассейна.

Выше залегает нерасчленённая бугровая толща, или же состоящая из двух Литофаций 1 и 2, сложенных бурыми песчано-глинистыми слоями с комковато-пластинчатой и очень плотной структурой. Как правило, Литофации 1 и 2 разномнаправлены и имеют преимущественно падение на юг и север. Наклон толщ совпадает с наклоном склонов. В бугровой толще нередко отмечаются наклонные эрозионные контакты с резкой сменой состава или азимутов падения слоёв. Наиболее крутые углы падения слоёв от 30° приурочены к румбам от 180° до 315° азимутально. Обычно углы падения на северных флангах не превышают 20°. Направление переноса вещества осуществлялось в субширотном направлении, вероятно, с востока на запад, а большинство крупных бугров сложены двумя противоположно ориентированными пачками.

Литолого-морфологически бэровские бугры можно условно разделить на несколько типов (Рисунок 3): А — наиболее крупные гряды, состоящие из одной или двух бугровых литофаций, залегающих на цоколе из эродированных шоколадных глин, широко распространенные в палеodelьте Сарпы со значительным эрозионным воздействием на них палеорусел Сарпы-Давана прорезающих бугровую толщу, в дельте Волги претерпевшие абразионное воздействие новокаспийской трансгрессии; Б — широко распространенный тип бэровских бугров с залеганием бугровой толщи, состоящей из одной или двух литофаций, на локальных возвышениях, сложенных шоколадными глинами, часто с маломощными прослоями морского песка между ними и бугровой толщей, типичный для дельты Волги и ее нижнего течения, также претерпевший воздействие новокаспийской трансгрессии; В — бэровские бугры меньших размеров с нерасчленённой бугровой толщей, залегающей на шоколадных глинах, характерные для Волго-Уральского междуречья.

4.2.1. Текстурная характеристика бугровой толщи

Детальный текстурный анализ бугровых отложений показал, что наибольшее распространение имеет косая слоистость, где, как правило, слои имеют разномнаправленное падение и часто срезают друг друга. Максимальный угол наклона косых слойков составляет 30–35°, за редким исключением 45°. Реже встречается параллельная слоистость (с углами наклона 1–4°), иногда осложненная знаками ветровой ряби. Важной особенностью бугровых толщ является то, что каждая вышележащая пачка срезает нижележащую таким образом, что слойки новой пачки параллельны слоевому шву в ее подошве, что характерно лишь для внутреннего строения эоловых дюн. Также отличительной чертой стоит отметить часто изменяющиеся углы падения слоевых швов и самих слойков внутри пачек, что также в совокупности характерно лишь для эоловых условий седиментации. Отличительная деталь текстурных особенностей бугровой толщи — наличие обратной градационной слоистости, являющейся индикатором эоловой среды седиментации.

Отсутствие в осадке органического вещества (за исключением раковинного детрита) может свидетельствовать об аридности климатических условий, когда не успевал формироваться мощный слой дернины, а древесная растительность отсутствовала.

4.2.2. Фаунистические остатки и следы ихнофоссилий

Бугровые отложения содержат ископаемые остатки: раковины моллюсков, зубы и кости мелких грызунов, остракоды. В песчаных слоях встречаются прослои с раковинным материалом, чаще всего детритом, в котором определены виды *Didacna subcatillus*, *D. praetrigonoides*, *Dreissena rostriformis* и *Hypanis plicatus* (характерные отчасти для позднихвалынского бассейна). Большая часть малакофаунистических остатков является переотложенной: редки находки целых раковин, некоторые крупные створки были найдены в крутопадающих слоях, что не характерно для экологии солоноватоводных видов. Залегают они на дефляционных отмоستках. Детритовая отмостка вместе с крупными кристаллами гипса, костей животных, карбонатных конкреций чаще всего залегают в виде тонких плащей (до 5 мм мощностью с редкими линзами), разделяющих косые серии. Эти отмостки формируются во время уменьшения объема переносимого материала и недонасыщенности ветро-песчаного потока по отношению к своей несущей способности (deflation event => deflationary supersurface) (Sedimentary environments, 2005; Sedimentary structures, 2006)

В бугровой толще обнаружены следы, предположительно, ходов и нор беспозвоночных. Ходы разнонаправленные, как строго вертикальные, так и наклонные, горизонтальных почти не отмечалось, структура плотная и кольцевидная. Слагающий их материал весьма плотный с содержанием редкого детрита раковин. Определение данных ихнофоссилий производится впервые для бугровой толщи. Предварительные результаты позволяют отнести наблюдаемые следы к группе ихнофоссилий, отвечающих отпечаткам перемещения, ходам и норам, следам биотурбации (bioturbation trace fossils). Ихнород — *Naktodemasis bowni* (Smith et al., 2007), относящийся к типу *Adhesive Meniscate Burrows* (менисковые ходы). Присутствие *N. bowni* в бугровой толще указывает на субэральные условия, зарождение почв и появление растений с мощной вертикальной корневой системой.

4.2.3. Гранулометрический состав отложений бэровских бугров

Раздел посвящен анализу результатов гранулометрического состава бугровой толщи (для Литофаций 1, 2 и 3). Подробные кривые распределения и исходные данные представлены в Приложении 1 к тексту диссертации. В качестве базовых данных для описания бугровой толщи использованы результаты гранулометрического анализа образцов из отложений бугров с Нижнего Поволжья и нижнего течения р. Урал. Бугровая толща в большинстве случаев представляет собой переслаивание песчаных и тонких суглинисто-супесчаных слоев. По всему ее разрезу наряду с доминирующими зернами кварца и полевого шпата встречается большое количество темно-коричневых глинистых окатышей и пластинок-пеллет размером 1–5 мм, где некоторые слипшиеся агрегаты глинистых пластинок достигают размера до 1,5 см. Местами данные окатыши формируют целые рыхлые прослои мощностью до 5 см, при отборе образцов рассыпающиеся на тонкие пластинки. Агрегаты глины имеют угловато-окатанную и окатанную форму, что свидетельствует об активном воздействии различных экзогенных процессов. Данная особенность характерна для всех исследуемых бугровых толщ. Наличие таких пластинок глины связано, вероятно, с процессами усыхания и растрескивания глинистых пластов в субэральных условиях.

