

На правах рукописи

**Сычев Никита Владиславович**

**ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ  
ФОРМИРОВАНИЯ  
ВЕРХНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ ЛЁССОВО-ПОЧВЕННЫХ СЕРИЙ  
ПРЕДКАВКАЗЬЯ**

Специальность 1.6.14 — Геоморфология и палеогеография

Автореферат  
диссертации на соискание ученой  
степени кандидата географических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в Лаборатории палеоархивов природной среды Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт географии Российской академии наук» (г. Москва)

**Научный руководитель:** **Константинов Евгений Александрович**  
кандидат географических наук, старший научный сотрудник Лаборатории палеоархивов природной среды Института географии РАН

**Официальные оппоненты:** **Алексеев Андрей Олегович**  
член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующий отделом геохимии и физико-химии почв Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН

**Идрисов Идрис Абдулбутаевич**  
кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрогеологии и геоэкологии Института геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН

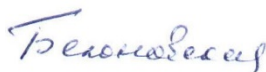
**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН»

Защита состоится 22 декабря 2023 г. в 11 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета 24.1.049.02, созданного на базе ФГБУН «Институт географии Российской академии наук» по адресу: 119017, г. Москва, Старомонетный переулок, д.29, стр. 4. Факс: (495)959-00-16, e-mail: d00204603@igras.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института географии РАН и на интернет-сайте: <http://igras.ru/>

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета, к.г.н



Е.А. Белоновская

**Актуальность темы.** На юге Восточно-Европейской равнины (ВЕР) широко распространены лёссовые отложения, которые образуют один из крупнейших ареалов лёссов на Земле (Naase et al., 2007; Li et al., 2020). В частности, лёссы повсеместно распространены в Предкавказском регионе – на равнинах между Азовским морем и Прикаспийской низменностью, к северу от Кавказского хребта (Федорович, 1960; Балаев и Царев, 1964; Ларионов и др., 1987; Галай, 1990). Лёссы покрывают здесь междуречья и поверхности террас. Мощность лёсса в Предкавказье – одна из наибольших для Европы. При движении с запада на восток она изменяется от 10-30 м в Приазовье до 5-140 м в Терско-Кумской низменности (Андреева и др., 2008), а возраст подошвы может превышать 800 тыс. лет (Величко и др., 2012; Болиховская и др., 2015).

Лёссовые отложения неоднородны по своей структуре, в них наблюдается чередование светлых горизонтов (так называемых "чистых" лёссов) и палеопочв. Эти последовательности, отражающие смену крио- и термохронov в неоплейстоцене, принято называть лёссово-почвенными сериями (ЛПС). Широкая распространенность и высокая полнота записи делают ЛПС главным континентальным архивом неоплейстоцена юга ВЕР.

Лёсс как продукт эоловой аккумуляции минеральной пыли и педогенеза находится в прямой зависимости от климатических условий. Многочисленные исследования (Rea and Leinen, 1988; Pye, 1995; Maher et al., 2010 и др.) свидетельствуют о том, что скорость лёссонакопления является косвенным признаком изменений региональной аридности климата, а размер частиц лёсса – среднemaxимальных скоростей ветра. Одним из главных преимуществ ЛПС перед другими континентальными палеоархивами является то, что в них есть не только вертикальная, но и латеральная запись – пространственная изменчивость изохронных слоев, которая позволяет проводить реконструкцию ландшафтной и климатической зональности, преобладающих направлений переноса минеральной пыли (Pye, 1995; Maher et al., 2010). Таким образом, исследуя изменения литологических свойств лёссов, становится возможным производить реконструкцию отдельных характеристик палеоклимата (Muhs et al., 2018).

Для Предкавказья есть ряд нерешенных проблем, препятствующих проведению надежных палеогеографических реконструкций на основе ЛПС:

Первая проблема – хроностратиграфия и корреляция. Наблюдается неравномерность в пространственной изученности позднеоплейстоценовых отложений. Западная часть региона является более изученной в стратиграфическом отношении, чем центральная и восточная. Группой под руководством А.А. Величко (Величко и Морозова, 2015) для нее разработана стратиграфическая схема, которая в главных чертах подтверждается люминесцентным датированием (Chen et al., 2018a; Chen et al., 2018b; Mazneva et al., 2021; Chen et al., 2022; Timireva et al., 2022).

Для восточной и центральной частей Предкавказья существуют различные варианты стратиграфических схем, не согласующихся друг с другом. Они представлены в работах В.П. Ударцева и др. (1989), Е.П. Вириной и др. (1990), Б.Ф. Галай (1992) и Н.С. Болиховской (1995, 2016). Во многом наличие противоречий объясняется отсутствием достаточного количества надежных геохронометрических дат.

Вторая проблема – источники сноса и доминирующие направления переноса минеральной пыли в позднем неоплейстоцене. Существуют следующие гипотезы:

1) Основной источник расположен на востоке в пустынях Средней Азии и Прикаспийской низменности. Доминирующее направление переноса – с востока на запад (Федорович, 1960; Балаев и Царев, 1964; Галай; 1990);

2) Основной источник находится на западе, на территории степных районов северного и северо-западного Причерноморья. Доминирующее направление переноса – с запада на восток (Machalett et al., 2008; Song et al., 2014; Schaffernicht et al., 2020);

3) Для Предкавказских ЛПС существует множество локальных источников материала, главные из которых – долины крупных рек (Költringer et al., 2021, 2022).

Третья проблема – факторы формирования ЛПС, то есть те причины, которые обусловили изменчивость состава и строения ЛПС во времени и пространстве. На формирование ЛПС Предкавказья могли потенциально влиять: изменения в рельефе, колебания аридности климата, смена ландшафтов, направление и сила ветров, изменения уровня и площади морских бассейнов. Однако реальный вклад отдельных факторов остается под вопросом.

**Цель исследования:** Реконструкция условий осадконакопления лёссово-почвенных серий позднего неоплейстоцена и голоцена в Предкавказском регионе.

**Задачи:**

1. Получение непрерывных колонок лёссовых отложений для плакорных ключевых участков, распределенных на территории исследования;

2. Получение литологических характеристик для колонок лёссовых отложений. Выделение литостратиграфических подразделений. Выявление маркирующих горизонтов и аномалий литологического состава;

3. Выявление пространственной изменчивости механического и вещественного состава и мощности синхронных слоев внутри ЛПС;

4. Численное датирование и корреляция ЛПС;

5. Определение преобладающего направления переноса эолового материала на разных этапах позднего неоплейстоцена. Установление источников сноса (областей дефляции);

6. Определение темпов накопления лёссов на протяжении последних 130 тыс. лет для разных частей региона;

7. Выявление связи изменчивости литологического состава ЛПС по глубине с ландшафтно-климатическими изменениями в регионе.

**Объекты и состав исследования.** Объектом исследования выступают плакорные ЛПС Предкавказья. Предметом исследования являются палеогеографические обстановки. Для проведения палеогеографических работ было выбрано шесть ключевых участков (рисунок 1), расположенных на территории Западного, Центрального и Восточного Предкавказья: Приазовье, северо-восточный макросклон Ставропольской возвышенности и Терско-Кумская низменность, соответственно. На ключевых участках были заложены разрезы и скважины на плоских междуречьях без явных признаков линейной эрозии. Из стенок разрезов и кернов буровых скважин отбирались образцы с шагом в 10 см. Литологические анализы (определение гранулометрического состава, магнитной восприимчивости, потеря при прокаливании) проводились на оборудовании Лаборатории палеоархивов природной среды ИГ РАН по единой методике, что дало возможность корректно сравнивать полученные результаты. Для образцов из голоценовой почвы и кровли подстилающего ее лёсса выполнен геохимический анализ в ИГЕМ РАН. Люминесцентное датирование выполнено в лабораториях ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского и Института прикладной геофизики ассоциации Лейбница (Ганновер, Германия). Полученные результаты позволили проследить пространственную и временную изменчивость строения и состава ЛПС Предкавказья. Это, в свою очередь, дало основания для реконструкции направления переноса минеральной пыли, определения главных областей дефляции, выявления ведущих факторов лёссонакопления.

#### **Научная новизна:**

1. Впервые с шагом 10 см по глубине проведен комплекс литологических исследований по единой методике для верхненеоплейстоценовых плакорных ЛПС Западного, Центрального и Восточного Предкавказья;

2. Впервые получена надежная люминесцентная хронология для верхней части разреза Отказное – опорного разреза ЛПС Восточного Предкавказья. Получены люминесцентные даты для скважин Первомайская и Сладкая балка. Составлена корреляционная схема для ЛПС верхнего неоплейстоцена;

3. Определены темпы накопления минеральной пыли для главных этапов позднего неоплейстоцена и голоцена. Выявлена связь изменения темпов осадконакопления и размеров частиц в ЛПС с колебаниями региональной и глобальной засушливости климата.

