

УДК 551.311.33:551.89(470.61+514)

© 2017 г. **А.А. ВЕЛИЧКО**<sup>1</sup>, Т. ЯНГ<sup>2</sup>, А.О. АЛЕКСЕЕВ<sup>3</sup>, О.К. БОРИСОВА<sup>1</sup>,  
П.И. КАЛИНИН<sup>1,3</sup>, В.Н. КОНИЩЕВ<sup>4</sup>, Ю.М. КОНОНОВ<sup>1</sup>, Е.А. КОНСТАНТИНОВ<sup>1</sup>,  
П.Н. КУРБАНОВ<sup>1,4</sup>, П.Г. ПАНИН<sup>1</sup>, В.В. РОГОВ<sup>4</sup>, В.А. САРАНА<sup>1,4</sup>, С.Н. ТИМИРЕВА<sup>1</sup>,  
И.Г. ЧУБАРОВ<sup>1,5</sup>

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ УСЛОВИЙ  
ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ЗА ПОСЛЕДНИЙ МЕЖЛЕДНИКОВО-ЛЕДНИКОВЫЙ  
МАКРОЦИКЛ В ЛЁССОВЫХ ОБЛАСТЯХ ЮГА  
ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ  
(ПРИАЗОВЬЕ) И ЦЕНТРАЛЬНОГО КИТАЯ (ЛЁССОВОЕ ПЛАТО)**

<sup>1</sup>Институт географии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт гляциологии и экогеографии Университета Ланьчжоу, Китай

<sup>3</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, Россия

<sup>4</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
географический факультет, Москва, Россия

<sup>5</sup>Институт Дальнего Востока РАН, Москва, Россия  
e-mail: paleo\_igras@mail.ru, yangtb@lzu.edu.cn

На основании комплексных исследований лёссово-почвенных серий Приазовья (разрез Беглиця-2) и северо-запада Лёссового плато Китая (разрез Цаосянь) проведена корреляция основных стратиграфических горизонтов и сопоставлены ландшафтно-климатические изменения в этих регионах за последний межледниково-ледниковый климатический макроцикл. Установлено, что для Лёссового плато была характерна устойчивая аккумуляция лёсса как в ледниковья, так и в межледниковья, т.е. формирование т.н. “теплого” лёсса. В Северо-Восточном Приазовье основная аккумуляция лёсса соответствовала криоаридным условиям ледниковых этапов, а в межледниковья накопление материала происходило в десятки раз медленнее. Средняя скорость седиментации лёссового материала, рассчитанная по разрезу Цаосянь, более чем в 5 раз выше скорости, рассчитанной по разрезу Беглиця-2. Позднеплейстоценовые палеопочвы в разрезе Беглиця-2, относящиеся к салынской (MIS5e), крутицкой (MIS5c) и брянской (MIS3) фазам, значительно лучше морфологически выражены по сравнению с палеопочвами в разрезе Цаосянь; они принадлежат к степному типу, формировались в более гумидных условиях при более стабильной поверхности. В разрезе Цаосянь морфологически выраженный профиль имеет только палеопочва SISS3 (MIS5e), которая принадлежит к полупустынному типу, что говорит о ее формировании в значительно более аридных условиях по сравнению с ее приазовским аналогом (салынской палеопочвой). Климатические колебания на юге Восточно-Европейской равнины в пределах последнего межледниково-ледникового макроцикла имели существенно большую амплитуду, чем на северо-западе Лёссового плато. Криоаридные условия ледниковых эпох здесь чередовались с теплыми семиаридными условиями межледниковий. На Лёссовом плато в течение последнего межледниково-ледникового макроцикла изменялся, прежде всего, гидрологический режим, обусловленный активностью Восточно-Азиатского муссона: низкой во время ледниковья (сухо) и повышенной в межледниковья (более влажно).

**Ключевые слова:** лёссово-почвенная формация, сравнительный анализ состава отложений, Лёссовое плато Китая, Восточное Приазовье, поздний плейстоцен и голоцен.

### Введение

Юг Восточно-Европейской равнины и Лёссовое плато Китая представляют собой две наиболее значимые в палеогеографическом отношении области распространения лёссово-почвенной формации (ЛПФ). Лёссовые серии таких областей можно рассматривать как наиболее полные субэаральные природные архивы четвертичного периода в Евразии. Они характеризуются сравнительно высокой изученностью, которая, однако, все