Гранулометрический анализ осуществлялся методом лазерной дифрактометрии и методом сухого рассева. Гранулометрический состав отложений бугров по результатам лазерной дифрактометрии в среднем представлен размерностями фракций: тонкопелитовой <1 мкм (13%), крупнопелитовой 1–5 мкм (42,4%), мелкоалевритовой 5–10 мкм (13,7%),

крупноалевритовой 10–50 мкм (21,7%), тонкопесчаной 50–250 мкм (8,7%) и средне-крупно-песчаной 250–1000 мкм (0,3%). По результатам «сухого» метода во всех образцах имеются две крупные фракции: песчаная (разной размерности) и алевритистая, где в общей массе доминирует фракция мелкозернистого песка 48–73% (0,25–0,1 мм) (Лобачева и др., 2021). Таким образом, данные, полученные «сухим» методом, подтверждают ранее опубликованные работы (Шанцер, 1951), отмечающие сложение бугровой толщи одновременно кварцевыми песчинками и коричневым окатанным глиняным детритусом, который по размерности соответствует фракциям мелко-, средне- и крупнозернистого песка.

Несмотря на специфику проведения анализов и большой разброс показателей, данных достаточно для того, чтобы обосновать выделение двух литофаций бугровых толщ и шоколадных глин. Разделение на литофации менее показательно по результатам «сухого» метода, тем не менее, оба массива данных демонстрируют унаследованность материала бугровой толщи от шоколадных глин в алевритово-глинистой составляющей (Лобачева, 2024). Крупная фракция (кварцевые пески) имела другой источник питания — вероятно, аллювий рек и дельтовые пески верхнехвалынского времени, т.к. мелкий и крупный песок отсутствует в составе шоколадных глин.

4.2.4. Особенности геохимического состава бугровых отложений

Согласно результатам рентгенофлуоресцентного и атомно-эмиссионного анализов в геохимическом составе отложений бугров преобладает оксид кремния (SiO_2), его концентрация варьирует в пределах 67–82%. Наибольшие значения SiO_2 характерны для образцов, отобранных из Литофации 1. В то же время концентрация оксидов TiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , K_2O здесь ниже за счёт меньшего содержания глинистой фракции. В свою очередь, образцы из Литофаций 2 и 3 характеризуются относительно высоким содержанием TiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , приуроченных к глинистой фракции (Лобачева и др., 2021). В Литофациях 2 и 3 гораздо выше содержание редкоземельных элементов.

Бугровая толща имеет, в целом, бедный минералогический состав. Она представляет собой микститовые осадки, где одновременно присутствуют незрелые зерна — шоколадные глины, а также зрелые — кварц (73–76%), калиевые полевые шпаты (8%), плагиоклазы, единичные зерна роговой обманки. Данный факт указывает либо на разные источники поступления вещества, либо на периодическую смену динамических процессов седиментации. Соотношение химических элементов по результатам рентгенофлуоресцентного анализа — способ идентифицировать толщи и бугры. Оно показало доминирование местных источников поступления материала для бугровых толщ в виде шоколадных глин и высокую унаследованность материала бугров от этой литофации.

4.2.5. Микроморфологическое строение бугровой толщи

Микроморфологический анализ образцов бугровой толщи подтвердил выделение двух литофаций. Литофация 1 характеризуется менее плотной укладкой частиц, примерно равным содержанием однородных кристаллокластов (размерности мелкозернистого песка и крупной пыли) и глинистых агрегатов и более высокой степенью сортировки материала, чем Литофация 2. Обломки весьма хорошо окатаны, кристаллы гипса редки и весьма коррадированы, что свидетельствует об эоловом переносе. Встречаются редкие обломки раковин. Материал часто залегает хаотично, отмечается тенденция к микрослоистости. Отмечается высокая степень окисленности породы в виде мелкодисперсной карбонатно-глинистой пропитки между зёрнами (Лобачева, 2024).

В Литофации 2 отмечается тонкое чередование слойков из глинистых агрегатов и более мощных слойков, состоящих из кристаллокластов пылевато-песчаной размерности, более выраженное, чем в Литофации 1. Это свидетельствует, вероятно, о сезонном накоплении материала. В сухой период в межрядовых понижениях могли развеиваться такыровидные почвы и отложения шоколадных глин, а в более влажный период происходил привнос пылевой составляющей (Лобачева, 2024). Кристаллокласты «набиты» в трещины между глинистыми агрегатами, имеются агрегаты с крупными песчаными частицами, что, вероятно, свидетельствует о размыве некоего почвенного слоя. Многочисленны друзы гипса и солей тенардита, которые свидетельствуют о засушливости условий и их выпадении из насыщенных солями растворов. Судя по форме агрегатов и кристаллов, они не испытывали дальнего переноса. В нижней части литофации нередки следы водорослей в отдельных обломках глинистых агрегатов. Глинистые агрегаты часто растресканы вдоль длинной оси и разноориентированы (следы криогенеза?). О недалёком переносе глинистой составляющей свидетельствует слабая окатанность глинистых агрегатов. Условия существования данных отложений были тесно связаны с климатом, режимом увлажнения и режимом ветров. Увлажненные или слегка покрытые растительностью пески уже не подвергались транспортировке ветром. В формировании отложений обеих литофаций участвовали два источника питания: обломки шоколадных глин, а также преимущественно кварцево-полевошпатовые частицы более дальнего переноса (хвалынские пески, аллювий) (Лобачева, 2024).