### **Защищаемые положения:**

1. В строении плакорных ЛПС первой половины верхнего неоплейстоцена повсеместно выделяются три палеопочвы, соответствующие термохронам МИС 5а, МИС 5с и МИС 5е. Палеопочва, ранее считавшаяся брянской (МИС 3) в опорном разрезе Беглица, относится к термохрону МИС 5а. А этапу МИС 3 соответствуют лёссовые уровни со слабыми признаками почвообразования.
2. В плакорных верхнечетвертичных ЛПС Предкавказья наблюдается уменьшение размера частиц и мощности отложений в направлении с юго-востока на северо-запад. Основной источник эоловой минеральной пыли (область дефляции), из которой состоит ЛПС Предкавказья, расположен в Прикаспийской низменности, второстепенные – в долине Дона, Миусса, Кубани.
3. Аккумуляция минеральной пыли протекала на равнинах Предкавказья как в термохроны, так и в криохроны. В криохроны средние темпы аккумуляции были существенно выше – до 8 раз. Наиболее высокие темпы осадконакопления отмечаются около 25-30 тысяч лет назад.
4. Основным фактором, определяющим темпы лёссонакопления в Предкавказье на протяжении позднего неоплейстоцена и голоцена, является изменение засушливости климата во внетропическом пространстве северного полушария. Таким образом, литологические характеристики плакорных ЛПС Предкавказья могут быть использованы как косвенные индикаторы изменений гидротермического режима в регионе в геологическом прошлом.

### **Практическая значимость:**

1. Эоловая аккумуляция пыли неразрывно связана с ветровой эрозией почвы (дефляцией), интенсивность которой определяется рельефом, сомкнутостью растительного покрова, механическим составом почвы, частотой засух, скоростью ветра и другими факторами. Эти процессы оказывают крайне негативное влияние на сельское хозяйство, а взвешенная минеральная пыль существенно снижает качество воздуха, увеличивая риск заболеваний дыхательной системы. Поскольку ЛПС Предкавказья являются одним из наиболее распространенных архивов природной среды на юге ВЕР, реконструкция условий их образования поможет в дальнейшем прогнозировать негативное влияние аридизации климата на сельское хозяйство и качество воздуха.
2. Сведения о стратиграфии и генезисе лёссов необходимы для инженерно-геологических изысканий. В частности, максимальной просадочностью обладают лёссы эолового генезиса поздненеоплейстоценового возраста. Учет этого фактора важен для проектирования и строительства.
3. Данные по стратиграфии и литологическому составу ЛПС Предкавказья могут быть использованы при геологическом картировании.

**Личный вклад автора.** Автор принял личное участие в сборе и обработке материала для написания диссертации. В ходе экспедиций 2017-2021 гг. в составе полевого отряда Отдела палеогеографии четвертичного периода и Лаборатории палеоархивов природной среды Института Географии РАН автором выполнялись следующие работы: ручное бурение и документирование кернов, отбор образцов из скважин на комплекс анализов. Автором выполнено люминесцентное датирование 11 образцов во время стажировки в Институте прикладной геофизики ассоциации Лейбница (Ганновер, Германия). Автор принимал участие в определении гранулометрического состава, магнитной восприимчивости и содержания карбонатов и органического вещества в Лаборатории палеоархивов природной среды ИГ РАН. Автором также были построены возрастные модели, корреляционные схемы, проведен пространственный анализ неоднородности состава и мощности отложений.

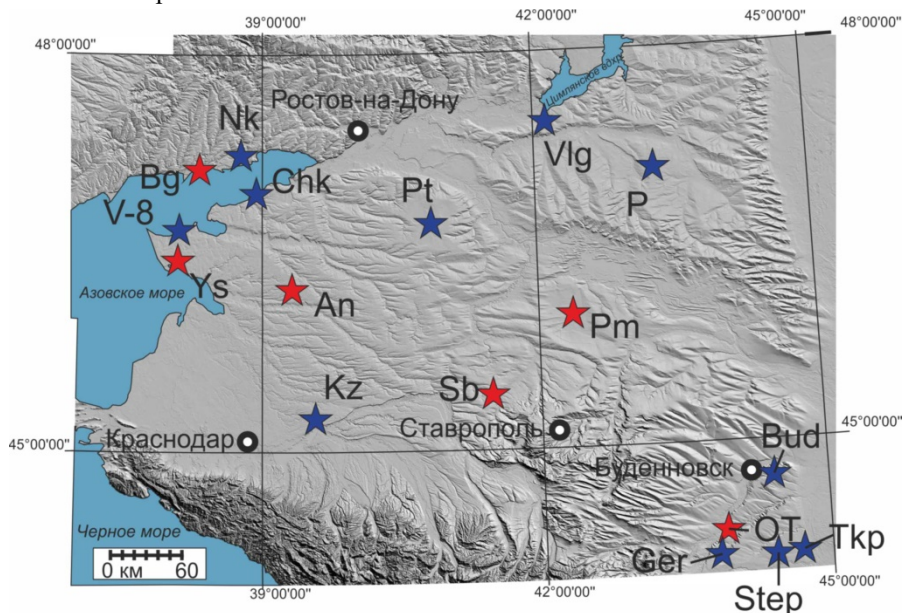
**Достоверность работы** обусловлена использованием большого объема фактического материала, применением современных методик его обработки и интерпретации. Апробация результатов проводилась на ряде конференций: VIII Шукинские чтения (Москва, 2020); «Ponto-Caspian stratigraphy and geochronology» (Иран, 2019); 11-я и 12-я Молодежные школы-конференции «Меридиан» (Курск, 2018–2019); X Всероссийское литологическое совещание (Казань, 2019); XXXVI пленум Геоморфологической комиссии Российской академии наук (Барнаул, 2018); Шестая конференция молодых ученых Почвенного института им. В.В. Докучаева «Почвоведение: Горизонты будущего.» (Москва, 2022); VI Всероссийская научная конференция (с международным участием) «Динамика экосистем в голоцене» (Санкт-Петербург, 2022), а также на семинарах Отдела палеогеографии четвертичного периода ИГ РАН (29.12.2020) и Лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена МГУ (30.11.2022).

**Публикации.** По теме опубликовано 16 научных работ, из них 6 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК.

**Объем и структура.** Работа состоит из 6 глав, введения, заключения (155 страниц текста), списка литературы (245 наименования). Содержит 14 таблиц и 95 рисунков.

**Благодарность.** Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю к.г.н. Е.А. Константинову за его неоценимую помощь и поддержку в ходе написания данной работы, многочисленные совместные экспедиции, а также за то, что он оказал направляющее воздействие в становлении в профессии со студенческих времен; к.г.н. А.Л. Захарову за многочисленные совместные полевые работы, проведенные в условиях крайнего юга, за помощь в осмыслении полученного материала; Н.Е. Зарецкой, А.В. Панину и П.Г. Панину за ценные замечания и советы; сотруникам, студентам, аспирантам МГУ и ИГ РАН,

оказавшим помощь в выполнении полевых работ (Н.Т. Ткачу, Д.В. Баранову, Р.С. Шухвостову, А.А. Бердниковой, Д.Е. Галковскому, Е.А. Мазневой, В.С. Шишкину, Н.В. Карпухиной); сотрудникам Лаборатории палеоархивов природной среды за выполнение лабораторных работ (А.А. Мареевой, Л.И. Лазуковой, А.И. Рудинской); К.Г. Филипповой за помощь в оформлении диссертации; аспиранту кафедры геохимии ландшафтов и географии почв МГУ Д.Г. Сычевой за поддержку и помощь в редакции текста работы; а также всем сотрудникам Отдела палеогеографии четвертичного периода за критику и помощь в осмыслении материала в ходе заседаний и семинаров.



*OT* – Отказное, *Sb* – Сладкая Балка, *Pm* – Первомайская, *An* – Андрющенко, *Ys* – Ясенская, *Bg* – Беглиця, *Nk* – Никольская, *V-8* – Воронцовка, *Chk* – Чумбур-Коса, *Kz* – Казанская, *Pt* – Петровка, *Vlg* – Волгодонск, *P* – Пролетарская, *Bud* – Буденновск, *Ger* – Георгиевск, *Step* – Степное, *Tkp* – Терско-Кумские пески

Рисунок 1. Расположение ключевых участков (красные звезды) и мест отбора поверхностных проб (синие звезды)

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Глава 1. Существующие представления об обстановках формирования ЛПС

**Развитие идей о генезисе лёсса и ЛПС.** В разделе приводится обзор представлений о происхождении, составе и свойствах лёсса. Рассматриваются различные варианты определения термина «лёсс» в понимании крупнейших



исследователей: Ч. Лайель, Б.Ф. Рихтгофен, Л.С. Берг, Р. Рассел, В.А. Обручев, Дж. Ложек, М. Печи, К. Пай, Н.И. Кригер, А.А. Величко.

