

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи



Таратунина Наталья Александровна

**ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВЫЙ КРИОГЕНЕЗ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ:
УСЛОВИЯ И ХРОНОЛОГИЯ ЭТАПОВ РАЗВИТИЯ**

1.6.8 – Гляциология и криология Земли
(25.00.31 – Гляциология и криология Земли)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва – 2022

Работа выполнена в Научно-исследовательской лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель: – **Рогов Виктор Васильевич** – доктор географических наук, профессор кафедры криолитологии и гляциологии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

Официальные оппоненты: – **Веркулич Сергей Романович** – доктор географических наук, главный научный сотрудник, заведующий Отделом географии полярных стран ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт»

Огородов Станислав Анатольевич – доктор географических наук, главный научный сотрудник, заведующий Лабораторией геоэкологии Севера географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

Конюшков Дмитрий Евгеньевич – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник Отдела генезиса, географии, классификации и цифровой картографии почв ФГБУН «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»

Защита диссертации состоится «29» сентября 2022 г. в 15.00 часов на заседании диссертационного совета МГУ.016.4(МГУ.11.04) Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, д.1, Географический факультет, 21 этаж, ауд. 2109.

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 сайте ИАС «ИСТИНА»:

<https://istina.msu.ru/dissertations/455546231/>

Автореферат разослан «25» мая 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета МГУ.016.4(МГУ.11.04),
кандидат географических наук



Е.Ю. Матлахова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Понимание реакции различных ландшафтных компонентов на глобальные и региональные изменения климата возможно только посредством детального изучения их изменений в прошлые геологические эпохи, отраженных в строении отложений. Одним из природных явлений, получивших широкое распространение на территории Восточно-Европейской равнины в позднем плейстоцене, является многолетняя мерзлота. На этой территории выявлены многочисленные свидетельства существования мерзлых пород в виде разнообразных криогенных структур, часто формирующих криогенные горизонты. Последние, в свою очередь, являются важным хроностратиграфическим репером. В настоящее время детальная реконструкция этапов развития криогенеза, условий его формирования и выявление границ максимального распространения области многолетней мерзлоты на территории Восточно-Европейской равнины в позднем плейстоцене остается нерешенной задачей современной палеогеографии.

Одним из наиболее дискуссионных районов распространения многолетней мерзлоты в позднем плейстоцене на Восточно-Европейской равнине является Прикаспийская низменность. Здесь, в долине рек Волги и Ахтубы, на значительном протяжении от Волгограда до Астрахани (территория Нижнего Поволжья), за длительный период исследований охарактеризована серия разрезов, содержащих уникальную запись о четвертичной истории Каспийского моря в виде чередующихся морских и субаэральных отложений (Федоров, 1957; Васильев, 1961; Москвитин, 1962; Свиточ, Янина, 1997; Koltringer et al., 2021; Kurbanov et al., 2021).

Эволюция природной среды этого региона находится под пристальным вниманием исследователей (Гричук, 1954; Шкатова, 1975; Янина, 2012; Tudryn et al., 2013; Свиточ, 2014; Болиховская и др., 2017). Однако в значительном по объему опубликованном материале встречаются лишь короткие и отрывочные описания палеогеографических условий регрессивных эпох Каспийского моря. Разнообразие взглядов (Васильев, 1961, 1976; Москвитин, 1962; Федоров, 1978; Коломийцев, 1985; Рычагов, 1997; Лаврушин и др., 2014; Бадюкова, 2015) о строении разрезов и генетических свойствах отложений, отсутствие детальной литологической характеристики не позволяют выполнять достоверные палеогеографические реконструкции для значительного по протяженности этапа ательской регрессии, отложения которого широко распространены в северной части Нижнего Поволжья. Практически отсутствуют данные по истории развития процессов криогенеза и их роли в формировании субаэральных отложений данного региона. Недостаточность материалов по ландшафтно-климатической динамике в ходе продолжительной ательской регрессии связана, во-первых, с малым количеством изученных на современном уровне разрезов, содержащих серии континентальных отложений, а, во-вторых, с тем, что основное внимание исследователей региона было направлено на детальную характеристику морских отложений различных трансгрессивных этапов Каспийского моря. Реконструкция эволюции мерзлотных процессов в отложениях позднего плейстоцена и их влияния на особенности седиментации может позволить приблизиться к пониманию палеогеографических условий формирования субаэральных отложений в регрессивные эпохи Каспия.

Диссертационная работа выполнена при поддержке проектов РНФ (№16-17-10103, №19-77-10077), РФФИ (№18-35-00619, №20-55-56046), а также в рамках фундаментальных тем Государственного задания Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова: «Палеогеографические реконструкции природных геосистем и прогнозирование их

изменений» (ЦИТИС 121051100135-0, приоритетное научное направление «Глобальные и региональные изменения окружающей среды и общества») и «Палеоклиматы, развитие природной среды и долгосрочное прогнозирование ее изменений» (ЦИТИС АААА-А16-116032810080-2, приоритетное научное направление «Изменения природной среды, общества и проблемы природопользования»).

Цель исследования заключается в решении одной из проблем палеогеографии позднего плейстоцена – доказательстве существования криогенеза на территории Нижнего Поволжья в позднем плейстоцене, определение хронологии и условий его развития.

Основные задачи:

- 1) изучение верхнеплейстоценовых отложений Нижнего Поволжья и заключенных в них криогенных структур;
- 2) выделение этапов развития криогенеза на территории Нижнего Поволжья посредством корреляций и датирования методом оптически стимулированной люминесценции;
- 3) характеристика условий формирования криогенных структур, определение типа мерзлоты, ее строения и мощности;
- 4) корреляция природных событий в Нижнем Поволжье с событиями на Восточно-Европейской равнине.

Объектом исследования являются криогенные структуры в толще верхнеплейстоценовых отложений Нижнего Поволжья. **Предметом** исследования служит криогенез и условия его образования в позднем плейстоцене на изученной территории.

Фактический материал, личный вклад автора. На начальном этапе исследования проводился литературный обзор работ по Нижнему Поволжью (Федоров, 1957; Васильев, 1961, 1976; Москвитин, 1962; Шкатова, 1975; Леонтьев и др., 1977; Рычагов, 1997; Свиточ, Янина, 1997; Янина, 2012; Свиточ, 2014 и др.) с целью выявления разрезов, содержащих следы криогенеза в виде различных криогенных структур; также выполнен анализ материалов дистанционного зондирования для выбора ключевых участков данного региона. Полевое изучение позднеплейстоценового криогенеза Нижнего Поволжья проводилось в 2017-2021 гг. автором в составе экспедиций под руководством Т.А. Яниной и Р.Н. Курбанова, которые включали: рекогносцировочные работы по левому и правому берегам р. Волга с определением ключевых разрезов; непосредственную работу на обнажениях - Средняя Ахтуба, Ленинск, Батаевка, Райгород, Черный Яр, Косика. В ходе полевого изучения разрезов Нижнего Поволжья автором лично выполнено литостратиграфическое описание отложений с выделением фаций и текстур, выделение криогенных горизонтов и детальное описание криогенных структур, опробование отложений для лабораторных анализов (гранулометрический, микроморфологический, минералогический, люминесцентное датирование), фотофиксация и нивелирная съемка. Автором самостоятельно выполнен весь комплекс лабораторных исследований: в Лаборатории криотрасологии Института Криосферы Земли СО РАН выполнено определение гранулометрического состава (159 образцов), анализ микростроения и морфоскопии на сканирующем электронном микроскопе (115 образцов), определение минералогического состава отложений и определение коэффициента криогенной контрастности (73 образца); пробоподготовка для абсолютного датирования выполнена в НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена МГУ им. М.В. Ломоносова; в Северной лаборатории люминесцентного датирования (Орхусский университет, Дания) проведено оптически стимулированное люминесцентное датирование (29 образцов). Анализ и обобщение

полученных данных выполнены лично автором диссертации. Для корреляции событий, а также уточнения палеогеографических реконструкций использованы материалы коллег и опубликованные данные с указанием в тексте диссертации источников информации.

Методология. Основой палеокриолитологического анализа является принцип актуализма, согласно которому формирование криогенных структур происходило по принципам и законам, действующим и в настоящее время, а современные криогенные структуры и условия их формирования служат аналогом для оценки палеогеографических обстановок прошлого. Основой диссертационного исследования стал поиск и характеристика палеокриогенных структур в Нижнем Поволжье, детальное изучение их состава, строения, условий накопления, промерзания и протаивания в ходе палеогеографической истории. Возраст формирования криогенных структур определялся методом оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ), который отражает время, прошедшее с момента последнего воздействия солнечного света на зерна кварца и полевых шпатов.

Основные защищаемые положения:

1. Верхнеплейстоценовые отложения Нижнего Поволжья содержат многочисленные следы развития криогенеза, представленные псевдоморфозами разных типов и криотурбациями. Криогенезом затронуты горизонты лёссово-почвенных серий, аллювиальные и прибрежно-морские отложения.

2. В Нижнем Поволжье в позднем плейстоцене установлены шесть этапов криогенеза, имеющих разную выраженность в отложениях в зависимости от генезиса отложений.

3. Формирование клиновидных структур в разрезах рыхлых отложений Нижнего Поволжья объясняется теорией сегрегационного льдообразования: их образование связано с миграцией влаги при промерзании пород деятельного слоя, формированием сегрегационных текстур и последующим протаиванием ледяных шпиров.

4. Граница криолитозоны на юге Восточно-Европейской равнины в позднем плейстоцене располагалась как минимум на 250 км южнее, чем представлялось ранее (Величко, 1973). Границу позднеплейстоценовой криолитозоны в Нижнем Поволжье предлагается проводить в районе с. Косика (~47° с.ш.).

Научная новизна работы. Впервые в Нижнем Поволжье выделены многочисленные структуры, доказано их криогенное происхождение, а также выполнена типизация. Впервые определен абсолютный возраст криогенных структур, на основе чего проведена корреляция разрезов и выделены этапы распространения криогенеза на изученной территории. Выполнена палеогеографическая реконструкция этапов развития криогенных процессов в Нижнем Поволжье. Предложен механизм формирования криогенных структур. На основе комплексного изучения истории криогенеза в Нижнем Поволжье уточнены границы распространения криолитозоны позднего плейстоцена на юге Восточно-Европейской равнины.