Глава 5. Палеогеографические условия формирования и развития бэровских бугров

5.1. Возможный механизм возникновения подводного морского рельефа по результатам математического моделирования

Для исследования морфолитодинамики прибрежной зоны в северо-западной части Каспийского моря, вызванной изменением уровня моря и под действием гидрометеорологических условий, был использован программный комплекс Badlands. Решалась задача проверки гипотезы морского генезиса бэровских бугров, где они могли быть результатом действия подводных течений и волнения на обширной площади Северного Прикаспия во время существования позднехвалынского бассейна: могут ли такие формы быть сформированы морскими течениями и если да, то при каких параметрах среды.

Область моделирования охватывает район размером $\sim 225 \times 335$ км по долготе и широте соответственно. Пространственное разрешение модели составило ~ 200 м. Большая часть расчётной области расположена западнее русла дельты Волги (по состоянию на настоящее время) и охватывает регион, в котором высоты изменяются от -28 м в юго-восточной части до $2-3$ м в северо-западной ее части. Выбор указанного региона обусловлен обширным пространственным расположением бэровских бугров, наблюдаемых визуально на основе спутниковой информации в юго-восточной и северной частях региона. Учет рельефа дна в модели проводился с использованием исходных данных по батиметрии GEBCO (The General Bathymetric Chart of the Oceans) 2022 года выпуска. Исходное поле батиметрии было подвергнуто обработке с целью исключения как наличия бугров, так и большей части русла р. Волги.

Период моделирования составил 1000 лет. Такой период был выбран экспертно, т.к. модель хорошо отображает долгопериодную изменчивость (ее минимум разрешения это 1 год). Моделирование проводилось для двух сценариев изменения уровня Каспийского моря (далее, C1 и C2). В рамках сценария C1 рассматривалось падение уровня моря от 0 м до -28

м, в рамках сценария С2 рассматривался ход уровня моря при котором на отдельных его участках наблюдалось линейное падение, сменяющееся незначительным подъемом (в несколько метров), а далее, наблюдался стационарный период при котором уровень некоторое время оставался постоянным (Леонтьев, Федоров, 1953; Федоров, 1957; Леонтьев и др., 1977; Варущенко и др., 1987; Рычагов, 1997). Скорость линейного падения составляла примерно 2,8 см/год.

Модель Badlands позволяет выполнять расчёты морфолитодинамики прибрежной территории с учетом таких процессов, как колебания уровня моря, ввиду режима осадков, волнового воздействия, флювиальных процессов. Процессы деформации поверхности, связанные с деятельностью ветра, и тектонические колебания в модели не учитывались. Основным этапом моделирования было проведение численных расчётов в рамках сценариев С1 и С2 с учетом ветро-волновых процессов, наблюдающихся в прибрежной зоне (Рисунок 4). Ввиду отсутствия точных и достоверных данных о преобладающем направлении волнения в рассматриваемый период позднего плейстоцена-раннего голоцена, в расчётах предполагалось, что волнение в открытой части Каспийского моря может наблюдаться равновероятно с трех направлений (южного, юго-восточного и восточного), и соответственно, повторяемость волнения каждого направления была принята равной 33,3%.

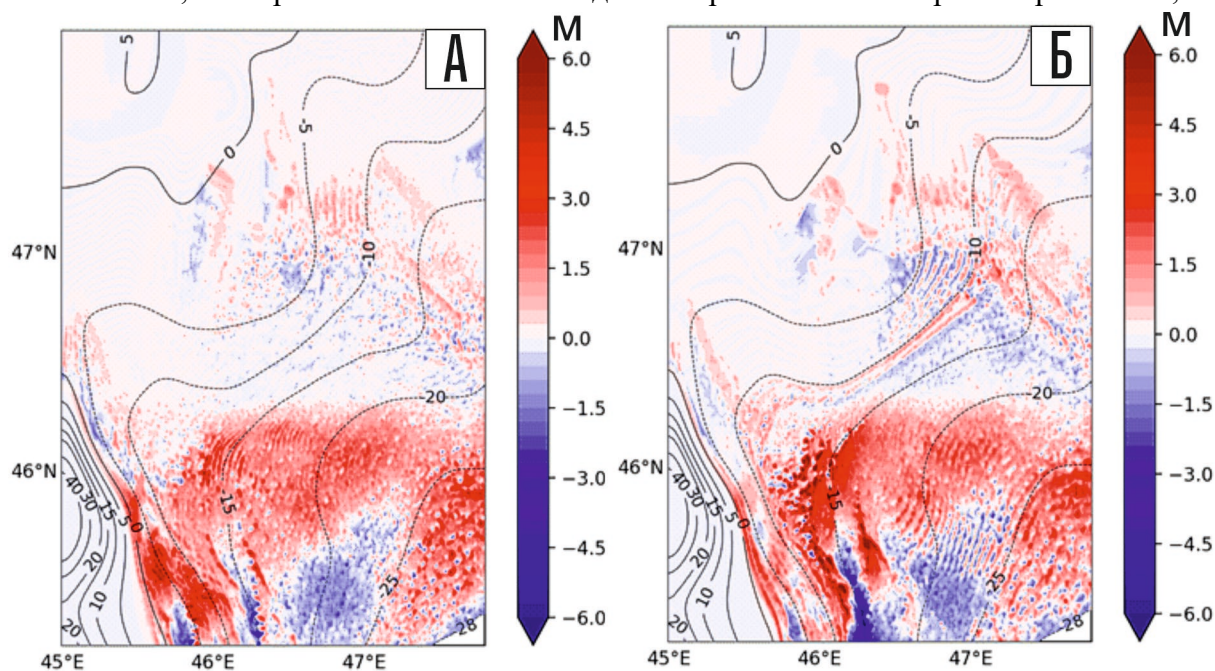


Рисунок 4. Амплитуды вертикальные деформаций для района моделирования за период в 1000 лет в рамках сценария С1 (а) и С2 (б) с учетом ветро-волнового воздействия в прибрежной зоне