В рамках диссертации автор придерживается определения М. Печи (Pecsi, 1990), который рассматривает лёсс как рыхлую горную породу с определенным набором признаков. С точки зрения Печи лёсс – это не просто пыль, переносимая и осаждаемая ветром. Пыль становится лёссом только по прошествии определенного времени в данной географической зоне, т.е. только путем диагенеза в определенных экологических условиях. Однако объектом данного исследования является не сам лёсс как горная порода, а ЛПС как природные осадочные летописи (палеоархивы), содержащие информацию об обстановках прошлого.

**Распространение лёсса в мире.** Лёсс и лёссовидные породы покрывают более 6 % земной суши (Li et al., 2020). Лёсс распространен в умеренном поясе Северной и Южной Америки, Европе, Азии и Австралии. В Евразии и Америке лёсс занимает площадь около 13 млн. км<sup>2</sup>, что при средней мощности в 10 м составляет объем в 130000 км<sup>3</sup> (Naase et al., 2007). Одним из крупнейших ареалов лёсса в мире является юг Восточно-Европейской равнины (Астахов и др., 2022).

**Лёсс и климаты прошлого.** Согласно существующим представлениям (Кригер, 1965; Величко, 2009; Maher et al., 1994, 1995, 2010), считается, что важнейшим условием формирования лёсса является аридность климата. В криохроны в результате падения уровня мирового океана расширялась площадь суши, на фоне похолодания снижалось испарение с поверхности океана, росла континентальность климата. Благодаря общей аридизации расширялись открытые слабоукрепленные растительностью территории, развивались ландшафты перигляциальных степей и тундростепей, пустынь. Такие ландшафты благоприятствовали росту эмиссии минеральной пыли, вследствие чего увеличивались и темпы накопления эоловой пыли в областях аккумуляции. Вместе с тем, было показано (Pue, 1987), что лёссонакопление не свойственно гипераридным условиям пустынь, в которых минеральная пыль не задерживается. Для удержания минеральной пыли и стабильного формирования лёссовых толщ более благоприятны семиаридные степные ландшафты. Этим объясняется преимущественное развитие лёссовых покровов в областях умеренного пояса.

В разделе также рассмотрены примеры реконструкции направления палеоветров на основе анализа пространственной неоднородности механического состава и мощности ЛПС.

## **Глава 2. Проблемы реконструкции природных обстановок позднего неоплейстоцена и голоцена Предкавказья**

**Неравномерность пространственной изученности лёссовых палеоархивов.** Западное Предкавказье (Приазовье) характеризуется высокой изученностью ЛПС верхнего неоплейстоцена. Это определяется наличием

протяженных береговых обнажений, большим объемом палеонтологических и палеопедагологических материалов и применением люминесцентного датирования. Изученность ЛПС в центре и на востоке Предкавказья несколько ниже с палеогеографической точки зрения. Отчасти это объясняется меньшей сохранностью лёссов верхнего неоплейстоцена и слабой представленностью этого интервала в геологических обнажениях. В значительной степени стратиграфия верхнеплейстоценовых ЛПС построена на основании изучения кернов скважин, таких как Отказное, Степное, Буденновск, Георгиевск (Галай, 1992; Трофимов, 2008; Болиховская, 1995; Балаев и Царев, 1964).

### **Хроностратиграфия и корреляция палеогеографических событий.**

Стратиграфические схемы верхнеплейстоценовой ЛПС Предкавказья разрабатываются с середины прошлого века. Вопрос стратиграфии является ключевым, поскольку без четко разработанной стратиграфии невозможно синхронизировать палеособытия, записанные в удаленных лёссовых палеоархивах. Наиболее разработанной на сегодняшний день представляется схема ЛПС для западного Предкавказья (Приазовья), разработанная группой А.А. Величко. Она в главных чертах подтверждается результатами люминесцентного датирования (Chen et al., 2018a; Chen et al., 2018b; Mazneva et al., 2021; Chen et al., 2022; Timireva et al., 2022). Для центральной и восточной части региона вопросы стратиграфии остаются дискуссионными. Дискуссии, главным образом, ведутся вокруг разреза Отказное в Терско-Кумской низменности, поскольку он обладает одной из самых представительных лёссово-почвенных последовательностей. Существуют три основных варианта стратиграфии ЛПС Отказного: Н.С. Болиховской (1995), В.П. Ударцева (1989) и Б.Ф. Галай (1992).

**Источники лёссов.** Плакорные ЛПС Предкавказья сформированы потоками золотой минеральной пыли. Источники сноса и основное направление переноса минеральной пыли в позднем неоплейстоцене и голоцене остаются предметом дискуссии. Существует не менее трех версий: основной источник Предкавказских ЛПС находится на востоке – в Прикаспии (Федорович, 1960; Балаев и Царев, 1964; Галай, 1990); основной источник Предкавказских ЛПС находится на западе (Machalett et al., 2008; Song et al., 2014; Schaffernicht et al., 2020); основными источниками минеральной пыли являются долины рек (Költringer et al., 2021, 2022).

### **Глава 3. Природные условия региона и существующие представления об их изменениях в позднечетвертичное время**

В разделе представлена информация о рельефе и гидрографии территории, тектоническом строении, четвертичных отложениях, прилегающих морских бассейнах, климате и ландшафтах. Приведены наиболее подробные реконструкции колебания уровня морских бассейнов, а также климатические и ландшафтные реконструкции, выполненные по ЛПС в различных частях региона.

## Глава 4. Методы исследования

**Основные исследовательские подходы.** В разделе описаны основные теоретические исследовательские подходы, используемые в работе. Для решения задач, поставленных в работе, было необходимо провести исследование лёссово-почвенных палеоархивов, отражающих региональный и глобальный климатические сигналы с минимальным влиянием локальных факторов. Геоморфологическим положением таких палеоархивов является плоское междуречье без следов водной эрозии (автономные плакорные позиции). ЛПС в других геоморфологических позициях, как правило, содержат перерывы в осадконакоплении и отражают преимущественно локальные события аккумулятивно-денудационных циклов (Marković et al., 2018). Выбор бурения как основного метода получения геологического материала обусловлен тем, что естественные обнажения и карьеры редки в плакорных позициях.

Для расчленения лёссовых толщ мы использовали два подхода: визуальное стратификация разреза на уровни «чистых» лёссов и палеопочв и более дробное подразделение разреза на основании литологических характеристик. Для определения относительного возраста отложений и корреляции между разрезами использовались принципы лёссово-почвенной стратиграфии (Marković et al., 2018), допускающие (при условии сохранности отложений), что последовательность горизонтов лёссов и палеопочв отражает последовательность криохронов и термохронов. Определение астрономического возраста опиралось на люминесцентное датирование. В качестве опорной стратиграфической схемы для корреляции ЛПС автором работы была выбрана схема, разработанная группой исследователей под руководством А.А. Величко (Величко и Морозова, 2015).

Решение проблемы источников и основного направления переноса минеральной пыли опиралось на исследование пространственной изменчивости мощности и состава одновозрастных горизонтов в плакорных ЛПС. Этот подход основан на закономерном разделении частиц по крупности в ветровом потоке: крупные частицы выпадают вблизи от источника, тонкие уносятся дальше. Как правило, наиболее мощные ЛПС с более крупным размером частиц располагаются вблизи источников сноса (например, раздуваемых песчаных массивов). Данная закономерность подтверждена рядом исследований в других регионах распространения ЛПС (Smith, 1942; Mason, 2001; Porter, 2001; Bettis et al., 2003; Muhs and Bettis, 2003; Muhs, 2004; Ruhe, 2015).

Диагностика обстановок осадконакопления опирается на анализ вариаций литологических характеристик ЛПС и темпов седиментации во времени. Для выявления роли субглобальных и региональных факторов в формировании ЛПС Предкавказья литологические характеристики из наиболее представительных колонок (Отказное и Беглица) сопоставлялись с палеоданными из других

палеоархивов внетропического пространства северного полушария – ледниковыми кернами, морскими осадками и ЛПС Центральной Европы (Antoine et al., 2009; Liang et al., 2016; Sprafke et al., 2020; Peric et al., 2022).

**Методы полевых исследований.** Бурение производилось с помощью бура Eijkelkamp (Нидерланды) ударно-забивным способом, имеющего полуцилиндрические пробоотборники длиной 0.3-1.0 м и диаметр 30-50 мм. Отбор образцов осуществлялся непрерывно с шагом в 10 см.

**Лабораторные методы:** гранулометрический анализ, анализ магнитной восприимчивости, валовой химический анализ, анализ органического и карбонатного вещества, люминесцентное датирование.