Степень достоверности. Степень криогенного преобразования отложений и их возраст оценены с использованием современных методов на новейшем оборудовании (лазерный гранулометр, сканирующий электронный микроскоп, дифрактометр, ТЛ/ОСЛ ридер) в научно-исследовательской лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, лаборатории криотрасологии Института Криосферы Земли СО РАН, Северной лаборатории люминесцентного датирования Орхусского университета (Дания). Проверка достоверности полученных результатов неоднократно осуществлялась на

специализированных семинарах и конференциях, в опубликованных статьях, а высокая степень достоверности выводов обеспечена обширным фактическим материалом.

Теоретическая и практическая значимость работы. Существование криогенных горизонтов подтверждает наличие осушенной поверхности и субаэральные условия времени формирования структур. Таким образом, криогенные горизонты различных разрезов могут служить маркерами для детализации стратиграфических схем Северного Прикаспия, а также позволяют проводить корреляции в пределах Восточно-Европейской равнины. Результаты предлагаемой работы могут быть использованы в образовательных целях в лекционных курсах по палеогеографии и криолитологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Апробация. Результаты исследования и основные положения диссертации представлены автором на российских и международных научных конференциях и совещаниях: Всероссийская научная конференция "Пути эволюционной географии", посвященная памяти профессора А.А. Величко (Москва, Россия, 2016), 5-я европейская конференция по изучению мерзлоты EUCOP-5 (Шамони, Франция, 2018); Международная конференция «Loessfest2018: Diversity of loess: properties, stratigraphy, origin and regional features» (Волгоград, 2018); Всероссийская конференция «Геохронология четвертичного периода: инструментальные методы датирования новейших отложений» (Москва, Россия, 2019); XX международный конгресс по изучению четвертичного периода INQUA (Дублин, Ирландия, 2019); Международная конференция по люминесцентному датированию UKLED (Роскилле, Дания, 2019); Всероссийская научная конференция с международным участием «Марковские чтения 2020» (Москва, 2020); 29 Всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2021); VI Всероссийский научный молодежный геокриологический форум (Якутск, 2021); 2-я Международная конференция по четвертичным наукам (Горган, Иран, 2021); 16-я Международная конференция по люминесцентному датированию (Бургос, Испания, 2021), II Всероссийская конференция «Пути эволюционной географии» (Москва, 2021).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 26 научных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых изданиях (журналах) из списка Scopus, WoS и RSCI (2 статьи в зарубежных журналах), 2 коллективные монографии, 10 статей в материалах всероссийских и международных конференций и 15 тезисов докладов.

Во всех опубликованных работах вклад автора является определяющим. Автор принимал активное участие в постановке научных задач, проведении полевых и лабораторных исследований, анализе и интерпретации полученных результатов, предоставлении их в печать. При этом необходимо отметить следующее. Применение протокола SAR при датировании отложений методом оптически стимулированной люминесценции [публикации 3, 6, 7, 14, 15] выполнено совместно с Р.Н. Курбановым и Э.С. Мюрреем. Подбор дифракционного спектра минералов для расчета коэффициента криогенной контрастности [1, 2, 7, 10, 12, 14] выполнен совместно с А.Н. Курчатовой. Автором была проведена значительная работа над текстом статей, а также представление их в архив и редакции журналов и переписка с редакторами и рецензентами.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из Введения, 5 глав, включающих 14 таблиц и 58 рисунков, Заключения, списка литературы из 213 наименований (в том числе 68 на иностранных языках) и 2 приложений. Текст изложен на 169 страницах.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю д.г.н., профессору Виктору Васильевичу Рогову за постоянную помощь и конструктивную критику. Автор выражает особую признательность своему консультанту, к.г.н., с.н.с. Курбанову Р.Н., за неоценимую помощь и советы в работе над диссертацией, а также возможность сбора материала в рамках полевых исследований и освоения методики абсолютного люминесцентного датирования. Автор искренне благодарна заведующей НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, д.г.н. Яниной Т.А. за направление и безграничную отзывчивость. Автор безмерно благодарна д.г.н. Болиховской Н.С., к.г.-м.н. Стрелецкой И.Д. за всеобъемлющую поддержку и критику в работе над диссертацией; заведующей лабораторией криотрасологии (ИКЗ СО РАН) к.г.-м.н. Курчатовой А.Н. за ценный методический опыт, возможность проведения полного комплекса криолитологических исследований и поддержку; Яниной Т.А., Бутузовой Е.А., Семиколенных Д.А. – за помощь в изучении морских отложений; д.с.-х.н. Лебедевой М.П., д.б.н. Макееву А.О., д.г.н. Русакову А.В., к.с.-х.н. Романис Т.В., Кагановой А.Е. – за совместные полевые исследования и ценный опыт в изучении палеопочв; Стивенсону Т., Колтрингер К. – за совместные полевые исследования, ценный опыт в изучении магнитных свойств отложений и минералогических исследованиях; к.г.н. Солодовникову Д.А. и студентам ВолГУ за помощь в организации и проведении полевых работ в Нижнем Поволжье; Мюррею Э.С. и Булярет Я.-П. – за возможность проведения абсолютного датирования в Северной лаборатории (Дания) и помощь в анализе результатов; к.г.н. Зазовской Э.П. и к.б.н. Шишкову В.А. – за возможность работы в Лаборатории радиоуглеродного датирования ИГ РАН; Королевой Е.С. за помощь в проведении лабораторных анализов. Автор выражает благодарность всему коллективу НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена за творческую атмосферу, понимание, поддержку и ценные советы.

СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1. Природные условия Нижнего Поволжья

Глава включает краткий обзор природных условий территории Нижнего Поволжья, расположенной в северо-западной части Прикаспийской низменности.

Прикаспийская низменность занимает центральную и западную части Прикаспийской тектонической впадины, и простирается от Общего Сырта на севере до берегов Каспийского моря на юге. Абсолютные высоты в пределах низменности меняются от минус 28 м на побережье Каспия до 50 м в северной части Прикаспийской низменности. Рельеф изученной области равнинный (аккумулятивно-морского происхождения), в то же время на значительных площадях переработан флювиальными и эоловыми процессами (Геоморфологическое районирование..., 1980).

Прикаспийская низменность характеризуется наибольшей континентальностью климата на Восточно-Европейской равнине (Алисов, 1956), что определяет ее как наиболее жаркую и засушливую часть Восточно-Европейской равнины. Среди природных зон доминируют степи и полупустыни. Количество осадков находится в пределах 180-300 мм/год, большее количество которых испаряется, а на сток приходится не более 10 мм. Быстрое повышение температуры весной и одновременное усиление ветров способствует интенсивному таянию снега и иссушению почвенного покрова.

Нижнее Поволжье, с точки зрения четвертичной стратиграфии и палеогеографии, является наиболее изученным регионом Прикаспийской низменности ввиду большой концентрации уникальных по своей полноте и детальности естественных обнажений,

вскрывающих сложно построенную толщу новейших отложений, содержащих морские каспийские осадки, аллювиальные горизонты Волги и субаэральные лёссово-почвенные серии.

Глава 2. Современное состояние изученности верхнеплейстоценовых отложений и истории Нижнего Поволжья

В главе рассмотрены современные представления о строении и составе верхнеплейстоценовых отложений, их генезисе и палеогеографической истории региона. Генезис отложений, климатические и гидрологические условия Нижнего Поволжья в позднем плейстоцене важны для понимания условий формирования отложений, особенностей рельефа и развития криогенных процессов.

Современные представления о развитии границ Каспийского моря свидетельствуют о значительных (до 100 м) колебаниях его уровня, причины которых различны: режим осадков, испарение, таяние мерзлоты, рельеф побережий и др.

Наиболее дискуссионными являются вопросы стратиграфии ательских отложений и палеогеографии ательской эпохи. В первую очередь, среди исследователей региона острые дискуссии вызывает генезис отложений указанной свиты. При описании ательской толщи обычно употребляется термин «лёссовидные» суглинки и супеси (Федоров, 1957), что подразумевает их самый разнообразный генезис, преимущественно относя к аллювиальным или озерно-аллювиальным осадкам (Шкатова, 1975). В целом, вопрос генезиса лёссовых отложений ательской свиты обходят стороной, именуя эти отложения «наземной» или «субаэральной» толщей (Федоров, 1957; Свиточ, Янина, 1997; Лаврушин и др., 2014; Болиховская и др., 2017). Не менее спорный вопрос о времени формирования ательской толщи, определение возраста которой проводилось разными методами: термолюминесцентным (Шаховец, 1987); радиоуглеродным (Чепалыга, 2004); посредством стратиграфо-палеогеографических корреляций (Москвитин, 1962; Федоров, 1978; Свиточ, 1991; Янина, 2013). Разнообразны также представления о глубине ательской регрессии: разброс составляет от минус 53 м до минус 140 м (абс.) (Леонтьев и др., 1977; Лаврушин и др., 2014; Янина, 2012; Свиточ, 2014). Вопрос о палеогеографических условиях эпохи накопления ательских отложений также не имеет однозначного решения: среди первых исследователей высказывались мнения о жарком пустынном климате (Православлев, 1926; Жуков, 1945); в более поздних работах (Москвитин, 1962; Васильев, 1961, 1976; Шкатова, 1975; Чепалыга, 2004; Свиточ, 2014; Лаврушин и др., 2014; Янина и др., 2017; Болиховская и др., 2017) представлены идеи о суровом ледниковом климате ательской эпохи с развитием вечной мерзлоты и соответствующими следами криогенеза (клинья, котлы и др.).