Механизм процесса следующий: общеизвестно, что морфолитодинамические процессы на морской акватории наиболее интенсивны в приустьевой зоне и затрагивают, как правило, зону пляжа и приустьевую область морской акватории. Наибольшая их интенсивность наблюдается до глубин в 7–10 м, в акваториях со значительной интенсивностью и высокой частотой прохождения штормовых ситуаций значимые вертикальные деформации дна могут наблюдаться и на значительно больших глубинах. Отступление моря приводит к постоянному смещению полосы, в которой под действием ветро-волновых процессов, будут наблюдаться как максимальные вдольбереговые потоки наносов, так и, соответственно, максимальные литодеформации дна и берега. Под действием

ветро-волновых процессов происходит постепенное переформирование линии уреза, которое заключается, традиционно, в образовании террас на пляже и подводных баров, эрозии дна на отдельных участках. Аналогичные структуры наблюдаются и по результатам численного эксперимента.

Результаты показывают, что, например, в северной части расчётной области наибольшие амплитуды деформаций наблюдаются на широтах, близких к 47° с.ш., выделяются структуры, параллельные линиям равных высот, амплитуды вертикальных деформаций достигают $\sim 0,8\text{--}1,0$ м, при этом наблюдаются как положительные деформации, так и отрицательные. Характерная ширина поперечных структур составляет приблизительно $0,5\text{--}1$ км. В южной части акватории интенсивность морфолитодинамических процессов выше, чем в северной части, что связано с общими уклонами дна и большей вероятностью подхода более интенсивного волнения к линии уреза. Амплитуды вертикальных деформаций могут достигать до $3\text{--}4$ м, средняя ширина поперечных структур составляет $0,4\text{--}1$ км.

Согласно сценарию 2 происходит более выраженное образование уступов террас и баров, которые проявляются в довольно продолжительных линиях вертикальных деформаций. В целом, деформации носят вдольбереговой характер, т.е. ориентированы вдоль изобат. Также получают замкнутые котловины, которые действительно обширно распространены в Северном Прикаспии, особенно по северной и восточной периферии, что демонстрирует некую достоверность результатов и применения моделирования для исследуемой территории.

Численные эксперименты также показали, что разная интенсивность ветро-волнового воздействия может существенным образом влиять на формы вертикальных деформаций дна. Пространственное распределение и интенсивность вертикальных деформаций значительно более выражены в эксперименте с увеличенной интенсивностью волнения. Это связано, в первую очередь, с достижением более высоких волн в мелководной области, их обрушением и, таким образом, существенно большей динамикой вдольбереговых потоков наносов, которая и приводит к формированию больших по амплитудам деформаций дна.

Таким образом, из результатов математических расчётов следует, что в результате динамических процессов в прибрежной зоне моря при постепенном его отступании формируются своеобразные замкнутые и открытые грядовые и замкнутые сложные в плане формы, однако, в высотном отношении не достигающие наблюдаемых высот бэровских бугров. Это прибрежно-морской рельеф мелководий, подверженный воздействию волнения и течений. Отмечается высокая пространственная приуроченность моделируемых гряд к ареалам распространения бугров Бэра. Из чего следует вывод, что в процессе своего формирования бэровские бугры территориально сопряжены с неровностями морского рельефа и тяготеют к локальным его поднятиям. То есть, неровности этого морского рельефа служили ареной действия последующих эоловых процессов и участвовали в поставке материала для роста линейных дюн, а локальные возвышения служили ядрами эоловой аккумуляции.

5.2. Аналоги бэровских бугров

Бэровские бугры принято считать уникальными формами рельефа. По мнению автора, бэровские бугры, являющиеся по сути стабилизированными растительностью линейными эоловыми дюнами (Vegetated Linear Dunes), имеют аналоги на Земле. Более того, согласно исследованиям (Tsoar, 1989; 2008; Kryger et al., 2019), линейные дюны являются наиболее распространенным типом дюн на планете. Внутреннее строение бугров Бэра отражает стадии

развития форм и совпадает со стадиями развития линейных дюн в пустыне Намиб (Bristow et al., 2000), несмотря на то, что морфологически последние относятся, скорее, к виду мечевидных линейных дюн (по Tsoar, 1989, 2008). Это, вероятно, может свидетельствовать о том, что бэровские бугры в какой-то этап своего развития развивались по типу мечевидных дюн под воздействием сезонных ветров.

Близкими аналогами бэровских бугров по морфологии и морфометрии являются гряды на Ишим-Тобольском междуречье, однако, последние сформировались гораздо раньше бугров. По внутреннему строению, морфологии и времени образования бугры схожи с линейными дюнами в пустыне Негев. Наиболее близкими по морфометрическим параметрам и времени образования являются линейные дюны в пустынном поле Малли на юго-востоке Австралии. Через изучение литолого-геоморфологических особенностей лунетт стал ясен механизм возникновения глинистых пеллет, которые слагают бугровые толщи, в особенности Литофацию 2. Автор предполагает, что она могла быть отчасти сформирована из материала лунетт, возникавших вокруг высыхающих луж во время регрессии Каспийского бассейна наравне с развеиванием такыровидных почв в условиях аридного климата в мангышлакское время.