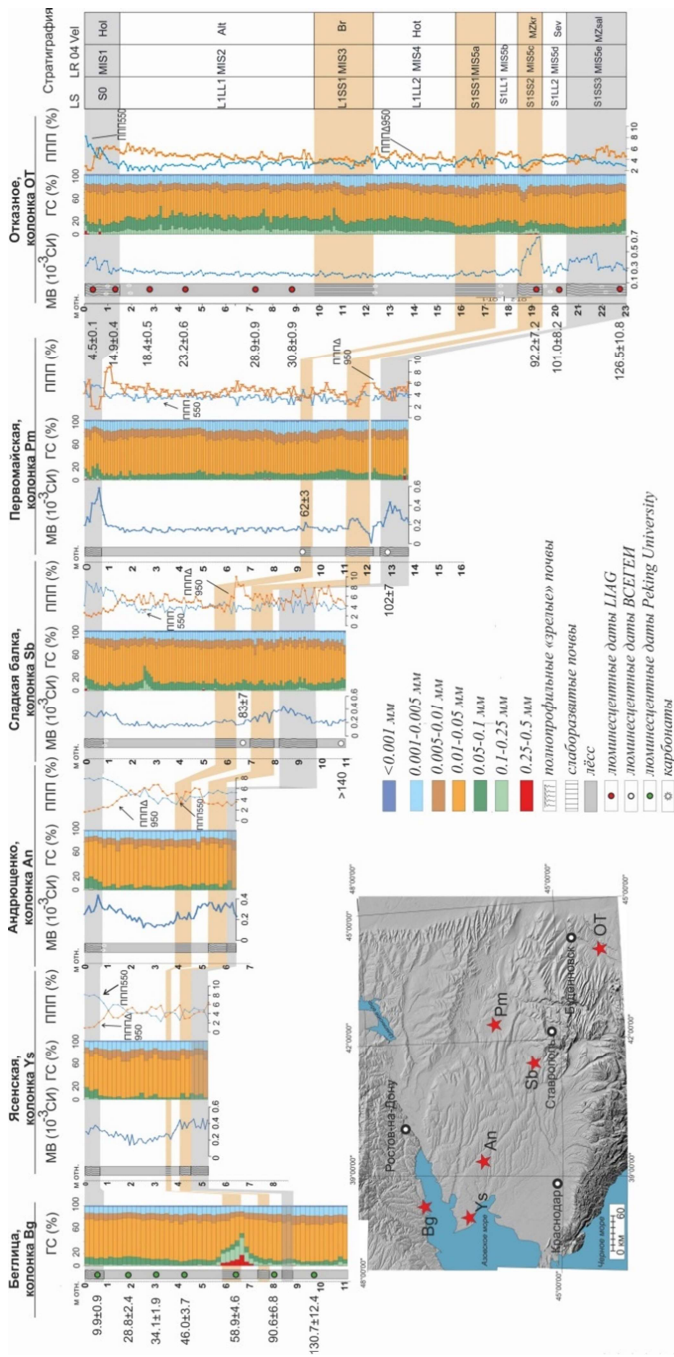
## **Глава 5. Строение и пространственная изменчивость верхнеплейстоценовых лёссов Предкавказья**

В главе представлены результаты бурения и лабораторных исследований образцов, полученных по 6 ключевым участкам. Для опорных лёссовых колонок приводится обоснование стратиграфического расчленения и выполняется корреляция со схемой А.А. Величко и шкалой МИС. Приводятся результаты анализа элементного состава образцов по 16 участкам отбора поверхностных проб (рисунок 1).

**Ключевой участок «Отказное (ОТ)» (Терско-Кумская низменность).** Участок «Отказное» расположен на высоком правом берегу Кумы в 3.5 км к СЗ от центра села Отказное. Сводная колонка ОТ (рисунок 2) представлена следующими подразделениями. Каштановидная современная почва (S0)<sup>1</sup> (0.0-1.6 м) сменяется мощным слоем однородной светло-палевой лёссовидной супеси (L1LL1) до глубины 9.1 м. Далее следует горизонт лёссов со слабыми признаками почвообразования до глубины 12.4 м (L1SS1). Он сменяется горизонтом светло-палевой лёссовидной супеси до глубины 15.7 м (L1LL2). Ниже располагается толща лёсса со слабыми признаками почвообразования до 17.5 м (S1SS1). Далее идет горизонт палевой лёссовидной супеси до глубины 18.4 м (S1LL1). В интервале 18.4-23.0 м вскрыты две ярко выраженные палеопочвы, хорошо читаемые по пикам магнитной восприимчивости, а также по распределению органического вещества и карбонатов. Верхняя почва (18.4-19.5 м) представлена бурым гумусовым горизонтом (S1SS2) и горизонтом Вк с невысоким содержанием рассеянных карбонатов. Нижняя почва (S1SS3) (20.5-23.0 м) имеет мощный (1.2 м) серо-бурый гумусовый горизонт и выраженный карбонатный горизонт Вк с рыхлыми карбонатными конкрециями.

---

<sup>1</sup> Индексы в скобках – стратиграфия по L/S схеме, корреляция со схемой А.А. Величко (Величко и Морозова, 2015) представлена в таблице 1



*MB – магнитная восприимчивость, GS – гранулометрический состав, ППП – потери при прокаливании LR04 – Lisieski and Raymo, 2005; Vel – Величко и Морозова, 2015, Hol – голоценовая почва; Alt – алтыновско-деснинский лёсс; Br – брянская палеопочва; Hol – хотылевский лёсс; MZkr – крутицкая палеопочва; Sev – севский лёсс; MZsh – сальнская палеопочва*

*Рисунок 2. Корреляционная схема строения ЛПС на Ключевых участках*

Для колонки ОТ получена серия из 13 люминесцентных дат. Из них 9 получены автором в лаборатории LIAG (Ганновер), а 4 в лаборатории ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург). Результаты литологических анализов и датирования представлены на рисунке 2.

**Возрастное моделирование и темпы осадконакопления.** С помощью пакета Bacon в программной среде R-studio были построены возрастные модели байесовским методом в двух вариантах: 1) с использованием всех дат; 2) дат, полученных в LIAG. Третий вариант возрастной модели был построен методом линейной интерполяции (МЛИ). С учетом относительно небольшого количества дат наиболее достоверной представляется последняя модель. С ее помощью были рассчитаны темпы осадконакопления. Наиболее низкие скорости аккумуляции отмечаются в голоцене – 9 см/тыс. лет (МИС 1). Наиболее высокие скорости устанавливаются в интервале 25-30 тыс. лет назад – до 79 см/тыс. лет. В течение всего интервала МИС 2 темпы аккумуляции оставались высокими – не ниже 22 см/тыс. лет.

**Ключевые участки «Сладкая-Балка (Sb)» и «Первомайская (Pm)» (северо-западный макросклон Ставропольской возвышенности).** Ключевой участок Сладкая Балка расположен в 3 км к юго-западу от центра с. Гаевская на плосковершинном междуречье. Ключевой участок Первомайская расположен в 20 км южнее долины Маныча, в 5 км к северо-западу от села Первомайское.

В колонке Sb (рисунок 2) под черноземовидной голоценовой почвой (0.0-0.8 м) вскрывается палевый лёссовидный суглинок (L1). Под ним на глубине 5.3-6.3 м вскрыт интервал слабого побурения (S1SS1), который подстилается светло-палевым горизонтом с повышенным содержанием рассеянных пылеватых карбонатов. В интервале 6.9-9.7 м вскрыт хорошо выраженный двучленный педокомплекс (ПК). Верхний уровень ПК – бледно-бурый, нижний – темно-бурый. Стратиграфическая позиция дает основания отнести эти палеопочвы внутри ПК к S1SS2 (6.9-7.9 м) и S1SS3 (8.1-9.7 м). Две люминесцентные даты, расположенные выше и ниже ПК (рисунок 2), подкрепляют стратиграфическую интерпретацию.

В колонке Pm (рисунок 2) ниже современной черноземной почвы (0.0-0.8 м) вскрывается палево-бежевый суглинок с высоким содержанием мучнистого гипса (L1). По результатам аналитических исследований выделяется уровень слаборазвитой палеопочвы на глубине 9.1-9.6 м (S1SS1). Из кровли этой почвы получена люминесцентная дата  $62 \pm 3$  тыс. л.н. В нижней части колонки (11.0-13.8) хорошо выражен ПК с двучленным строением, представленный светло-бурой палеопочвой S1SS2 (11.0-12.2) и темно-коричнево-серой черноземовидной палеопочвой S1SS3 (12.5-13.8 м). Из кровли палеопочвы S1SS3 получена люминесцентная дата  $102 \pm 7$  тыс. л.н.

**Ключевые участки «Андрющенко (An)», «Ясенская (Ys)» и «Беглица (Bg)» (Приазовье).** Скважина Андрющенко расположена в 12 км к юго-востоку от станицы Ленинградская на плосковершинном междуречье рек Сосыка и Челбас. Скважина Ясенская расположена в 10 км западнее станицы Ясенская на побережье Ясенского залива. Разрез Беглица расположен на юго-западной оконечности Миусского полуострова в береговом обрыве между Беглицкими хуторами и Миусским лиманом.