Лёссовые породы, как континентальные архивы плейстоценовой истории, представляют большой интерес, поскольку могут дать ответ на вопрос о палеогеографических условиях времени их накопления и дальнейшего существования. Лёссовые отложения широко распространены в пределах перигляциальной зоны Восточно-Европейской равнины. Вместе с почвенными горизонтами они образуют лёссово-почвенные серии (Величко, 1973). В диссертации рассмотрены представления о генезисе лёссов на территории Нижнего Поволжья. В результате работ международной группы исследователей под руководством Р.Н. Курбанова и Т. Стивенса выделены многочисленные разрезы, содержащие значительные по мощности лёссово-почвенные серии, получены данные о возрасте этих отложений. В них представлены материалы, свидетельствующие в пользу эолового механизма их формирования (Költringer et al., 2020, 2021).

Долгое время исследователи связывают распространение криогенных явлений в рыхлых отложениях и, в том числе, лёссово-почвенных сериях с климатическими условиями времени их формирования, в связи с чем изучение заключенных в них криогенных структур дает возможность ответить на вопрос о палеогеографических условиях среды. За время изучения криогенных структур появилось большое количество классификаций по различным параметрам: типу заполнителя, расстоянию между структурами, характеру границ, соотношению с вмещающей толщей и др. В диссертации представлены и проанализированы российские классификации криогенных структур (В.А. Кудрявцева, Н.Н. Романовского), а также ряд зарубежных (Дж.Б. Муртон, Х. Френч).

Глава 3. Методы исследований

Для территорий вне современной криолитозоны комплексные исследования гранулометрии, минералогии и микроморфологии криогенных образований пока единичны, и вопрос о влиянии криогенных процессов на состав и строение отложений, как и вопрос в целом о существовании и параметрах мерзлоты в перигляциальной зоне последнего оледенения, остается открытым. Поэтому в исследовании важны как традиционные подходы (полевые и лабораторные) в изучении разрезов рыхлых отложений, так и специальные, требующие особой методики и лабораторного обеспечения.

Проведенные полевые исследования позволили выявить разновозрастные структуры типа псевдоморфоз и криотурбаций, которые являются следами реликтового сезонного и многолетнего промерзания. По результатам исследований было выделено шесть разрезов, в которых на разных уровнях заключены криогенные структуры. Были проведены зачистки стенок, описание, составление литостратиграфических схем с уделением внимания структурным и текстурным особенностям, фотофиксация, выбор мест отбора образцов на различные виды лабораторных анализов.

Лабораторные анализы включали гранулометрический, микроморфологический, минералогический анализы, а также определение абсолютного возраста методом ОСЛ по кварцу и полевым шпатам. Гранулометрический анализ образцов выполнен на лазерном гранулометре Mastersizer 3000 Malvern с диспергацией в водной среде и встроенной функцией ультразвука. Изучение микроморфологии выбранных в данной работе объектов проводилось в двух аспектах – изучение их микростроения и морфологии частиц песчаной фракции. Оба аспекта рассматривались в образцах как ненарушенного, так и нарушенного сложения при помощи растрового электронного микроскопа Hitachi TM 3000 в комплексе с энерго-дисперсионным спектрометром Swift ED 3000. В ходе исследований была поставлена задача по отличию продуктов криогенной трансформации от других типов гипергенеза в результате процессов осадконакопления, а также в зависимости от палеогеографической обстановки, в связи с чем выполнено определение коэффициента криогенной контрастности (ККК), предложенного В.Н. Конищевым как показатель, отражающий криогенную организацию вещества (Конищев и др., 2005). Указанные методики освоены автором и выполнены лично в лаборатории криотрасологии института Криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН. Определение возраста отложений, вмещающих и перекрывающих криогенные структуры, выполнено автором с помощью люминесцентного датирования по кварцу и полевым шпатам в Северной лаборатории люминесцентного датирования (Дания), под руководством Э. Мюррея и Я.-П. Булярета. Результаты датирования позволили получить достаточно точные оценки возраста отложений, что дало возможность провести обоснованные корреляции разрезов, создавая хронологическую основу для детальных палеогеографических реконструкций.

Глава 4. Ключевые объекты

В главе приведены результаты изучения разрезов Нижнего Поволжья: Средняя Ахтуба, Ленинск, Батаевка, Райгород, Черный Яр, Косика (рис.1).

Анализ результатов полевых и лабораторных исследований структур в разрезе **Средняя Ахтуба** позволил сделать следующие выводы:

(1) Криогенное происхождение вскрытых в разрезе структур подтверждается их морфологией, составом, особенностями вмещающих и заполняющих отложений (высокая агрегированность, пылеватый состав, морфология кварцевых частиц, аутигенное минералообразование, высокое содержание карбонатов, значения ККК), их соотношением друг с другом. Микростроение лёссовых и палеопочвенных отложений обусловлено значительным участием таких мощных структурообразователей, как гипс и карбонат кальция. Состав аутигенных минералов свидетельствует о криоаридных условиях формирования лёссовых горизонтов в разрезе Средняя Ахтуба.

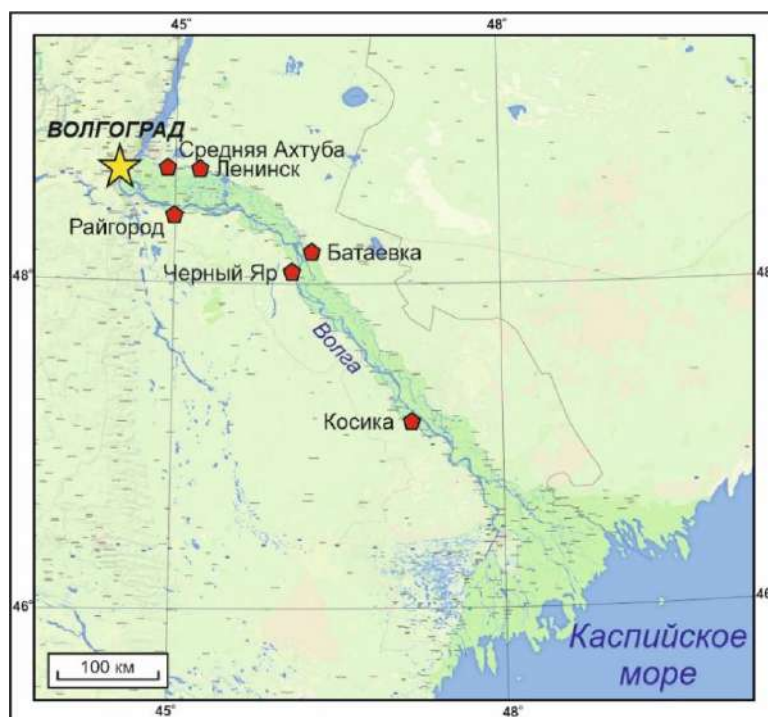


Рисунок 1. Расположение изученных разрезов Нижнего Поволжья

(2) Результаты датирования позволяют определить возраст выделенных криогенных горизонтов в разрезе Средняя Ахтуба (СА): СА-5 – 95-90 тыс.л.н. (начало МИС 5b); СА-4 – в начале МИС 4 (~70 тыс.л.н.); СА-3 ~45 тыс.л.н.; СА-2 и СА-1 относятся к одному этапу - 37-35 тыс.л.н.

(3) Исходя из характера границ между горизонтами, морфологии структур, их соотношения с вышележащими и вмещающими отложениями, можно сделать следующие выводы:

- структуры, характерные для горизонтов СА-5 и СА-4, вероятно, формировались в схожих климатических (температурных и влажностных) условиях глубокого сезонного промерзания и сезонного заполнения трещин грунтовым материалом с поверхности (рис.2а);

- структуры горизонта СА-3, вероятно, изначально имели меньшие размеры, однако с приходом вод Волги их форма существенно изменилась: помимо вытаявания ледяного

заполнителя структуры подверглись процессу термоэрозии, чем и объясняется их двухуровневое строение и послойное заполнение (рис.2б);

- маломощные псевдоморфозы горизонта СА-1, вероятно, представляют собой вытягившие «хвосты» ледяных жилок. Вытаивание льда «хвоста» происходило постепенно, с округлением острого угла, сползанием на стенки материала, который частично заполнял жилку. Примыкавшие к хвосту ледяной жилки слои сегрегационного льда также вытаивали и заполнялись тем же материалом (рис.2г). Водная эрозия в дальнейшем смыла источник материала первого слоя, прилегающего к стенкам криогенной структуры. В последующем, поступившие воды отлагали более грубый материал, заполнивший центральную часть вытягнутого хвоста жилы. Когда вся жила была заполнена, этот материал отложился в виде параллельных горизонтальных слоев, границы которых выделяются отложившимися карбонатами.

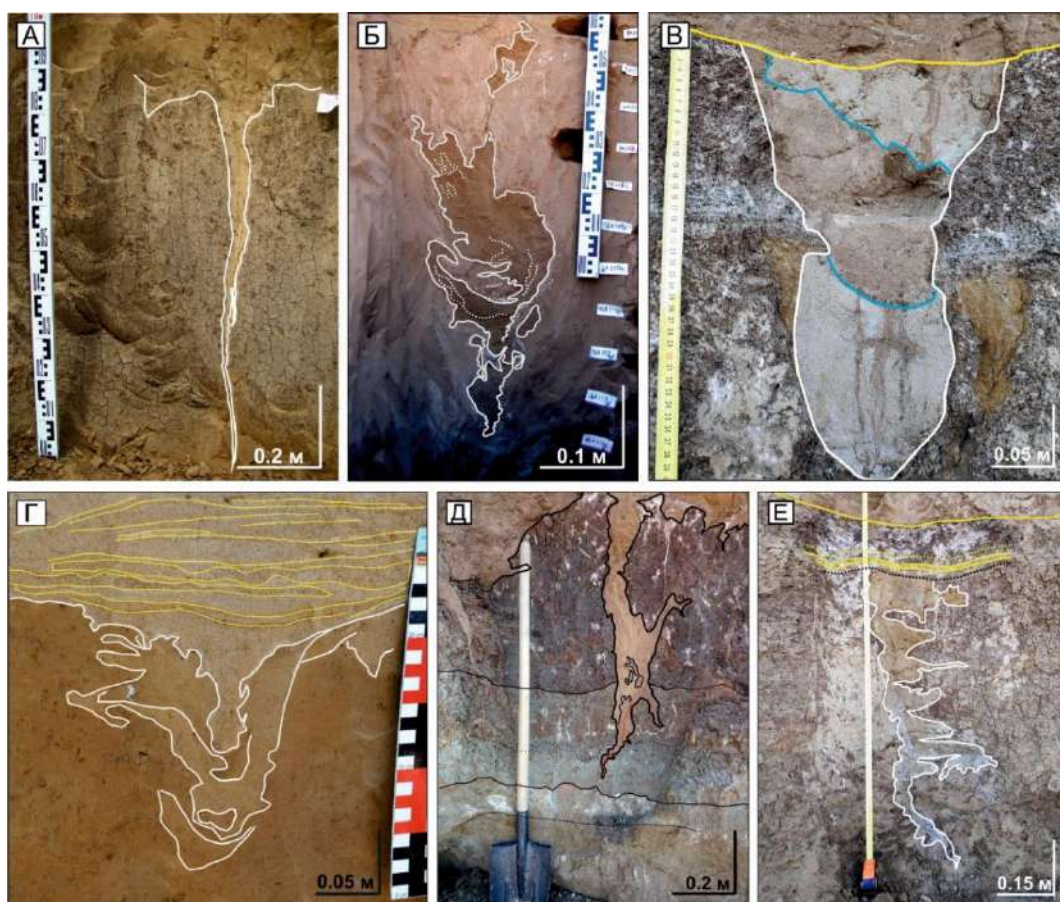


Рисунок 2. Криогенные структуры в различных горизонтах позднеплейстоценовых отложений Нижнего Поволжья:

А – клиновидная структура в лёссово-почвенных отложениях (Средняя Ахтуба); Б – структура с двухуровневым строением в лёссовом горизонте, перекрытом аллювиальными осадками (Средняя Ахтуба); В - мешкообразная структура в толще морских осадков (Косика); Г – клиновидная структура с горизонтальным отростком в палеопочве, развитой по пойменным осадкам (Средняя Ахтуба); Д – псевдоморфоза с неровными границами в лиманно-морских отложения (Черный Яр); Е – псевдоморфоза с горизонтальными отростками в толще морских осадков (Косика)

По результатам полевых и лабораторных исследований отложений разреза **Ленинск** сделаны следующие выводы:

(1) В разрезе установлены три горизонта с криогенными структурами.

(2) В гранулометрическом отношении лёссовые горизонты разреза характеризуются преобладанием фракции (0,025-0,05 мм) крупной пыли. Эта фракция в изученных разрезах сформирована в том числе за счет большого количества агрегатов с кальцитовым цементом. Почвенные горизонты содержат больше глинистых частиц, что способствовало их большей влагоемкости по сравнению с лёссами. В связи с этим структуры ярче выражены именно в палеопочвенных прослоях, поскольку на момент формирования структур были более влажными. Значения коэффициента криогенной контрастности закономерно выше для палеопочвенных горизонтов (ККК 0,95-1,03), чем для лёссов, и отражают более частые фазовые переходы «вода-лед» в почвах. Морфология кварцевых зерен разнообразна: отложения сохранили черты водной и эоловой переработки, но и приобрели особенности осадка, находившегося под влиянием криогенеза – присутствуют свежие сколы и раковистые изломы.

(3) Выполненное абсолютное датирование отложений позволило определить хронологические границы выделенных криогенных горизонтов и установить возраст трех этапов криогенеза в разрезе Ленинск (ЛН) в позднем плейстоцене: ЛН-3 – ~95 тыс.л.н.; ЛН-2 – ~80 тыс.л.н.; ЛН-1 – ~40-37 тыс.л.н.

Разрез **Батаевка** характеризует самый южный участок распространения лёссово-почвенных серий ательских отложений Нижнего Поволжья.

(1) Здесь установлен один этап криогенеза (БТ-1) с псевдоморфозами до 2,5 м по вертикали, расположенными с шагом 40-60 см.

(2) Результаты анализа пылевой фракции показали, что в лёссовых пачках максимум содержания частиц принадлежит фракции крупной пыли (0,025-0,05 мм). В данном разрезе значения коэффициента криогенной контрастности для лёссов ниже, чем для почвенных горизонтов. Это можно объяснить тем, что почвенные горизонты со сменой условий испытывали многочисленные циклы промерзания-протаивания и в большей степени реагировали на фазовые переходы «вода-лед» ввиду большей увлажненности. Это и привело к активному криогенному преобразованию состава и строения отложений и созданию условий для формирования клиновидных структур.

(3) Криогенный горизонт, выраженный здесь в отложениях педокомплекса МИС-5, коррелируется с разрезом Средняя Ахтуба (четвертый криогенный горизонт, отложения МИС 5а). Помимо общего временного интервала, криогенные структуры двух разрезов имеют схожие морфологические параметры – форму, размеры, заполнитель, характер границ. Можно сделать вывод, что климатические условия в период формирования структур на изученной территории имели одинаковые параметры. Этот криогенный горизонт является стратиграфическим репером начала накопления ательских отложений Нижнего Поволжья (~70 тыс.л.н.).

Разрез **Райгород** на правом берегу Волги представлен отложениями разного генезиса; его строение отражает сложную историю развития северной части Северного Прикаспия, и отличается от разрезов четвертичных отложений левобережья Волги.

(1) В разрезе зафиксированы три криогенных горизонта: маломощные клиновидные структуры, заполненные вышележащим лёссовым материалом (РГ-1); мешкообразные псевдоморфозы под аллювиальной толщей (РГ-2); мелкие жилки с почвенным материалом (РГ-3). Указанные криогенные структуры отличаются от рассмотренных ранее более представительных структур в разрезах Средняя Ахтуба, Ленинск, Батаевка. В третьем криогенном горизонте (РГ-3, сформировался ~80 тыс.л.н.) отмечаются мелкие клиновидные псевдоморфозы, полигональная сетка которых в плане составляет 5-20 см. Структуры

второго криогенного горизонта (РГ-2, ~70 тыс.л.н.) представляют собой псевдоморфозы по ледяным телам, заполнение которых происходило постепенно; в результате в криогенной структуре образовалось два разных по плотности и цвету слоя. Развитие криогенных структур первого криогенного горизонта (РГ-1, ~52-50 тыс.л.н.) произошло при переходе от более теплых (формирование маломощной почвы) к более холодным (формирования лёссовых отложений) условиям. Слабая выраженность структур в горизонте свидетельствует о сухих условиях времени их формирования.

В разрезе **Черный Яр** выделен один криогенный горизонт, выраженный в виде псевдоморфоз мощностью до 1,3 м, с неровными границами, ответвлениями в хвостовой части и заполнением вышележащим материалом (рис.2д).

(1) Значения ККК для криогенного горизонта значительно ниже единицы, что, при условии осушавшегося мелководного бассейна, свидетельствует о слабой криогенной переработке. Это выражается в том, что кварцевые частицы в отложениях (вмещающих и формирующих псевдоморфозы) во многом сохранили признаки эоловой и водной обстановок (изометричную и окатанную эоловую форму, сглаженные грани, мелкоямчатый рельеф, серповидные бороздки водной обработки), но имеют, тем не менее, признаки криогенной переработки (угловатый облик, сколы на поверхности).

(2) Результаты ОСЛ-датирования позволяют сделать следующие выводы: в промежутке 105-53 тыс.л.н. на данной территории существовал бассейн эстуарного типа. Начало осушения бассейна произошло ~55 тыс.л.н. и сопровождалось образованием дневной поверхности и развитием палеопочвы, по которой впоследствии развивался криогенез. Выше криогенной структуры залегают песчаные отложения, по которым получены даты ~31 тыс.л., а в верхней части псевдоморфозы отложения датируются $43,8 \pm 2,2$ тыс.л. Таким образом, заполнение уже существующей псевдоморфозы происходило ~47-45 тыс.л.н.

Разрез **Косика** предоставляет данные о развитии морских позднеплейстоценовых трансгрессий в южной части Нижнего Поволжья, поскольку это самый южный изученный разрез, а в его строении вскрывается минимум два перерыва в осадконакоплении.

(1) В данном разрезе выделено два криогенных горизонта. По данным абсолютного датирования структуры первого горизонта сформировались ~85 тыс.л.н. (рис.2в); структуры второго ~95 тыс.л.н. (рис.2е).

(2) Результаты определения ККК во вмещающих криогенные структуры отложениях характеризуются значениями коэффициента более единицы в верхней части толщи и убывающими с глубиной, что говорит о достаточно суровых условиях и многократных циклах промерзания-протаивания деятельного слоя.

Глава 5. Особенности проявления криогенеза в верхнеплейстоценовых отложениях Нижнего Поволжья

При изучении разрезов рыхлых верхнеплейстоценовых отложений Нижнего Поволжья исследователи неоднократно наблюдали различные структуры, для которых предполагалось их криогенное происхождение (Васильев, 1961; Москвитин, 1962; Шкатова, 1975). Для окончательного определения криогенного генезиса таких структур необходимо выявить целый ряд показателей, таких как условия и возраст формирования вмещающих отложений, криогенные признаки в их облике и составе, а также показатели, указывающие на возможность их однократного или неоднократного промерзания.

В данной работе рассматриваются структуры, которые не содержат в настоящее время лед, поэтому необходимо отметить, что автор основывается на следующей трактовке «криогенеза»: «...совокупность процессов физического, химического и биологического

преобразования почвенной толщи, происходящих в почвах вследствие влияния отрицательных температур, т.е. при их промерзании, пребывании в промерзшем состоянии и при их *протаивании*» (Макеев, 1973). Этому же мнения придерживается Э.Д. Ершов (1989), характеризуя процесс криогенного текстурообразования в грунтах как результат процессов, протекающих в грунтах при промерзании, в мерзлом состоянии и при оттаивании.

Процессы криогенеза сопровождаются развитием в отложениях образований различного облика – «криогенных структур». В изученном районе из различных типов криогенных структур встречены и описаны только псевдоморфозы и криотурбации и приведена их типизация (рис.3), которая опирается на их морфологию. Всего выделено два типа: псевдоморфозы и криотурбации.