5.3. Абсолютный возраст бугровых отложений и возраст бугров

Для решения вопроса о временном интервале формирования бэровских бугров диссертантом отобраны образцы раковинного материала из бугров Яксатово, Мирный, Сарай-Бату с контакта между шоколадными глинами и бугровой толщей. Результаты радиоуглеродного датирования раковин моллюсков по четырем образцам показали возраст от 16.4 до 13.8 кал. тыс. л. н. (Рисунок 5) (Лобачева и др., 2021). То есть возникновение бугров не может быть древнее этого интервала времени.

Определение возраста бэровских бугров как форм рельефа является сложной задачей, так как требует особого внимания при датировании отложений. Сложности возникают из-за неоднократного переотложения осадков бугровой толщи и вмещаемых редких раковин. Датирование раковинного материала радиоуглеродным методом из бугровой толщи или с контактов внутри нее неуместно из-за его переотложенности. Наиболее надежным методом определения возраста отложений бугров является OSL–датирование, как правило, дающее отличные результаты при изучении отложений эолового генезиса. Возрастной интервал потенциального формирования бугров заключается между 13.8 и 8.6 кал. тыс. лет назад.

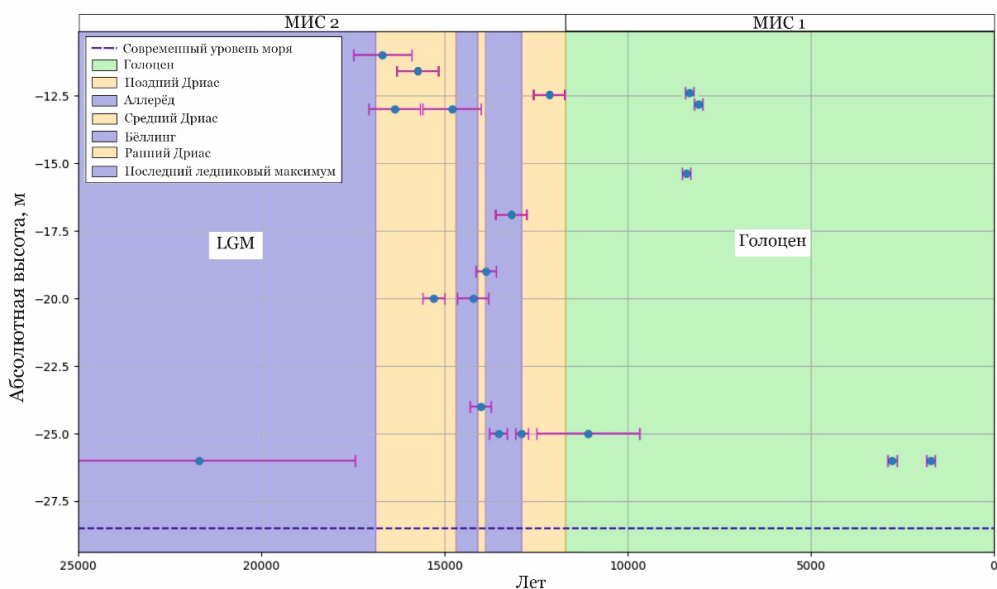


Рисунок 5. Гипсометрическое положение отложений с абсолютными датами, полученными из бугровых прослоев и отложений их подстилающих (по материалам из Таблицы 5.3.1). Цветом показаны основные климатические события Европы, выше указаны морские изотопные стадии согласно (Cohen, et al., 2019)

5.4. Стадии и палеогеографические условия формирования и развития бэровских бугров

Бэровские бугры являются сложными денудационно-аккумулятивными образованиями комплексного генезиса, морфолого-морфометрические характеристики которых претерпели ряд трансформаций на протяжении голоцена, и продолжают изменяться до сих пор.

Современный облик этих форм был создан рядом гетерогенных и гетерохронных процессов, тесно сопряженных между собой в пространстве. Сложность хронологических построений на исследуемой территории обусловлена ее сильной меридиональной вытянутостью и тем, что более северные участки первыми осушались от вод моря. Территория, граничащая с нулевой отметкой высоты, осушилась раньше от вод позднехвалынского бассейна, чем территория современной дельты Волги и шельфа, что обусловило более ранний возраст сформировавшихся на ней бугров.

Автором, на основании проведенных комплексных исследований, представлена результирующая схема последовательного формирования бугровой толщи и рельефа бэровских бугров (Рисунок 6). Она включает четыре геоморфолого-палеогеографических этапа.

1 этап — Позднехвалынский. Образование морского денудационно-аккумулятивного рельефа со сложной морфологией на мелководье Северного Каспия за счёт ветро-волнового воздействия на фоне падения уровня моря по мере регрессирования позднехвалынского бассейна; этот рельеф послужил цоколем для последующего формирования эолового рельефа. Этапу отвечает формирование Литофации 4, а предшествовало ему накопление шоколадных глин (Литофация 3) в раннехвалынском бассейне, которые нередко лежат в цоколе бугров;

2 этап — Мангышлакский. Накопление основной толщи бугров, Литофаций 1 и 2, в максимум мангышлакской регрессии в условиях аридного климата за счёт активного эолового перевеивания шоколадных глин (Литофация 3), аллювия и морских осадков позднехвалынского бассейна (Литофации 4). Процесс эоловой аккумуляции был сопряжен с локальным размывом склонов и цоколей бугров многочисленными дельтовыми палеопротоками Волги, Сарпы и других малых водотоков, следовавшими за отступающим морем с началом мангышлакской регрессии; где некоторые протоки отмирали и перевеивались ветром, формируя линейные дюны, об этом свидетельствует высокая приуроченность бугров к палеodelтам позднехвалынского времени; бэровские бугры размыты в дельте Волги в результате мангышлакского вреза;

3 этап — Новокаспийский. Стабилизация дюн и закрепление их растительностью с ростом увлажненности климата в начале голоцена; в ильменах и дельте Волги происходит размыв склонов бугров сгонно-нагонными явлениями и протоками дельты в периоды подъема уровня моря в новокаспийское время; эоловая активность постепенно уменьшается, межбугровые пространства в пределах новокаспийской трансгрессии и ее стадий оказываются заняты водоёмами-ильменями, эоловые проявления локальны;

4 этап — Современный. Изменение морфологии бугров хозяйственной деятельностью человека (добыча полезных ископаемых, селитебная деятельность) с позднего голоцена и по настоящее время. Возникновение первых поселений в дельте Волги в эпоху бронзы.