В колонке An (рисунок 2) под черноземновидной почвой (0.0-0.8 м) вскрыт горизонт палево-серо-коричневых лёссовидных суглинков (0.0-3.8 м) – L1. В нижней части колонки по результатам анализов выявляется уровень слабо развитой почвы – S1SS1 (3.8-4.5 м). Ниже залегает палевый лёсс до глубины 5.2 м. На глубине 5.2-6.4 м встречен сдвоенный ПК. В верхней части ПК наблюдается бурый суглинок 5.2-6.0, который соответствует почве S1SS2, переходящий ниже в темно-серый суглинок, соответствующий почве S1SS3.

В колонке Ys (рисунок 2) под черноземновидной современной почвой (0.0-0.8 м) залегает уровень палевого лёсса (L1) до глубины 3.4 м. Ниже по результатам анализов выделяется уровень слабо развитой палеопочвы – S1SS1 (3.4-3.7 м). В нижней части вскрыт двучленный ПК на глубине 4.0-5.3 м. ПК состоит из наложенных палеопочв: верхняя – буровато-коричневая (S1SS2, 4.0-4.5 м) и нижняя – (S1SS3, 4.5-5.3 м) темно-коричневая.

В разрезе Беглица (рисунок 2) наблюдается следующее строение: под голоценовой почвой (0.0-1.2 м) наблюдается палевый лёссовый суглинок в интервале 1.2-5.8 м (L1). Ниже вскрыта слабо выраженная серо-коричневая палеопочва S1SS1 (5.8-6.6 м). Под ней залегает светло-палевая супесь (6.6-7.3 м) с повышенным содержанием песка. Ниже в интервале 7.3-8.8 м вскрывается сдвоенный ПК: верхняя палеопочва темно-бурая (S1SS2), нижняя - темно-серо-бурая (S1SS3). Стратиграфическая интерпретация вскрытых горизонтов подкрепляется серией из 7 люминесцентных дат (рисунок 2).

**Литологический и геохимический состав поверхностных проб лёсса междуречий Предкавказья.** Проведен отбор приповерхностных проб для литолого-геохимических исследований с двух уровней: 0 м (современная почва) и 2 м (подстилающий почву лёсс). Пробы отобраны на 16 участках (рисунок 1), равномерно распределенных по территории исследования, в автономных геоморфологических позициях. Исследован элементный и гранулометрический состав образцов. Выявлен тренд изменения содержания макроэлементов и песчаной фракции по направлению юго-восток – северо-запад. Так, концентрации  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$  увеличиваются в этом направлении, а содержание песка, и  $Na_2O$  и  $SiO_2$ , напротив, падает. Тренд изменения содержания элементов имеет нелинейный вид.

Так, наиболее резкие изменения наблюдаются на востоке региона, по мере приближения к Прикаспийской низменности.

### **Глава 6. Источники минеральной пыли и палеогеографические условия формирования верхнеплейстоценовых лёссов Предкавказья**

**Хроностратиграфия верхнечетвертичной лёссово-почвенной серии Предкавказья.** Принимая в расчет чрезвычайно высокую мощность отложений, полноту геологической летописи и наличие серии люминесцентных датировок, автором предлагается рассматривать колонку ОТ в качестве опорного разреза ЛПС позднего неоплейстоцена и голоцена Предкавказья. В таблице 1 представлена обобщенная схема ЛПС Предкавказья, опирающаяся на строение отложений и возрастную модель в колонке ОТ (Отказное).

Таблица 1. Хроностратиграфическая схема ЛПС Предкавказья

<b>Возраст подошвы в формате «среднее (минимум – максимум)», тыс.л.н</b>	<b>Схема автора</b>	<b>Краткая литологическая характеристика (для Восточного Предкавказья)</b>	<b>МИС, в скобках – нижние границы в пиках, тыс. л.н. (Lisiecki and Raymo, 2005)</b>	<b>Схема ЛПС по Величко и Морозовой, 2015</b>
15.3 (14.8-15.7)	S0	Современная каштановидная почва на лёссовидном легком суглинке	МИС 1 (14)	Голоценовая почва
34.7 (33.3-36.0)	L1LL1	Светло-палевая лёссовидная супесь	МИС 2 (29)	Алтыново-деснинский лёсс
51.2 (48.2-54.3)	L1SS1	Палевая лёссовидная супесь со слабыми признаками почвообразования	МИС 3 (57)	Брянская палеопочва
70.7 (65.7-75.7)	L1LL2	Светло-палевая лёссовидная супесь	МИС 4 (71)	Хотылевский лёсс
81.3 (75.2-87.4)	S1SS1	Слабовыраженная темно-палевая палеопочва на лёссовидном суглинке	МИС 5a (82 - пик)	
86.6 (80.0-93.3)	S1LL1	Палевый легкий лёссовидный суглинок	МИС 5b (87 - пик)	
93.5 (86.2-100.9)	S1SS2	Полнопрофильная каштановидная палеопочва на лёссовидном легком суглинке	МИС 5c (96 - пик)	Крутицкая палеопочва
102.4 (94.1-110.7)	S1LL2	Палевый лёссовидный легкий суглинок	МИС 5d (109 - пик)	Севский лёсс
123.2 (112.8-133.7)	S1SS3	Полнопрофильная черноземовидная палеопочва на лёссовидном легком суглинке	МИС 5e (130 - пик)	Сальнская палеопочва



Особенностью представленной схемы является более дробное деление нижнего ПК, чем это предлагалось ранее для ЛПС южной части Восточно-Европейской равнины (Величко, Морозова, 2015) – нами выделено три палеопочвы внутри мезинского ПК. Такое деление согласуется с отдельными разрезами центральной части ВЕР, Прикаспия и Восточной Европы (Янина и др., 2017; Makeev et al., 2021; Sycheva et al., 2021; Buggle et al., 2009). Также, согласно нашим результатам, брянский интервал в восточном Предкавказье имеет более высокую мощность (2.8 м) и более сложную структуру, чем представлялось ранее (Андрева и др., 2008; Ударцев и др., 1989). Данный интервал представлен не палеопочвой, а уровнем лёсса со слабыми признаками почвообразования.

**Корреляция ЛПС Предкавказья.** Результаты люминесцентного датирования создали основание для корреляции между ЛПС Западного, Центрального и Восточного Предкавказья. Из схемы (рисунок 2) видно, что строение ЛПС верхнего неоплейстоцена на плакорах характеризуется устойчивостью – последовательность палеопочв и лёссов в общих чертах повторяется на всей исследуемой территории. Однако мощность и дифференцируемость стратиграфических подразделений существенно изменяется, увеличиваясь с северо-запада на юго-восток.

Выявлены согласованные вариации литологических характеристик по глубине, даже в значительно удаленных друг от друга колонках. Так, рисунок кривой МВ во всех колонках имеет схожий облик: с высокими значениями в межледниковых палеопочвах, средними в интерстадиальных и низкими в лёссовых горизонтах. Наблюдаются пики содержания песчаной фракции в уровнях S1LL1 и средней части L1. Характерным является увеличение глинистой фракции и уменьшение доли песка в почвенных уровнях, а пики карбонатов приурочены к В-горизонтам почв. Такая характерная структура вариаций вещественного состава служит дополнительным корреляционным признаком.

Из полученных результатов видно (рисунок 2), что три фазы почвообразования внутри ПК S1 являются региональной закономерностью. Время образования этих почв (S1SS1, S1SS2 и S1SS3) примерно соответствует термохронам в пределах МИС 5 – 5а, 5с, 5е. Палеопочва, ранее считавшаяся брянской в разрезе Беглица, вероятно, является верхней фазой педокомплекса S1, т.е. сформировалась во время МИС 5а. Брянскому же интерстадиалу (МИС 3) в исследованных разрезах отвечает горизонт лёссов со слабыми признаками педогенеза, а не хорошо выраженный палеопочвенный профиль, как считалось ранее.

**Источники и направления переноса минеральной пыли на территории Предкавказья в позднем плейстоцене.** Результаты сопоставления исследованных колонок показывают уменьшение мощности ЛПС верхнего неоплейстоцена и

голоцена с юго-востока на северо-запад, а также уменьшение крупности частиц в том же направлении. Так, суммарная мощность отложений верхнего неоплейстоцена и голоцена на участке ОТ составляет 23.0 м, Pm – 13.6 м, Sb – 9.7 м, An – 6.4 м, Ys – 5.3 м. Среднее содержание песчаной фракции уменьшается в том же направлении: ОТ – 22.9 %, Pm – 9.8 %, Sb – 12.6 %, An – 8.4 %, Ys – 6.4 % (рисунок. 2).