В Нижнем Поволжье описанные структуры встречаются в четырех генетических типах отложений: аллювиальных и лиманно-морских отложениях, в горизонтах палеопочв лёссово-почвенных серий, лёссах. В каждом из этих типов проявление различается как масштабами, так и формами структур.

Криогенные структуры в аллювиальных отложениях. Первым типом отложений, включающим выделенные структуры, являются аллювиальные горизонты (Москвитин, 1962; Шкатова, 1975). Они представлены различными фациями аллювия (русловыми, пойменными, старичными), и встречены в разрезах Средняя Ахтуба и Райгород в виде клубнеобразных криотурбаций, структур небольшой мощности (до 25 см) с горизонтальными отростками (рис.2г), а также маломощных псевдоморфоз в виде тонких клиньев до 30 см по вертикали. Структуры фиксируют этапы осушения поверхности, криогенной трансформации, затопления, преобразования изначального облика криогенной структуры. Таким образом, в разрезах может отразиться один или несколько этапов периодического осушения поверхности, которая подвергается промерзанию с формированием криогенных структур.



Рисунок 3. Типизация криогенных структур в верхнеплейстоценовых отложениях Нижнего Поволжья

Криогенные структуры в лиманно-морских отложениях. Малые уклоны поверхности в пределах Прикаспийской низменности при флуктуациях уровня Каспия способствуют развитию лиманов (Мифтахова, Данукалова, 2015). Осадконакопление здесь происходило при интенсивном влиянии Каспийского моря, и, следовательно, в условиях большей увлажненности отложений. В связи с этим структуры, получившие развитие в данном типе отложений (Косика, Черный Яр), отличаются большими размерами по сравнению с лёссово-почвенными, и представлены заключенными в глинистых отложениях клиновидными и мешкообразными псевдоморфозами вертикальной протяженностью 30-130 см (рис.2в); псевдоморфозами мощностью до 65 см с горизонтальными отростками (рис.2е).

Криогенные структуры в лёссово-почвенных сериях. В изученном районе криогенезом затронуты горизонты палеопочв лёссово-почвенных серий, расположенные на разных участках долины реки Волги, различных высотных отметках и геоморфологических уровнях (Москвитин, 1962; Свиточ, Янина, 1997; Makeev et al., 2021). Структуры залегают в почвенных горизонтах, перекрытых лёссами, и представлены в четырех разрезах (Средняя Ахтуба, Ленинск, Батаевка, Райгород) клиновидными формами разной мощности (от 0,6 до 2,0 м), с четкими границами и заполнителем из вышележащего лёсса (рис.2а). Формирование таких структур связано с изменением условий при переходе от почвообразования к лёссонакоплению, с аридизацией климата, похолоданием и формированием глубокой сезонной и многолетней мерзлоты. Это подтверждают значения коэффициента криогенной контрастности, которые в почвенных горизонтах составляют около или выше единицы.

Криогенез в Нижнем Поволжье имеет ряд особенностей (аридные условия, южное расположение территории, влияние трансгрессивно-регрессивной истории Каспийского моря), в связи с чем для реконструкции условий формирования криогенных структур исследуемого региона необходимо рассмотреть современные представления о механизмах их формирования.

Формирование криогенных структур начинается с процесса промерзания отложений. В большинстве работ, касающихся описания и происхождения криогенных структур клиновидного облика, часто используется термин «растрескивание», связанный с механизмом образования морозобойных трещин в мерзлых породах, впервые предложенный американским исследователем Леффингвеллом (1915). В нашей стране такой механизм принято объяснять на основе концепции Б.Н. Достовалова (1967), которая является базовой у многих авторов при анализе реликтовых криогенных текстур при палеогеографических реконструкциях (Бердников, 1972; Романовский, 1977; Палеоклиматы и палеоландшафты..., 2009). Предложенная Б.Н. Достоваловым формула, связывающая условия промерзания и масштаб криогенных структур, хорошо описывает условия формирования мощных полигонально-жильных льдов и размеры полигонов в Арктике, которые в тех условиях составляют первые десятки метров. При этом констатируется (Достовалов, Кудрявцев, 1967), что увеличение значений температурного градиента ведет к уменьшению размеров полигонов.

Однако, при использовании методики Б.Н. Достовалова для объяснения механизма образования криогенных структур Нижнего Поволжья, размеры полигонов которых составляют первые десятки сантиметров, приходится считать, что температурный градиент в толще мерзлоты во время их образования должен быть на два порядка больше, чем в Арктике, что маловероятно. Поэтому в данной работе для объяснения криогенных структур, встреченных в разрезах Нижнего Поволжья, схожих по облику, но гораздо меньших размеров по сравнению со структурами морозобойного растрескивания современной

криолитозоны, предлагается концепция Э.Д. Ершова: появление льда в грунтах при промерзании и последующее формирование криогенных структур обязаны сегрегационному льдообразованию с формированием преобладающих вертикальных шпиров льда по трещинам усадки. Согласно этой концепции (Ершов, 1979), предлагается рассматривать появление льда в грунтах при промерзании сочетанием напряжений сдвига и разрыва; причем если напряжения разрыва превышают напряжения сдвига, то в грунтах образуются вертикальные шпирьы льда как уже главный компонент криогенной текстуры. Эти вертикальные шпирьы тем больше, чем сильнее усадка грунта при миграции влаги при промерзании.

Таким образом, проявление клиновидных образований в приведенных разрезах можно объяснить не морозобойным растрескиванием, а лишь промерзанием отложений, в разной степени насыщенных влагой, что привело к формированию трещин усадки, и, как следствие, криогенных структур клиновидного типа. Для формирования таких криогенных структур не требуется экстремально низких температур (что является обязательным по концепции Б.Н. Достовалова), а достаточно температур промерзания грунтов в деятельном слое. Это доказывается и определениями значений коэффициента криогенной контрастности, которые колеблются около единицы, показывая условия либо сезонного промерзания, либо маломощной мерзлоты (Конищев и др., 2005).

На основании проведенных исследований выделено шесть этапов (рис.4, табл.1) развития криогенеза Нижнего Поволжья в позднем плейстоцене, выполнена их корреляция с событиями на Восточно-Европейской равнине (рис.5) и в Каспийском регионе.

Начало **I этапа** соответствует концу МИС 5с – первой половине МИС 5b (95-90 тыс.л.н.). Для данного периода выделены разнообразные структуры, формирование которых связано с различными условиями: субаэральными (разрезы Средняя Ахтуба, Ленинск), где шло активное промерзание отложений на междуречье и формировались крупные псевдоморфозы клиновидной формы протяженностью до 2,0 м; прибрежно-морские с образованием маломощных клиновидных псевдоморфоз вертикальной протяженностью до 30 см, заполненных рыхлым рыжим песком, и псевдоморфоз мощностью до 65 см с горизонтальными отростками (разрез Косика), где размер и морфологию структур можно объяснить последующим размывом отложений по ледяным шпирям и заполнением пустот песчаным материалом. В целом, криогенный этап I характеризуется наличием многолетней мерзлоты (ККК - до 1,13), однако в конкретных условиях она могла заменяться сезонной (прибрежно-морские условия) (табл.1).

II этап криогенеза на территории Нижнего Поволжья установлен ~85-80 тыс.л.н., и соответствует середине МИС 5а. Для этого времени здесь зафиксированы различные по облику структуры в разных типах отложений:

1) в морских осадках разреза Косика (КОС-1) описаны мешкообразные псевдоморфозы с однородным песчаным заполнителем, отсутствующим выше в разрезе. Структуры мешкообразной формы, вертикальной протяженностью до 40 см внедряются в толщу плотных супесей;

2) пойменные отложения (разрез Райгород), где промерзание происходило на небольшую глубину и формировались маломощные псевдоморфозы в виде тонких клиньев (РГ-3) мощностью до 30 см.

3) в разрезе Ленинск зафиксированы псевдоморфозы клиновидной формы в субаэральных лёссово-почвенных отложениях.