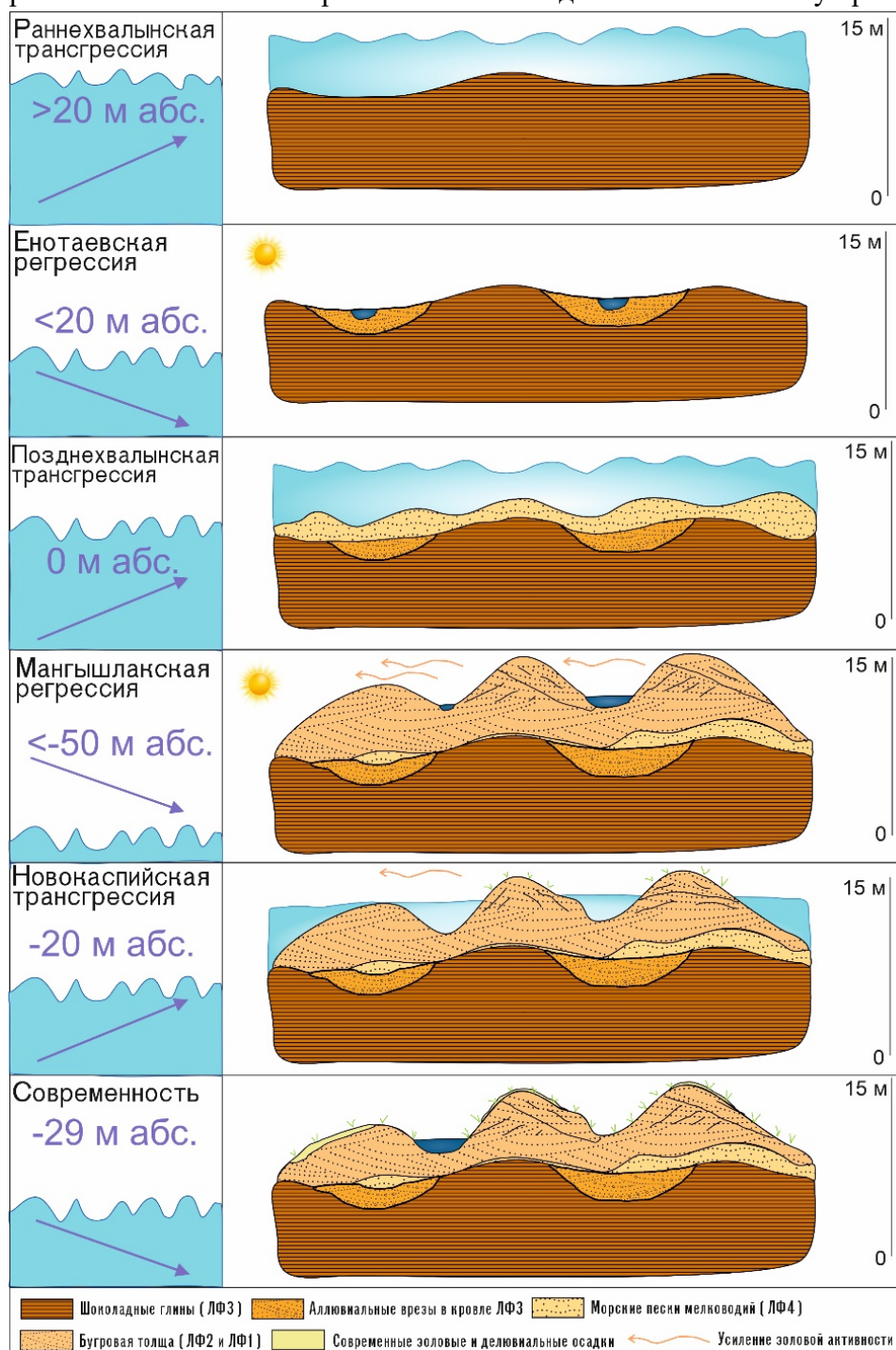


Рисунок 6. Результирующая схема формирования рельефа бэровских бугров. Стрелки указывают на трансгрессию/регрессию уровня моря

В настоящее время нигде на территории Северного Прикаспия не образуются формы рельефа подобные буграм, из чего следует вывод: сейчас не существует тех климатических и ландшафтных условий, при которых они формировались и развивались. Весь разнообразный грядовый рельеф на данной территории испытывает активное современное эрозионное, дефляционное и антропогенное воздействие и является, по сути, реликтовым.

На основе проведенного исследования, автор предлагает следующие варианты **определения** понятия «бэровский бугор»:

(а) узкое:

Бэровские бугры — это грядовые формы рельефа комплексного генезиса, широко распространённые в Северном Прикаспии, имеющие линейную морфологию;

(б) широкое:

Бэровские бугры — это денудационно-аккумулятивные формы, основанием которых служит рельеф, образовавшийся на каспийском мелководье при ветро-волновом воздействии при спаде уровня позднехвалынского моря, на этапе мангышлакской регрессии надстроенные золовыми процессами из материала морских осадков до линейных дюн, впоследствии претерпевшие эрозионное воздействие палеопотоками дельт Волги и Сарпы, а затем испытывавшие антропогенную трансформацию в позднеголоценовое время.