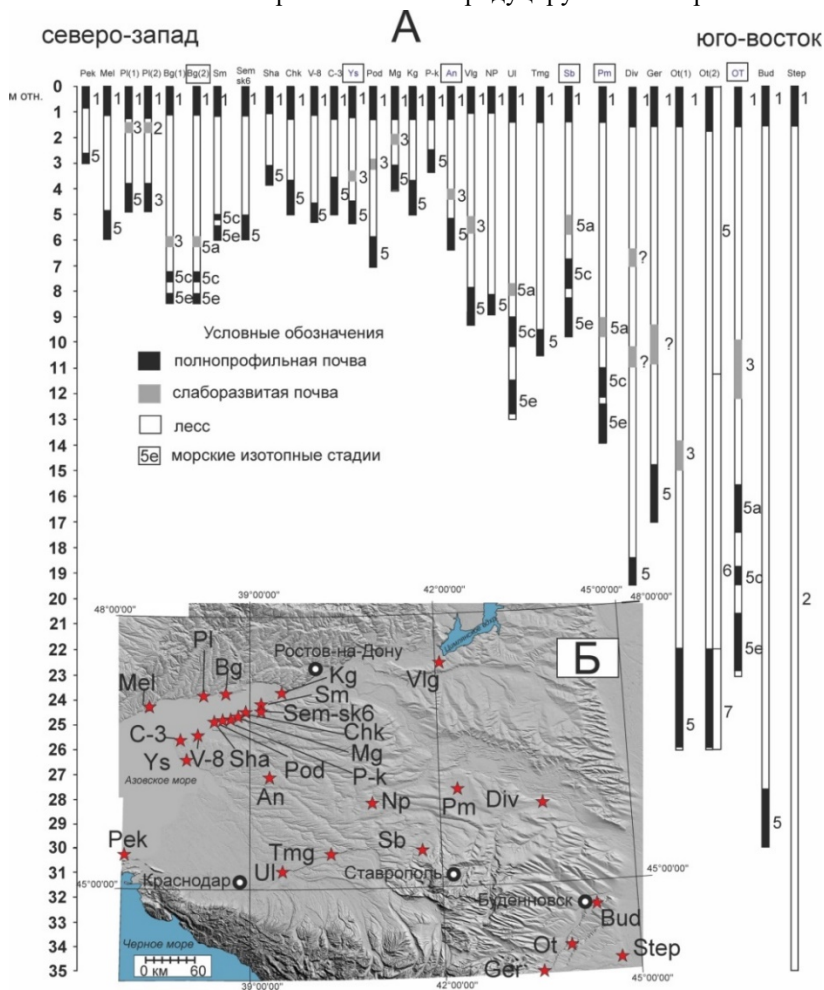
Выявленная закономерность по изменению мощности плакорных ЛПС увязывается с некоторыми ранее опубликованными результатами. На основании синтеза собственных и литературных данных была составлена схема строения плакорных ЛПС верхнего неоплейстоцена, в которой все известные колонки выстроены в субширотном направлении (рисунок 3). На схеме четко виден тренд уменьшения мощности плакорных ЛПС Предкавказья при движении с юго-востока на северо-запад. В тоже время, видно, что ряд колонок выбивается из данного тренда – Ul, Nr, Div, Bg, Tmg, Vlg. Примечательно, что «аномальные» колонки приурочены к крупным речным долинам – таким как Кубань, Дон, Миусс.

Установленные тренды изменения мощности и механического состава ЛПС Предкавказья указывают на главное направление переноса минеральной пыли – с юго-востока на северо-запад (рисунок. 4).

Области распространения дефлируемых песчаных и супесчаных отложений (рисунок 4) привязаны к долинам крупнейших рек региона, особенно к их низовьям (Терек, Кума, Волга, Дон, Миусс, Кубань). Участки лёссового покрова, расположенные вблизи этих областей, отличаются повышенным содержанием песчаной фракции и повышенными скоростями осадконакопления. Все это указывает на то, что нижние звенья крупных флювиальных систем являются основными источниками минеральной пыли в регионе, то есть областями сноса или питающими провинциями.

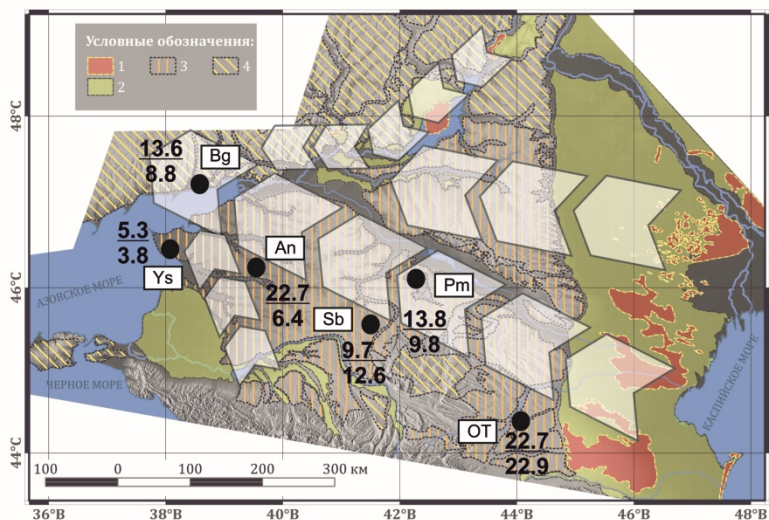
Среди всех источников резко выделяется Прикаспийская низменность (рисунок 4) с огромными по площади массивами аллювиальных песков и супесей в низовьях Терека, Кумы и Волги. Древние дельты и палеоруслу этих рек стали территориями развития эолового рельефа – дюнных полей и грядовых песков (Федорович, 1960). Лёссы Терско-Кумской низменности, примыкающие непосредственно к юго-западной окраине Прикаспийской низменности, отличаются экстремально высокими показателями мощности и содержания песка, причем эти показатели убывают в западном направлении, по мере удаления от источника. Этот тренд прослеживается в лёссах Предкавказья для всех хроносрезов (рисунок 3). Наблюдения за современными пылевыми бурями показывают, что Прикаспийская низменность и сегодня остается основным источником минеральной пыли в Предкавказье.

ЛПС, примыкающие к долинам Дона, Кубани и Миусса, несколько выбиваются из общего тренда падения мощности и доли песка с юго-востока на северо-запад. Вблизи этих долин ЛПС характеризуются повышенным содержанием песка и несколько повышенными мощностями. Заметное влияние речных долин на состав и мощность лёссового покрова прослеживается лишь на удалении в первые десятки километров (менее 50 км) от них. Эти особенности указывают на то, что донская и кубанская питающие провинции имеют важное, но второстепенное для региона значение с точки зрения объемов продуцируемой минеральной пыли.



А. Строение колонок. Б. Схема расположения

Рисунок 3. Строение верхнечетвертичной ЛПС во всех изученных плакорных разрезах Предкавказья (по собственным и литературным данным)

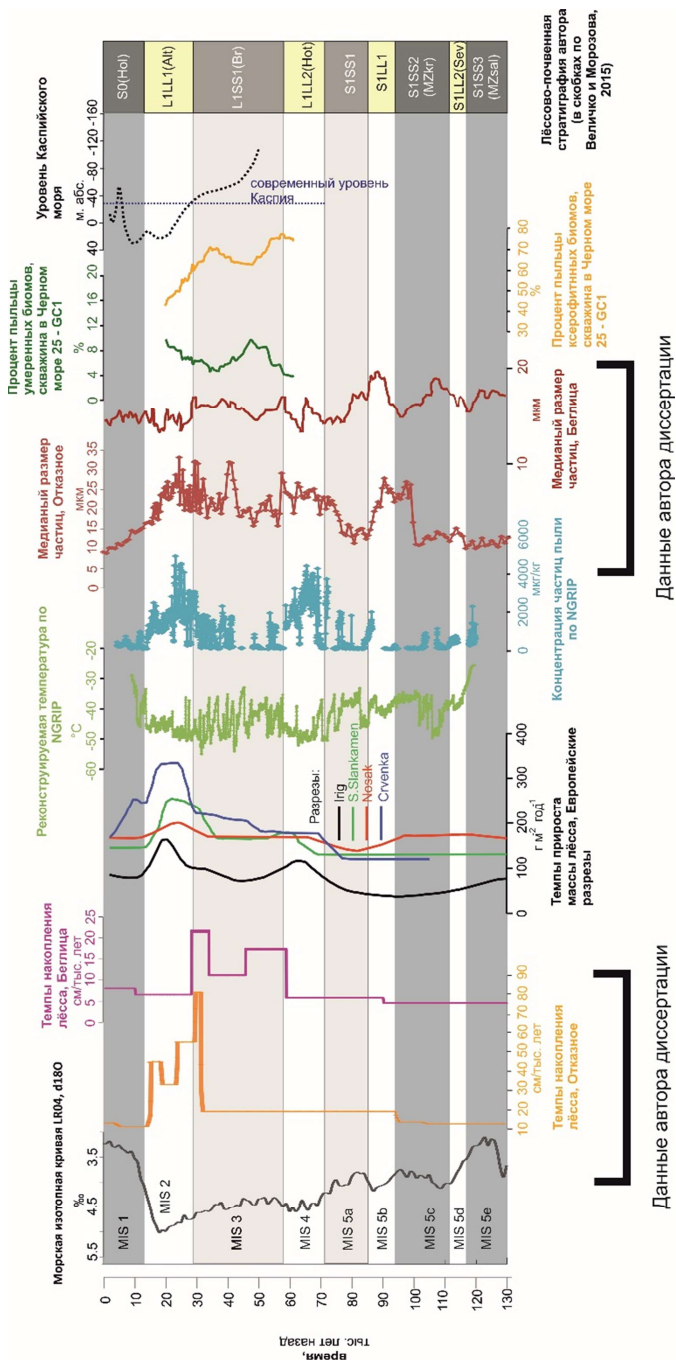


*Условные обозначения: 1 – незакрепленные эоловые пески; 2 – закрепленные и погребенные верхнечетвертичные пески и супеси; 3 – лёссы сплошного распространения; 4 – лёссы прерывистого распространения (Константинов и др., 2022)*