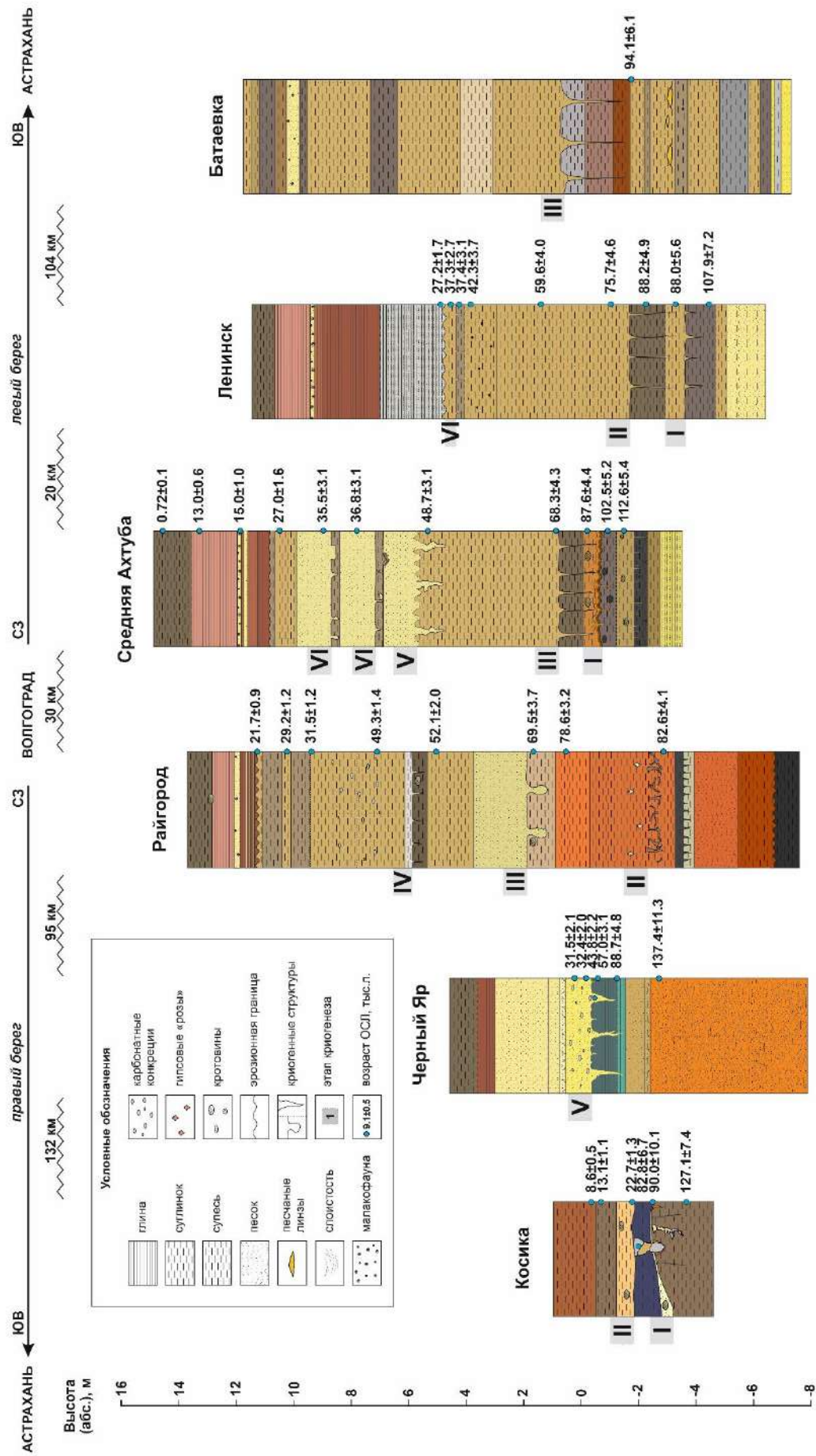


Рисунок 4. Корреляция этапов криогенеза на территории Нижнего Поволжья в позднем плейстоцене

На территории Восточно-Европейской равнины (рис.5) для второй половины МИС 5 отмечают начало валдайского оледенения: в МИС 5b здесь выделяют II фазу смоленского криогенного этапа (Динамика ландшафтных..., 2002). В Каспийском регионе в период развития I и II этапов криогенеза Нижнего Поволжья реконструируется завершающая стадия позднехазарской трансгрессии (гирканская). По современным представлениям (Янина, 2012), трансгрессия развивалась во влажную эпоху с обильным стоком рек. Уровень моря несколько превышал современный, воды гирканского бассейна проникали по долине Волги, формируя широкий эстуарий.

III этап криогенеза наступил в начале МИС 4 (~70 тыс.л.н.). Палеогеографические условия развития этого криогенного этапа характеризовались развитием валдайского оледенения на Восточно-Европейской равнине, глубокой ательской регрессией Каспия. Регрессивные условия в Каспийском бассейне определяются резкой аридизацией климата (Krijgsman et al., 2019). В это время значительные площади долины реки оказались под воздействием криогенеза и эоловой дефляции.

В Нижнем Поволжье этот период также знаменуется существенными изменениями – началом глубокой ательской регрессии Каспийского бассейна, сменой климатических параметров с влажных и относительно теплых (завершение формирования почвы МИС 5a) на холодные, сухие и ветренные (начало формирования лёссовых отложений МИС 4). Здесь выделены следующие криогенные структуры: псевдоморфозы клиновидной формы ~1,0-2,0 м (СА-4, БТ-1); мешкообразные псевдоморфозы 55-60 см по вертикали, 20-50 см в ширину, с послойным заполнением вышележащим аллювиальным материалом (РГ-2).

Криогенные структуры III этапа, вскрытые в разрезах Средняя Ахтуба и Батаевка, заключенные в субэаральных лёссово-почвенных отложениях, хотя и расположены на разных широтах, имеют схожее строение и параметры. В то же время разрез Райгород, расположенный на одной широте с разрезом Средняя Ахтуба, фиксирует структуры другого строения, заключенные в тонкодисперсных фациях аллювия (Москвитин, 1962; Свиточ, Янина, 1997). Все это свидетельствует о том, что характер структур зависит в большей степени от генезиса отложений, чем от широтного положения (в пределах одного региона) (табл.1).

Начало этапа IV соответствует середине МИС 3с (~52-50 тыс.л.н.). Этап отмечен в разрезе Райгород (РГ-1) на глубине ~7,7 м в виде маломощных клиновидных псевдоморфоз, представленных тонкими структурами до 30 см по вертикали; ширина структур выдержана по вертикали. Они секут слаборазвитую почву и заполнены вышележащим лёссовым материалом; хвост структур теряется. Структуры развиты в лёссово-почвенных субэаральных отложениях, сформировавшихся в водораздельных условиях с меньшим увлажнением, по сравнению с разрезом Средняя Ахтуба. На Восточно-Европейской равнине в это время и начинается брянский мега-интерстадиал – теплый период внутри валдайского оледенения (Динамика ландшафтных..., 2002).

Начальный период **этапа V** соответствует концу МИС 3с – началу МИС 3b (~47-45 тыс.л.н.). Здесь выделены: псевдоморфозы до 1,5 м с двухуровневым строением (СА-3); псевдоморфозы с песчаным заполнителем вертикальной протяженностью до 1,3 м, которые нарушают верхнюю часть горизонта с признаками почвообразования (ЧЯ-1). В Каспийском море, по-видимому, отмечается некоторое повышение уровня, что способствовало проникновению вод в долину Волги и протаиванию мерзлых отложений.

Таблица 1. Криогенные этапы и типы криогенных структур в изученных разрезах Нижнего Поволжья

Этап	Разрез (обозначение горизонта)	Тип криогенных структур	Абс. высота, м	Возраст, тыс. л.н.	Условия формирования структур в различных отложениях
I	Средняя Ахтуба (СА-5)	Тонкие клиновидные структуры до 2,0 м	-0,64	~95-90	Субаэральные отложения: сухие, холодные
	Ленинск (ЛН-3)		-1,73	~95	
	Косика (КОС-2)	1) псевдоморфозы до 65 см (по вертикали), с горизонтальными отростками 2) извилистые псевдоморфозы до 30 см 3) пустые трещины до 50 см	-3,05	~95	Прибрежно-морские отложения: влажные; глубокое сезонное промерзание
II	Косика (КОС-1)	Мешкообразные псевдоморфозы	-1,90	~85	Прибрежно-морские отложения: влажные условия; глубокое сезонное промерзание
	Ленинск (ЛН-2)	Тонкие клиновидные структуры до 1,0 м	-2,10	~80	Субаэральные отложения: сухие, холодные условия; сливающаяся мерзлота
	Райгород (РГ-3)	Маломощные (до 30 см) тонкие каналы	-2,35	~80	Пойменные отложения: влажные, холодные условия; сезонное промерзание
III	Средняя Ахтуба (СА-4)	Тонкие клиновидные структуры до 1,0 м	0,74	~70	Субаэральные отложения: сухие, холодные условия; сливающаяся мерзлота
	Райгород (РГ-2)	Мешкообразные псевдоморфозы с послойным заполнением	1,87	~70	Аллювиальные отложения: влажные; глубокое протаивание
	Батаевка (БТ-1)	Тонкие клиновидные структуры до 2,5 м	0,72	~70	Субаэральные отложения: сухие, холодные условия; сливающаяся мерзлота
IV	Райгород (РГ-1)	Тонкие клиновидные структуры до 30 см	6,12	~52-50	Субаэральные отложения: сухие, холодные условия
V	Черный Яр (ЧЯ-1)	Псевдоморфозы до 1,3 м извилистой конфигурации	4,94	~47-45	Пойменные/лагунные отложения: влажные условия, протаивание
	Средняя Ахтуба (СА-3)	Псевдоморфозы до 1,5 м с двухуровневым заполнением	5,74	~45	Аллювиальные отложения: влажные; подъем уровня Волги, глубокое протаивание
VI	Ленинск (ЛН-1)	Тонкие клиновидные структуры до 30 см	4,32	~40-37	Субаэральные условия: сухие, холодные; многолетняя мерзлота
	Средняя Ахтуба (СА-2)	Криотурбации	7,16	~37	Развитие пойменных почв по аллювию: влажные условия; возможно существование многолетней мерзлоты
	Средняя Ахтуба (СА-1)	Клиновидные псевдоморфозы до 25 см	8,36	~35	Развитие пойменных почв по аллювию: влажные; сезонное промерзание

Этап VI соответствует концу МИС 3b – началу МИС 3a (40-35 тыс.л.н.). Для периода МИС-3 с короткими фазами потепления и увлажнения вследствие поднятия уровня Каспия (Янина и др., 2017) характерно увеличение влагосодержания в толще отложений. Русло Волги неоднократно меняло свое положение, что отразилось на появлении палеопочвенных

горизонтов в толще аллювия. На Восточно-Европейской равнине в это время фиксируется завершающий этап формирования брянской палеопочвы. В Нижнем Поволжье этот этап выражен в разрезе Средняя Ахтуба в виде двух уровней, а также в разрезе Ленинск: 1) нижний уровень в разрезе Средняя Ахтуба (СА-2) представлен клубнеобразными криотурбациями различного состава (песчаными, супесчаными), которые нарушают однородность отложений пойменных почв и аллювиальной толщи; 2) верхний горизонт (СА-1) представлен псевдоморфозами различного строения – клиновидными структурами, формами с горизонтальными отростками, слоистыми структурами, описанными ранее как «мерзлотные структуры облекания» (Лаврушин, 1960; Полевые геокриологические ..., 1961), которые образуются в условиях как постоянно существующего, так и периодически формирующегося бассейна, а также при наличии многолетней мерзлоты; для всех структур этого горизонта характерна небольшая мощность (до 25 см) в пределах почвенного горизонта и четкие границы с вмещающими отложениями; 3) в разрезе Ленинск (ЛН-1) для этого этапа зафиксированы клиновидные псевдоморфозы малой мощности (до 30 см), выраженные на всю мощность слабо развитой палеопочвы и заполненные вышележащим лёссовым материалом. Эти структуры сформировались в субаэральных водораздельных условиях (табл.1).