Заключение

Основная задача работы — установление этапов и реконструкция палеогеографических условий формирования и развития бэровских бугров на территории Северного Прикаспия — выполнена на основе геоморфолого-палеогеографического изучения форм рельефа и слагающих их отложений с привлечением результатов математического моделирования. Получены следующие выводы:

1. Современный рельеф Прикаспийской низменности сформирован в результате длительной истории развития под влиянием комплекса эндогенных и экзогенных факторов, климатических изменений и неоднократных колебаний уровня Каспийского моря. Выделяются геоморфологические районы: раннехвалынская морская равнина, позднехвалынская морская равнина, осложненная золовыми формами и бэровскими буграми комплексного генезиса; Волго-Ахтубинская пойма и пойма Урала; дельты Волги и Урала. Распространены формы рельефа морского, флювиального, золового, суффозионного и комплексного (бэровские бугры) генезиса.
2. Бэровские бугры — это грядовые денудационно-аккумулятивные формы рельефа комплексного генезиса: бугровая толща создана золовыми процессами на морском рельефе позднехвалынского возраста. В настоящее время нигде на территории Северного Прикаспия не образуются формы рельефа подобные бэровским буграм, что свидетельствует об отсутствии условий, благоприятных для их формирования и развития. Бэровские бугры в настоящее время испытывают активное эрозионное, дефляционное и антропогенное воздействие и являются, по сути, реликтовыми формами.
3. Бэровские бугры в Северном Прикаспии распределены неравномерно: очевидна их связь с палеоруслами конца хвалынского времени с привязкой базиса эрозии к постепенно отступающему морю и развитию мангышлакской регрессии. Так, крупные массивы грядового рельефа приурочены к дельте Сарпинско-Даванской системы, постепенно переходящей в западные подступные ильмени, к протокам палеodelьты Волги южнее Хакского эстуария.
4. Бэровские бугры не являются уникальными формами рельефа. Характерная особенность бэровских бугров — вилообразный характер соединения гряд, с развилком, обращенным, как правило, на восток, что является признаком золового генезиса форм и характерно для линейных дюн. Существует ряд аналогичных по облику и взаиморасположению, а в некоторых случаях и по внутреннему строению, форм: линейные дюны пустынь Негев, Намиб, дюнного поля Малли в Австралии, грядово-ложбинный комплекс рельефа на Ишим-Тобольском междуречье.

5. Как правило, в основании бэровских бугров залегают шоколадные глины, служащие для них цоколем. Бугровая толща залегает на них с эрозионным контактом. Иногда между бугровой толщей и шоколадными глинами располагается маломощная (до 2 м) литофация морских песков, вероятно, позднихвалынского бассейна, отвечающая мелководным условиям с действием волн и вдольбереговых течений.

6. Литолого-морфологически бэровские бугры разделяются на несколько типов:

А — наиболее крупные гряды, состоящие из одной или двух бугровых литофаций, залегающих на цоколе из эродированных шоколадных глин, широко распространенные в палеodelьте Сарпы и иногда в дельте Волги, со значительным эрозионным и абразионным воздействием на них палеорусел Сарпы-Давана, прорезающих бугровую толщу;

Б — широко распространенный тип бэровских бугров с залеганием бугровой толщи, состоящей из одной или двух литофаций, на локальных возвышениях, сложенных шоколадными глинами, часто с маломощными прослоями морского песка между ними и бугровой толщей, типичный для дельты Волги и её нижнего течения;

В — бэровские бугры с нерасчлененной бугровой толщей, залегающей на шоколадных глинах, характерные для Волго-Уральского междуречья.

7. Согласно моделированию прибрежной морфолитодинамики в северо-западной части Каспия, с учётом понижения уровня моря и ветро-волнового воздействия, как процессы дефляции и аккумуляции, так и динамические процессы, наблюдающиеся в прибрежной зоне моря, способствуют образованию узких поперечных структур, подобных бэровским буграм, но не достигающих их морфометрических параметров. Значительное влияние на динамику вертикальных деформаций оказывает нелинейное изменение уровня моря с трансгрессивно-регрессивными осцилляциями и периодами его стабилизации, способствовавшие влиянию ветро-волновых процессов, формирующих морфолитодинамику прибрежной зоны. При снижении уровня моря обширные осушенные пространства подвергаются активному воздействию эоловых процессов. Линейные дюны в первую очередь образовывались на локальных возвышениях рельефа, которыми служил морской рельеф и локальные неровности кровли шоколадных глин и песчаной литофации морских песков.

8. Возрастной интервал потенциального формирования бугров заключается между 13.8 и 8.6 кал. тыс. лет назад. Накопление бугровой толщи было не одновременным событием, оно происходило стадийно по мере отступления береговой линии хвалынского моря в финальном плейстоцене до наступления новокаспийской трансгрессии в первой половине голоцена.