*В числителе дроби показана мощность в метрах, в знаменателе – содержание песка в %. Стрелками показано преобладающее направление переноса минеральной пыли в позднем неоплейстоцене и голоцене*

*Рисунок 4. Эоловый перенос минеральной пыли в Предкавказье в позднем неоплейстоцене и голоцене*

**Условия формирования лёссово-почвенной серии Предкавказья в позднечетвертичное время.** Для выявления ранга палеоклиматического сигнала в ЛПС Предкавказья сделана попытка корреляции опорных колонок OT и Bg с рядом наиболее полных глобальных и региональных палеозаписей и палеореконструкций (рисунок 5): обобщенной морской изотопно-кислородной кривой LR 04, гренландским ледниковым керном NGRIP (Kindler et al., 2014, Simonsen et al., 2019), ЛПС Восточной Европы (Peric et al., 2022), керном морских отложений из южной части Черного моря (Shumilovskikh et al., 2016), кривой колебания уровня Каспийского моря (Makshaev and Tkach, 2022).



Условные обозначения: *Hol* – голоценовая почва; *Alt* – алтыново-деснинский лёсс; *Br* – брянская палеопочва; *Hot* – хотылевский лёсс; *MZkr* – крутицкая палеопочва; *Sev* – севский лёсс; *MZsal* – салынская палеопочва

Рисунок 5. Сопоставление графиков скорости осадконакопления и медианного размера частиц для исследованных колонок *OT* и *Vg* с различными региональными и субглобальными палеоиндикаторами: реконструируемой температурой и количеством минеральной пыли по кернам NGRIP (Kindler et al., 2014; Simonsen et al., 2019), морская изотопная кривая LR 04 (Lisiecki and Raymo, 2005), темпы прироста массы лёсса по ЛПС Центральной Европы (Petic et al., 2022), доля пыльцы умеренных и ксерофитных биомов в кернах из Черного моря (Shumilovskikh et al., 2016), уровень Каспийского моря (Makhsaev and Tkach, 2022)

Как было показано выше, на границе МИС 3 и МИС 2 в ЛПС Восточного Предкавказья наблюдаются максимальные темпы осадконакопления и пиковые значения медианного размера частиц (МРЧ). В термохроны МИС 5 и МИС 1 темпы осадконакопления в ЛПС были понижены, как и значения МРЧ. Схожие закономерности наблюдаются в серии лёссовых разрезов Восточной Европы (Pegic et al., 2022).

Наблюдается согласование вариаций МРЧ колонки ОТ с концентрацией пыли и палеотемпературами в NGRIP. Так, для МИС 2 и МИС 4 отмечаются ярко выраженные максимумы содержания минеральных частиц в гренландском ледниковом керне, а для МИС 5, МИС 3 и МИС 1 – минимумы. Несколько выбивается из общего тренда только пик МРЧ в МИС 5b, что, вероятно, связано с региональной спецификой ЛПС Предкавказья. В керне донных отложений из Черного моря в конце МИС 3 отмечается наибольшее количество пыльцы ксерофитных биомов и наименьшее количество пыльцы умеренных биомов (Shumilovskikh et al., 2016). Это согласуется с пиковыми значениями темпов осадконакопления в колонках ОТ и Bg.

В истории Каспийского бассейна в конце МИС 3 отмечается начало крупнейшей трансгрессии – хвалынской (Makshaev and Tkach, 2022). Вместе с тем, для МИС 2 высокой согласованности кривой уровня моря с лёссовыми индикаторами не наблюдается. На основе имеющийся данных пока трудно говорить о связи между уровнем Каспийского моря и условиями осадконакопления Предкавказских лёссов. Однако несомненно на них влияли общие глобальные климатические факторы. Так, начало трансгрессии могло быть связано с уменьшением испарения в Каспийском бассейне из-за понижения температур (Свиточ, 2014; Yanina, 2014). В это же время в ЛПС Восточного Предкавказья наблюдается рост темпов осадконакопления, который косвенно может быть связан с понижением глобальной температуры, ставшей ключевым фактором в общей аридизации климата.

Выявленная связь изменчивости вещественного состава в ЛПС Предкавказья с концентрацией пыли в ледниковом керне NGRIP объясняется влиянием общих глобальных факторов на формирование этих палеоархивов. Концентрация пыли в Гренландском леднике связывается, прежде всего, с глобальной аридностью климата, которая усиливается в ледниковые эпохи (Simonsen et al., 2019). Исходя из этих предпосылок, можно сделать вывод, что Предкавказский (и в целом Понто-Каспийский) регион обладает высокой чувствительностью к изменению глобальной аридности климата, подчиняясь общему тренду изменения увлажненности. Таким образом, палеогеографическая запись в плакорных ЛПС Предкавказья может рассматриваться как отражение не только регионального, но и глобального климатического сигнала.

**Основные этапы и обстановки формирования ЛПС Предкавказья в позднечетвертичное время.** Таким образом, исходя из результатов, полученных в данной работе, а также опубликованных данных, можно выделить несколько основных этапов смены обстановок формирования ЛПС Предкавказья:

1. МИС 5. Этап относительно медленных темпов осадконакопления как на востоке, так и на западе региона. На востоке темпы выше (13.3 см/тыс. лет и 3.4 см/тыс. лет соответственно). В МИС 5e на плакорах были развиты черноземовидные почвы, ландшафты похожи на современные. В МИС 5d наблюдался этап аридизации, ландшафты трансформировались в более холодные и сухие, характерен слабый рост темпов осадконакопления. В западной части региона этому этапу не отвечают горизонты лёссов, а салынская и крутицкая палеопочвы наложены друг на друга. В МИС 5c формируются каштановидные почвы, характерные для более аридных по сравнению МИС 5e ландшафтов – сухих степей. Темпы лёссонакопления оставались относительно высокими. В МИС 5b наблюдалось повышенное содержание доли песка в лёссах. Вероятно, это было связано с резкой аридизацией климата, в результате чего большие площади песчаных массивов Прикаспия и низовьев Дона стали подвержены дефляции. Другим возможным фактором стало падение уровня Черного моря, вследствие чего были осушены поверхности террас Дона, Миусса и Кубани, которые стали дополнительным источником песка в западной части Предкавказья. В МИС 5a наблюдались процессы слабого почвообразования. В районе ключевого участка Беглица образовывались дерновые слаборазвитые почвы под разнотравно-дерновинно-злаковыми степями. Кроме того, в данный этап выявляется замедление темпов лёссонакопления, характерное для всех ключевых участков, за исключением ключевого участка Отказное.
2. МИС 4-2. Этап наиболее интенсивного осадконакопления. В МИС 4 темпы осадконакопления не отличались от темпов в конце МИС 5. Однако на плакорах всех исследованных участков отсутствовали процессы интенсивного почвообразования. Таким образом, вероятно, данный этап характеризуется еще более холодными и аридными условиями. МИС 3 отличается сложным устройством. Начальным этапам МИС 3 в разрезах Беглица и Отказное отвечает горизонт лёсса со слабыми признаками почвообразования. При этом данный этап характеризуется повышенным осадконакоплением, достигающим максимума для всего позднего неоплейстоцена к концу МИС 3 как для востока, так и для запада Предкавказья. Интервал МИС 2 на востоке региона характеризуется очень высокими средними темпами осадконакопления, а также повышенным содержанием доли песчаной фракции. В западной части региона (разрез Беглица) данному этапу отвечает перерыв в осадконакоплении,

связанный, вероятно, с экстрааридными условиями, в результате которых процессы дефляции преобладали над процессами аккумуляции. Ландшафты в данный этап представляли собой сухие степи с разреженной растительностью, особенно на западе Предкавказья. В Терско-Кумской низменности, несмотря на аридные условия, густоты растительного покрова хватало для сохранения положительного баланса наносов – преобладания аккумуляции над дефляцией.

3. МИС 1. Этап относительно слабого осадконакопления. На плакорях формируются современные черноземовидные и каштановые почвы. Увеличение доли песчаной фракции в верхней части отдельных разрезов, вероятно, связано с антропогенной деятельностью, в частности, с распашкой полей.