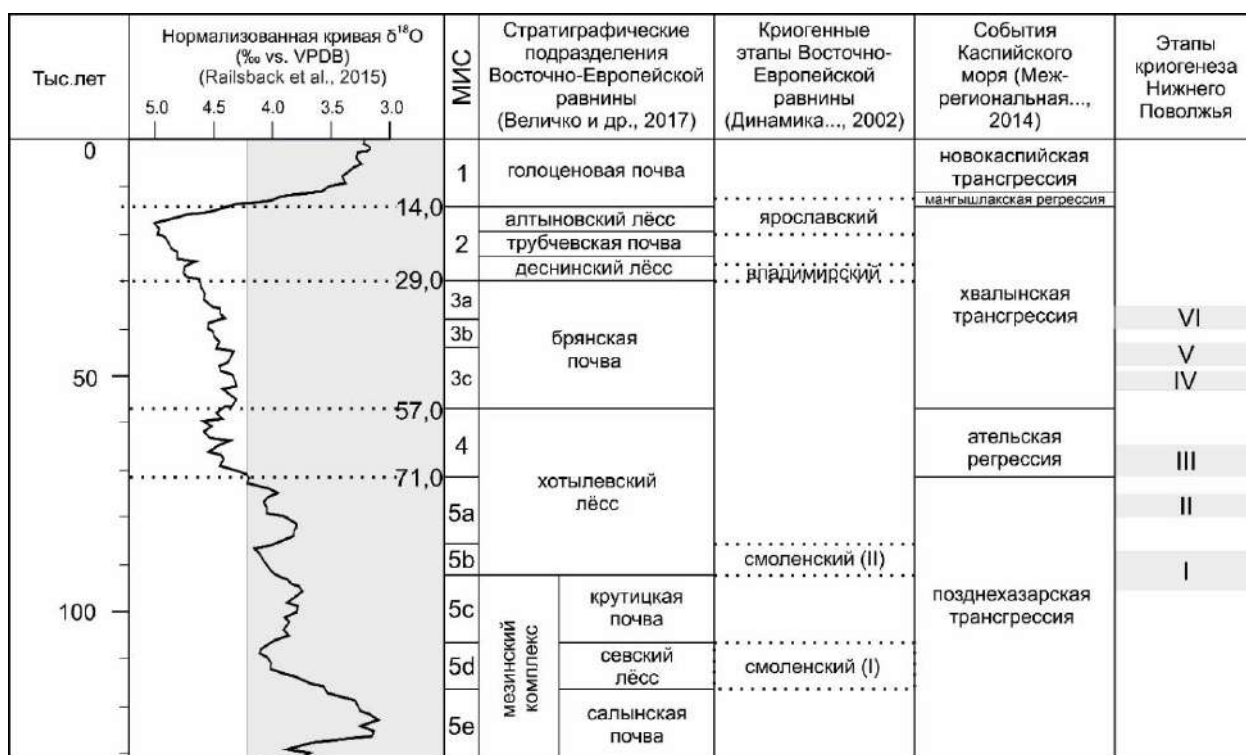


Рисунок 5. Корреляция криогенных событий Восточно-Европейской равнины и Нижнего Поволжья

По результатам распределения изученных разрезов с присутствием криогенных структур выделены границы распространения различных этапов криолитозоны Нижнего Поволжья в позднем плейстоцене (рис.6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения исследования достигнута основная цель диссертации – выполнена реконструкция этапов и условий развития криогенеза на территории Нижнего Поволжья в

позднем плейстоцене на основе изучения криогенных структур. Задача решена в рамках полевых работ и на основе комплексного лабораторного изучения отложений.

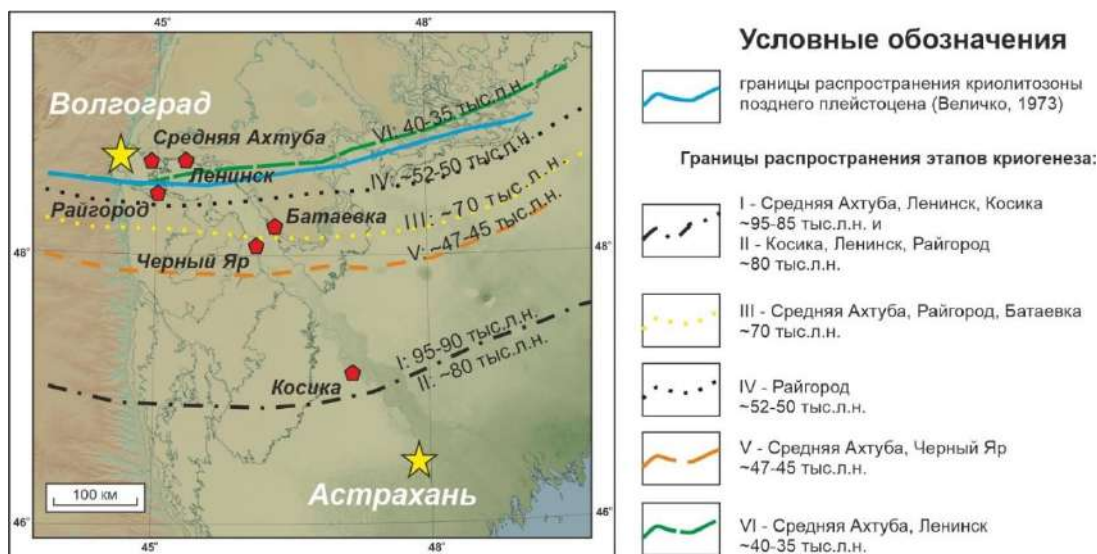


Рисунок 6. Границы распространения криолитозоны в Нижнем Поволжье в позднем плейстоцене на различных этапах ее развития

1. Геоморфологическая характеристика положения разрезов, строение четвертичных отложений, распределение типов выделенных криогенных структур, результатов люминесцентного датирования, современные представления о генезисе различных горизонтов позволяют выделить три группы разрезов:

I группа (Средняя Ахтуба, Ленинск, Батаевка) характеризуется наличием мощной толщи лёссовых отложений, характерных для субаэральных условий междуречья Волги и Урала. Разрезы расположены в долине р. Ахтуба и вскрывают уступ раннехвалынской террасы, имеют схожее строение и включают педокомплекс МИС-5, лёссовую толщу 3-5 м и горизонт хвалынских осадков, который в Ленинске и Средней Ахтубе представлен мощной толщей шоколадных глин, а в разрезе Батаевка – песчаным горизонтом с морскими моллюсками.

II группа (Райгород) расположена на правом борту р. Волга; основную часть разреза составляют различные фации аллювия (Свиточ, Янина, 1997).

III группа (Черный Яр, Косика) – разрезы южной группы, так же расположенные на правом борту р. Волга; сложенные отложениями бассейна эстуарного типа и морскими осадками; осадконакопление здесь происходило под влиянием колебаний уровня Каспийского моря.

2. Проведенное комплексное изучение отложений позволило подтвердить криогенное происхождение структур выделенных горизонтов. Полученные материалы по строению криогенных структур, анализ распределения коэффициента криогенной контрастности, литологическая характеристика отложений и механизм формирования структур служат основанием для реконструкции условий их формирования в позднем плейстоцене.

3. Корреляция этих горизонтов по времени и соотношение с маркирующими горизонтами (шоколадные глины хвалынской трансгрессии, педокомплекс МИС 5) позволили выделить шесть этапов развития криогенеза на территории Нижнего Поволжья в позднем плейстоцене.

4. Поскольку климатические параметры исследуемого региона достаточно однородны, при реконструкции важно учитывать местные климатические особенности, состав отложений, влажность и историческое прошлое. Формирование клиновидных криогенных образований в приведенных разрезах можно объяснить не морозобойным растрескиванием, а промерзанием отложений, насыщенных влагой. Для этого достаточно температур, необходимых для промерзания грунтов, что подтверждается определениями значений коэффициента криогенной контрастности из горизонтов, затронутых криогенезом, которые отражают условия маломощной мерзлоты.

5. В период формирования лёссов условия были суровыми и холодными. Криогенез той поры нашел отражение в более глинистых, более влагоемких отложениях, т.е. в палеопочвах, обычно залегающих под лёссовыми слоями. Самые суровые условия в Нижнем Поволжье (многолетняя мерзлота, низкие отрицательные температуры грунтов) существовали в МИС 5b (I криогенный этап) и начале МИС 2 (VI криогенный этап), и нашли отражение в виде регионально распространенных тонких вертикально протяженных псевдоморфоз в лёссово-почвенных сериях.

6. Полученные данные о развитии позднеплейстоценового криогенеза в Нижнем Поволжье позволяют уточнить масштабы распространения криолитозоны на юге Восточно-Европейской равнины и провести ее как минимум в районе с. Косика (~47 с.ш.), т.е. на 250 км южнее принятой (Величко, 1973) границы распространения криолитозоны позднего плейстоцена.

7. Обобщения, сделанные по литературным источникам, позволили провести корреляцию с событиями Восточно-Европейской равнины в позднем плейстоцене.

8. Проведенные исследования показали перспективность применения методики криолитологического анализа минерального вещества для оценки палеогеографических условий времени их образования. На примере изученных разрезов показано, что, как в пределах многолетней перигляциальной криолитозоны, так и в условиях сезонного промерзания, в плейстоцене происходили процессы криогенного преобразования отложений, которые участвовали в формировании состава и строения отложений.

9. В рамках люминесцентного датирования проведено определение надежности полученной хронологии верхнеплейстоценовых отложений Нижнего Поволжья. Для образцов в изученных разрезах было выполнено датирование по современной методике с сравнением итоговых возрастов по кварцу и калиевым полевым шпатам, что позволяет оценить степень обнуления люминесцентного сигнала до момента захоронения материала.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах Scopus, WoS, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.6.8 (25.00.31):

1. *Taratunina N., Rogov V., Streletskaya I., Thompson W., Kurchatova A., Yanina T., Kurbanov R.* Late Pleistocene cryogenesis features of a loess-paleosol sequence in the Srednyaya Akhtuba reference section, Lower Volga River valley, Russia // *Quaternary International*. 2021. Vol. 590. P. 56-72. DOI: 10.1016/j.quaint.2020.12.015.