9. В развитии рельефа бэровских бугров выделяется 4 этапа:

1 этап — формирование морского рельефа на мелководье Северного Каспия за счёт ветро-волнового воздействия на фоне падения уровня моря по мере регрессирования позднихвалынского бассейна; этот рельеф послужил цоколем для последующего формирования эолового рельефа; этому этапу отвечает формирование Литофации 4;

2 этап — накопление основной толщи бугров, Литофации 1 и 2, в максимум мангышлакской регрессии в условиях аридного климата за счёт активного эолового переивания шоколадных глин (Литофация 3), аллювия и морских осадков; локальный размыв склонов бугров палеопотоками Волги и Сарпы, следовавших за отступающим морем с началом мангышлакской регрессии;

3 этап — стабилизация дюн и закрепление их растительностью, размыв межбугровых понижений и подмыв склонов бугров в дельте Волги и ильменях в новокаспийское время;

4 этап — изменение морфологии бугров хозяйственной деятельностью человека (добыча полезных ископаемых, селитебная деятельность) с голоцена и по настоящее время.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

1. **Лобачева Д.М., Бадюкова Е.Н., Макшаев Р.Р.** Литофациальное строение и условия накопления отложений бэровских бугров Северного Прикаспия // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2021. — № 6. — С. 89–101. EDN: YXAUGY / 0,812 п.л. *Импакт-фактор 0,287 (SJР). Вклад соискателя 80%.*
2. **Бричёва С.С., Гоников Т.В., Панин А.В., Деев Е.В., Матасов В.М., Дорошенков М.М., Энтин А.Л., Лобачева Д.М.** О происхождении грядового рельефа Курайской котловины (юго-восточный Алтай) в свете морфометрических и георадарных исследований // Геоморфология и палеогеография. — 2022. — Т. 53, № 4. — С. 25–41. EDN: BOHBTQ / 1,85 п.л. *Импакт-фактор 1,062 (SJР). Вклад соискателя 20%.*
3. **Lobacheva D.M., Badyukova E.N., Makshaev R.R.** Sedimentary characteristics of Baer knolls deposits in the Volga River Delta // Геоморфология и палеогеография. — 2023. — Vol. 54, no. 3. — P. 67–80. EDN: WDAEYY / 0,875 п.л. *Импакт-фактор 0,212 (SJР). Вклад соискателя 80%.*
4. **Лобачева Д.М., Бадюкова Е.Н., Макшаев Р.Р.** Положение протоков палеодельты Волги в конце хвалынского времени по геоморфологическим данным // Аридные экосистемы. — 2023. — Т. 29, № 3. — С. 24–35. EDN: VTESSF / 0,625 п.л. *Импакт-фактор 1,992 (РИНЦ). Вклад соискателя 80%. [Англоязычная версия: Lobacheva D.M., Badyukova E.N., Makshaev R.R. The positions of the channels of the Volga Paleodelta at the end of the Khvalynian time according to geomorphological data // Arid Ecosystems. — 2023. — Vol. 29, no. 3. — P. 15–23. EDN: YBHGIZ / 0,56 п.л. Импакт-фактор 0,6 (JIF). Вклад соискателя 80%.]*
5. **Котеньков С.А., Макшаев Р.Р., Лобачева Д.М., Матлахова Е.Ю.** Волго-Каспийский канал в XVIII в.: историко-географическая реконструкция судоходного маршрута // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2024. — Т. 79, № 3. — С. 149–161. EDN: KKYAQU / 0,82 п.л. *Импакт-фактор 0,245 (SJР). Вклад соискателя 40%.*
6. **Котеньков С.А., Лобачева Д.М.** Карта и записки Энгельберта Кемпфера 1697 г. историко географический анализ // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2024. — Т. 79, № 5. — С. 114–123. EDN: CXBFUC / 0,625 п.л. *Импакт-фактор 0,245 (SJР). Вклад соискателя 50%.*
7. **Makshaev R.R., Yanina T.A., Bolikhovskaya N.S., Matlakhova E.Yu., Semikolennykh D.V., Tkach N.T., Lobacheva D.M., and Tkach A.A.** The timing and sedimentary facies of the early Khvalynian stage in the Lower Volga Region (Northern Caspian Lowland) // Quaternary Science Reviews. — 2025. — Vol. 369, p. 109601. — DOI: 10.1016/j.quascirev.2025.109601 / 1,062 п.л. *Импакт-фактор 1,334 (SJР). Вклад соискателя 20%.*
8. **Матлахова Е.Ю., Макшаев Р.Р., Лобачева Д.М., Лысенко Е.И., Ткач А.А., Ткач Н.Т., Котеньков С.А., Соловьев Д.С.** Влияние колебаний уровня Каспия и динамики русловой сети дельты Волги на расположение и развитие хазарских поселений Семибугоринского археологического комплекса // Limnology and Freshwater Biology. — 2024. — № 4. — С. 510–515. EDN: HJLIFB / 0,14 п.л. *Импакт-фактор 0,289 (РИНЦ). Вклад соискателя 20%.*

[Англоязычная версия: *Matlakhova E.Y., Makshaev R.R., Lobacheva D.M., Lysenko E.I., Tkach A.A., Tkach N.T., Koten'kov S.A., and Soloviev D.S.* The influence of the Caspian Sea level fluctuations and river channels network dynamics in the Volga River delta on the location and development of Khazar settlements of the Semibugorinsky archaeological complex // *Limnology and Freshwater Biology*. — 2024. — № 4. — С. 510–515. — DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-510 / 0,14 п.л. *Импакт-фактор 0,167 (SJР). Вклад соискателя 20%.*].

9. *Макишаев Р.Р., Матлахова Е.Ю., Ткач Н.Т., Лобачева Д.М., Лысенко Е.И., Ткач А.А.* Влияние раннехвалынской трансгрессии Каспия на строение долины Волги и ее притоков (ключевой участок Малый Караман, Саратовская область) // *Геоморфология и палеогеография* — 2025. — Т. 56, № 1. — С. 116–129. EDN: DNXQPH / 0,875 п.л. *Импакт-фактор 0,194 (SJР). Вклад соискателя 20%.*

Прочие публикации:

10. *Бадюкова Е.Н., Лобачева Д.М.* Бэровские бугры в дельте Волги и Северном Прикаспии // В кн.: *Дельта Волги. Эволюция природной среды в условиях изменений климата*. Под ред. Т.А. Яниной — М.: Географический факультет МГУ, ООО «Красногорская типография» Москва, 2019. — С. 116–149. / 3,81 п.л. *Вклад автора 40%.*