### **Заключение**

В результате исследования строения и состава верхнечетвертичной ЛПС Предкавказского региона удалось сделать следующие выводы:

1. Засушливость климата – главный фактор, изменявший темпы лёссонакопления в Предкавказье на протяжении позднего неоплейстоцена и голоцена. Рост аридизации в криохроны провоцировал расширение площади источников пыли за счёт деградации растительного покрова и иссушения субстрата. Увеличение объемов продукции минеральной пыли в областях дефляции влекло за собой повышение темпов осадконакопления в областях аккумуляции.
2. В горизонтах ЛПС Предкавказья, формировавшихся в криохроны (МИС 4 – МИС 2), средние темпы осадконакопления превышали средние темпы, установленные для термохронов (МИС 5 и МИС 1) до 1.8 раз. Высокие темпы осадконакопления для разрезов с достоверной хронологией отмечаются в начале МИС 2, а наивысшие – в конце МИС 3. Это коррелирует с наиболее аридным глобальным периодом в позднем неоплейстоцене по данным ледникового ядра NGRIP.
3. Содержание песчаной фракции в горизонтах криохронов в среднем в 1.3 раз выше, чем в горизонтах термохронов. Увеличение доли песчаной фракции в криохроны объясняется расширением площади источников минеральной пыли и небольшим ростом скоростей приземного ветра. Увеличение доли песчаной фракции в голоценовых почвах отдельных разрезов, вероятно, связано с антропогенной деятельностью, в частности, с распашкой полей.
4. Педокомплекс S1 (мезинский) имеет в своем строении три почвы, соответствующие МИС 5а, МИС 5с и МИС 5е, что дополняет стратиграфическую схему А.А. Величко (Величко и Морозова, 2015). Такая структура мезинского педокомплекса является типичной для плакорных ЛПС Предкавказья и обнаруживается в большинстве разрезов.
5. В плакорных верхнечетвертичных ЛПС Предкавказья наблюдается направленное изменение механического состава и мощности отложений с юго-



востока на северо-запад. Так, мощность в Терско-Кумской низменности составляет 23.0 м, на северо-западе Ставропольской возвышенности – 10.0–13.0 м, в восточном Приазовье – 5.5–9.0 м. Среднее содержание песчаной фракции 23 %, 10–13 %, 6–12 %, соответственно. Пространственное распределение механического состава и мощности верхнеплейстоценовой ЛПС Предкавказья дает основание полагать, что основной источник эоловой пыли, поступающей на территорию Предкавказья, расположен на востоке – в пустынях Прикаспийской низменности. Направление приземного потока минеральной пыли «юго-восток – северо-запад» доминировало на протяжении всего позднего неоплейстоцена и голоцена. Второстепенный источник минеральной пыли – долины крупных рек (Дона, Миусса, Кубани).

6. Лёссовые палеоархивы, расположенные в Восточном Предкавказье, лучше отражают динамику климатических изменений в регионе, чем западные. Это связано с более высоким временным разрешением палеогеографической записи и более высокой чувствительностью палеоиндикаторов к климатическим флуктуациям, что выражается в высокой амплитуде колебаний механического состава, магнитной восприимчивости, содержания органического вещества и карбонатов.
7. Условия осадконакопления на западе Предкавказья были более однородными на всем протяжении позднего неоплейстоцена и голоцена по сравнению с условиями осадконакопления на востоке региона.

#### ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

##### **Работы, опубликованные в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК**

1. Konstantinov E.A., Zakharov A.L., **Sychev N.V.**, Mazneva E.A., Kurbanov R.N., Morozova P.A. Loess accumulation in the southern part of European Russia at the end of the quaternary period //Herald of the Russian Academy of Sciences. – 2022. – Т. 92. – №. 3. – С. 342–351.
2. Mazneva E., Konstantinov E., Zakharov A., **Sychev, N.**, Tkach N., Kurbanov R., Sedaeva K., Murray A. Middle and late pleistocene loess of the western ciscaucasia: Stratigraphy, lithology and composition //Quaternary International. – 2021. – №. 590 – С. 146–163.
3. **Сычев Н.В.**, Константинов Е.А., Захаров А.Л., Frechen M., Tsukamoto S. Новые данные по геохронологии верхнечетвертичных лессово-почвенных серий Терско-Кумской низменности //Литология и полезные ископаемые. – 2022. – № 4. – С. 386–398.

4. Константинов Е.А., Мазнева Е.А., **Сычев Н.В.**, Захаров А.Л., Филиппова К.Г. Изменчивость строения и состава верхнечетвертичных лессов Предкавказья (юг Европейской части России) //Геоморфология. – 2022. – № 53. – С. 107–116.
  5. Константинов Е.А., Мазнева Е.А., **Сычев Н.В.**, Захаров А.Л., Филиппова К.Г. Закономерности пространственной изменчивости позднеплейстоценовых и голоценовых лёссов Предкавказья //География и природные ресурсы. 2020. – №. 3 – С. 98–107.
  6. Panin P., Kalinin P., Filippova K., **Sychev N.**, Bukhonov A. Paleo-pedological record in loess deposits in the south of the East European plain, based on Beglitsa-2017 section study //Geoderma. – 2023. – Т. 437. – С. 116567.
- Работы, опубликованные в научных журналах и сборниках конференций**
1. Konstantinov E.A., Zakharov A.L., **Sychev N.V.**, Tkach N.T. The structure and origin of the "Vorontsovskaya pad" – a large depression on the east coast of the Azov Sea //Ponto-Caspian stratigraphy and geochronology. Proceeding of Third plenary meeting and field trip of INQUA IFG 1709F POCAS. Tehran and Guilan Province. I.R. Iran. – 2019. – С. 11–18.
  2. Mazneva E.A., Konstantinov E.A., **Sychev N.V.**, Zakharov A.L., Filippova K.G. New data on the structure, composition and geochronology ciscaucasia upper pleistocene and holocene loess //Ponto-Caspian stratigraphy and geochronology. Proceeding of Third plenary meeting and field trip of INQUA IFG 1709F POCAS, Tehran and Guilan Province. I.R. Iran. – 2019. – С. 21–27.
  3. Morozova P.A., Volodin E.M., Zakharov A.L., Konstantinov E.A., Ushakov K.V., Semenov V.A., Mazneva E.A., **Sychev N.V.** The spatial distribution of loesses of the Ciscaucasia (south of Russia) at the late pleistocene and its possible relationship with Caspian sea level fluctuations PMIP2020 Nanjing Conference. 26-30 October. – 2020.
  4. **Sychev N.**, Konstantinov E., Zakharov A. New data on OSL dating of loess in the eastern Ciscaucasia (section Otkaznoe) //Kazan Golovkinsky Young Scientists' Stratigraphic Meeting 2020 and Young Scientists' School. – 2020. – С.24–27.
  5. **Сычев Н.**, Константинов Е., Захаров А., Мазнева Е., Фрехен М., Тсукамото., Карпухина Н. Новые данные по геохронологии верхнечетвертичных лессов Терско-Кумской низменности //Сборник Пути эволюционной географии. Выпуск 2. Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко (Москва, 22-25 ноября 2021 г.) – 2021. – С. 45–47.
  6. Константинов Е.А., Пономарева В.В., Портнягин М.В., **Сычев Н.В.**, Мазнева Е.А., Захаров А.Л., Фрехен М., Тсукамото С. Геолого-геоморфологическая характеристика местонахождения вулканического пепла «Темижбекская»

- (Краснодарский край) //Сборник материалов Всероссийская конференция с международным участием «VIII Щукинские чтения: рельеф и природопользование», Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, Россия, 28 сентября - 1 октября 2020. – М.: – Географический факультет. – 2020. – С. 82–84.
7. Константинов Е.А., Сычев Н.В., Захаров А.Л., Фрехен М., Тсукамото С. Геохронология верхнечетвертичных лессов Терско-Кумской низменности //Сборник Материалов 13-ой молодежной научной школы-конференции. Курск: ИГРАН. – 2021. – С. 62–65.
  8. Мазнева Е.А., Константинов Е.А., **Сычев Н.В.**, Захаров А.Л. Условия осадконакопления и геохронология верхнеплейстоценовых лёссов Предкавказья //Сборник материалов IX Всероссийское литологическое совещание (с международным участием) "Литология осадочных комплексов Евразии и шельфовых областей", Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, 30 сентября - 4 октября. Казань. – 2019. – С. 42–46.
  9. **Сычев Н.В.**, Константинов Е.А., Мазнева Е.А., Захаров А.Л., Филиппова К.Г. Верхнеплейстоценовые лессы Предкавказья: строение, состав, источники //Сборник Материалов 12-ой молодежной научной школы-конференции. Курск: ИГРАН – 2020. – С. 59–62.
  10. Мазнева Е.А., Константинов Е.А., Сычев Н.В., Захаров А.Л., Филиппова К.Г. Закономерности пространственной изменчивости верхнеплейстоценовых лёссов Предкавказья //Сборник Материалов 12-ой молодежной научной школы-конференции. Курск: ИГРАН. – 2020. – С. 39–43.