2. *Рогов В.В., Стрелецкая И.Д., Таратунина Н.А., Курчатова А.Н., Курбанов Р.Н., Янина Т.А.* Позднеплейстоценовый криогенез в Нижнем Поволжье // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2020. № 6. С. 73-85.

3. *Kurbanov R., Murray A., Thompson W., Svistunov M., Taratunina N., Yanina T.* First reliable chronology for the early Khvalynian Caspian Sea transgression in the Lower Volga River valley // *Boreas*. 2021. Vol. 50 (1). P. 134-146. DOI: 10.1111/bor.12478.

Главы в монографии:

4. *Курбанов Р.Н., Семиколенных Д.В., Таратунина Н.А., Вольвах Н.Е.* Методические основы оптически стимулированной люминесценции // В кн.: *Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена. Научные достижения Школы академика К.К. Маркова.* Под ред. Т.А. Яниной, Н.С. Болиховской, Е.И. Поляковой, Т.С. Ключиткиной, Р.Н. Курбанова. М.: Географический факультет МГУ Москва, 2020. С. 556-570.

5. *Курбанов Р.Н., Семиколенных Д.В., Таратунина Н.А., Янина Т.А.* Опыт применения ОСЛ-датирования в изучении трансгрессивно-регрессивных циклов Черного и Каспийского морей // В кн.: *Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена. Научные достижения Школы академика К.К. Маркова.* Под ред. Т.А. Яниной, Н.С. Болиховской, Е.И. Поляковой, Т.С. Ключиткиной, Р.Н. Курбанова. М.: Географический факультет МГУ Москва, 2020. С. 571-594.

6. *Курбанов Р.Н., Таратунина Н.А., Вольвах Н.Е.* Опыт применения ОСЛ-датирования в изучении лессово-почвенных серий Северной Евразии // В кн.: *Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена. Научные достижения Школы академика К.К. Маркова.* Под ред. Т.А. Яниной, Н.С. Болиховской, Е.И. Поляковой, Т.С. Ключиткиной, Р.Н. Курбанова. М.: Географический факультет МГУ Москва, 2020. С. 595-613.

Публикации в материалах конференций:

7. *Taratunina N.A., Rogov V.V., Streletskaya I.D., Kurbanov R.N.* Permafrost processes in the Late Pleistocene loess in the Lower Volga region // *Book of Abstracts: International conference "Loessfest2018: Diversity of loess: properties, stratigraphy, origin and regional features"* (Volgograd, 23-29 September, 2018). Volgograd: VolGU, 2018. P. 110-111.

8. *Таратунина Н.А., Шмелев Д.Г., Курбанов Р.Н.* Проявление мерзлотных процессов в позднеплейстоценовых лёссах Нижнего Поволжья // *Сборник материалов 11-ой международной молодежной школы-конференции "Меридиан".* ИГ РАН, Москва, 2018. С. 184-187.

9. *Taratunina N., Rogov V., Kurbanov R., Streletskaya I., Yanina T.* Neopleistocene cryogenesis features in loess of the Lower Volga region (Russia) // *Book of Abstract: 5th European Conference on Permafrost (Chamonix-Mont Blanc, France; 23th June - 1st July, 2018).* P. 675-676.

10. *Таратунина Н.А., Курбанов Р.Н., Рогов В.В., Стрелецкая И.Д., Янина Т.А.* Реконструкция мерзлотных событий на территории Нижнего Поволжья и определение их возраста методом ОСЛ-датирования // *Тезисы докладов всероссийской научной конференции: «Геохронология четвертичного периода: инструментальные методы датирования новейших отложений».* ИГ РАН - ГИН РАН, Москва, 2019. С. 93.

11. *Taratunina N., Rogov V., Kurbanov R., Streletskaya I., Yanina T.* Cryogenic features in loess of Pleistocene periglacial zone (Volga region, Russia) // *Book of Abstract: 20th Congress of the International Union for Quaternary Research (Dublin, Ireland; 25-31 July, 2019).* P. 1638.

12. *Таратунина Н.А., Рогов В.В., Стрелецкая И.Д., Лебедева М.П., Курбанов Р.Н., Янина Т.А., Курчатова А.Н.* Развитие криогенных процессов как фактор формирования лессов Нижней Волги // *Экзолит – 2020. Литологические школы России. Годичное собрание (научные чтения), посвященные 215-летию основания Московского общества природы.* Москва, 25-26 мая 2020 г. Сборник научных материалов. Москва: МАКС Пресс, 2020. С. 201-203.

13. Курбанов Р.Н., Мюррей Э.С., Янина Т.А., Беляев В.Р., Солодовников Д.А., **Таратунина Н.А.** Результаты ОСЛ датирования высокого разрешения шоколадных глин Нижнего Поволжья // Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена и голоцена: Материалы Всероссийской конференции с международным участием Марковские чтения 2020 года / Отв. редакторы Н.С. Болиховская, Т.С. Ключевиткина, Т.А. Янина. Москва: Географический факультет МГУ, 2020. С. 200-203.

14. **Таратунина Н.А.**, Rogov V.V., Стрелецкая И.Д., Курбанов Р.Н., Янина Т.А., Курчатова А.Н. Этапы развития криогенеза в Нижнем Поволжье в позднем плейстоцене // Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена и голоцена: Материалы Всероссийской конференции с международным участием Марковские чтения 2020 года / Отв. редакторы Н.С. Болиховская, Т.С. Ключевиткина, Т.А. Янина. Москва: Географический факультет МГУ, 2020. С. 404-408.

15. **Таратунина Н.А.**, Курбанов Р.Н., Rogov V.V., Стрелецкая И.Д., Курчатова А.Н. Этапы развития криогенеза в Нижнем Поволжье (по результатам ОСЛ-датирования) // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXIX Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 11-16 мая 2021 г.). Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2021. С.26.

16. **Таратунина Н.А.** Особенности формирования криогенных структур в позднеплейстоценовых отложениях Нижнего Поволжья // Актуальные проблемы и перспективы развития геокриологии: Материалы VI Всероссийского научного молодежного геокриологического форума (г.Якутск, 28 июня – 13 июля 2021 г.). Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2021. С. 64-66.

17. **Taratunina N.A.**, Kurbanov R.N., Rogov V.V., Yanina T.A. Development of cryogenic processes as a factor in the loess formation in the Lower Volga valley // Book of abstract: 2nd International Conference on Quaternary Sciences (Gorgan, Iran; 5 – 7 September 2021). P. 104-106.

18. Kurbanov R.N., **Taratunina N.A.**, Yanina T.A., Stevens T., Költringer C.A., Buylaert J-P, Murray A.S. Detailed luminescence chronology of Lower Volga loess (Leninsk section) // Book of Abstracts: 16th International Luminescence and ESR Dating Conference (Burgos, Spain; 13-17 September, 2021). P. 134.

19. **Taratunina N.A.**, Buylaert J.-P., Kurbanov R.N., Murray A.S. Late Quaternary evolution of lower reaches of Volga River (Raygorod section) based on luminescence dating // Book of Abstracts: 16th International Luminescence and ESR Dating Conference (Burgos, Spain; 13-17 September, 2021). P. 241.

20. **Таратунина Н.А.**, Rogov V.V., Стрелецкая И.Д., Курчатова А.Н., Янина Т.А., Курбанов Р.Н. Позднеплейстоценовый криогенез в Нижнем Поволжье на примере разреза Черный Яр // Пути эволюционной географии – 2021. Выпуск 2. Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко (Москва, 22-25 ноября 2021 г.). М.: Институт географии РАН. С. 390-393.

21. Курбанов Р.Н., Колтрингер К., **Таратунина Н.А.**, Стивенс Т. Опыт применения U/Pb датирования детритовых цирконов для определения источников сноса для лёссово-почвенных серий Нижнего Поволжья // Пути эволюционной географии – 2021. Выпуск 2. Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко (Москва, 22-25 ноября 2021 г.). М.: Институт географии РАН. С.172-176.

22. **Таратунина Н.А.**, Курбанов Р.Н., Колтрингер К., Стивенс Т., Rogov V.V., Янина Т.А., Лебедева М.П., Макеев А.О., Русаков А.В. Новые данные о хроностратиграфии лёссово-

почвенных серий Нижнего Поволжья // Пути эволюционной географии – 2021. Выпуск 2. Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко (Москва, 22-25 ноября 2021 г.). М.: Институт географии РАН. С. 849-852.

23. Курбанов Р.Н., Тимирева С.А., Кононов Ю.М., **Таратунина Н.А.**, Вольвах Н.Е., Вольвах А.О. Применение люминесцентного датирования в целях выявления эпизодов неполноты геологической летописи при изучении лёссово-почвенных серий // Сборник тезисов Второй Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Геохронология четвертичного периода: инструментальные методы датирования новейших отложений». М.: Институт географии РАН, 2022. С. 43.

24. **Таратунина Н.А.**, Курбанов Р.Н., Янина Т.А. Опыт люминесцентного датирования высокого разрешения субэдральных отложений Нижнего Поволжья (стратотипический разрез Райгород) // Сборник тезисов Второй Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Геохронология четвертичного периода: инструментальные методы датирования новейших отложений». М.: Институт географии РАН, 2022. С. 77.

25. **Таратунина Н.А.**, Курбанов Р.Н., Янина Т.А. Новые данные о возрасте хвалынской трансгрессии в Нижнем Поволжье (разрез Косика) // Сборник тезисов Второй Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Геохронология четвертичного периода: инструментальные методы датирования новейших отложений». М.: Институт географии РАН, 2022. С.78.

Прочие публикации:

26. Field Trip Guide Loessfest 2018 “Diversity of Loess: Properties, Stratigraphy, Origin and Regional Features”. 23-29 September 2018, Volgograd, Russia / *Kurbanov R.N., Yanina T.A., Murray A.S., Belyaev V.R., Solodnikov D.A., Rogov V.V., Streletskaya I.D., Otcherednoy A.K., Makeev A.O., Lebedeva M.P., Rusakov A.V., **Taratunina N.A.**, Semikolennykh D.V., Yarovaya S.K.* Volgograd: VolGU, 2018. 64 pp.