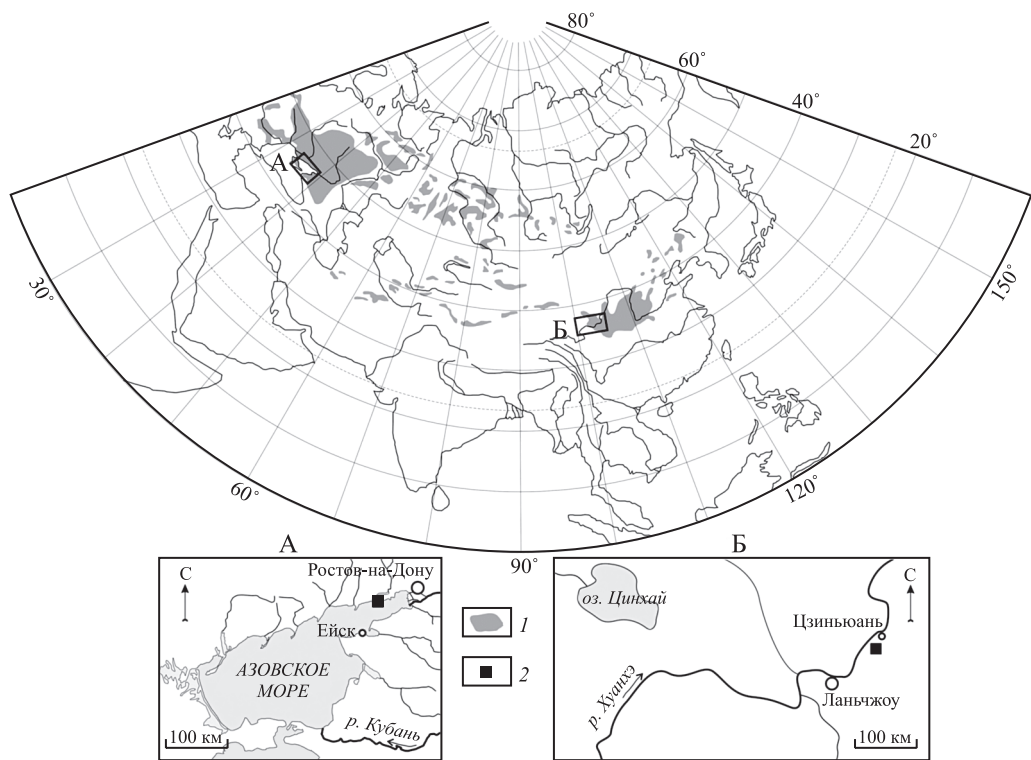


Рис. 1. Распространение типичных лёссов в Евразии (1) по [1, 2] и положение объектов исследования (2): А — Беглиця-2, Б — Цаосянь

еще остается неравномерной как в пространственном, так и в хронологическом отношении. Неодинакова и обеспеченность аналитическими данными в опорных разрезах двух рассматриваемых территорий. Эти данные, как правило, различаются по своему набору, а также по плотности (частоте), от которой зависит временное разрешение палеогеографических реконструкций. В работе исследовательских групп из разных стран до сих пор обнаруживаются существенные различия в методических подходах к исследованию ЛПФ. Названные обстоятельства осложняют задачу проведения межрегиональной корреляции двух крупнейших лёссовых областей мира. Значение такой корреляции трудно переоценить. Решение этой проблемы позволит продвинуться в понимании реакции экосистем отдельных регионов Евразии на глобальные климатические перестройки последних сотен тысяч лет, которые превосходно фиксируются в ЛПФ. Работа по сравнительному анализу состава и строения лёссов из разных областей будет способствовать лучшему пониманию механизмов влияния климата на процессы лёссонакопления, педогенеза и рельефообразования.

В предлагаемой статье представлены результаты комплексных исследований позднелейстоценовых лёссовых серий Приазовья и северо-запада Лёссового плато (рис. 1). Поставленная задача определила выбор объектов исследований: разрезы Беглиця-2 (47°08' с.ш., 38°31' в.д.) и Цаосянь (36°22' с.ш., 104°37' в.д.). Именно на этих участках обнаружены максимальные мощности ЛПФ позднего плейстоцена для каждого из двух названных регионов, что позволяет рассчитывать на высокую детальность палеогеографической записи. Оба разреза изучались совместно российскими и китайскими специалистами на общих принципах и с использованием идентичных аналитических методов. Для изученных разрезов проведена корреляция основных стратиграфических горизонтов и сопоставлен ход эволюции ландшафтов и климата за последний межледниково-ледниковый климатический макроцикл.

## Состояние изученности ЛПФ

**Юг Восточно-Европейской равнины.** Разработка проблем хроностратиграфии лёссов и палеогеографии лёссовой области Восточно-Европейской равнины насчитывает уже более ста лет. Основные достижения здесь связаны с именами таких исследователей, как И.П. Герасимов, Н.И. Кригер, М.Ф. Веклич, Дж. Кукла, М. Печи, и многих других. Исследования последнего десятилетия [3–6] внесли существенный вклад в разработку подробной и обоснованной хроностратиграфической схемы ЛПФ юга Восточно-Европейской равнины. Комплексное применение литологического, геохимического, палеопедологического и других методов позволило более основательно подойти к реконструкции ландшафтно-климатических условий во время формирования различных горизонтов ЛПФ. Для перигляциально-лёссовой зоны юга Восточной Европы установлен последовательный ряд педокомплексов, соответствующих межледниковым этапам почвообразования в плейстоцене. Основные фазы формирования педокомплексов (ПК) соотносятся со следующими межледниковыми эпохами (от более молодых к более древним): мезинский ПК – микулинское межледниковье, MIS5e, около 117–135 тыс.л.н.; каменный ПК – каменское м/л; MIS7, ~190–220 тыс.л.н., инжавинский ПК – лихвинское м/л, MIS9, ~300–340 тыс.л.н.; воронский ПК – мучкапское м/л, MIS13, ~470–500 тыс.л.н. [7]. Эти разработки создали необходимую основу для межрегиональной корреляции ЛПФ юга Восточно-Европейской равнины и других регионов Евразии.

**Лёссовое плато.** Наиболее обстоятельные исследования лёссов Китая отражены в работах ряда исследователей: G.J. Kukla, Z.S. An [8–10]; T. Liu [11]; Z. Ding et al. [12]; S.C. Porter [13] и др. К настоящему времени создана стратиграфическая схема китайской лёссово-почвенной серии, хронологические рамки которой включают последние 2.5 млн лет. В лёссовой толще выделяется более 30 ископаемых почв, коррелируемых с межледниковыми стадиями морской изотопно-кислородной шкалы. Ископаемым почвам присвоены индексы S1, S2 и так далее (от более молодых к более древним); при этом современная (голоценовая) почва получила обозначение S0. Вместе с тем диагностика типов почвообразования, которая наилучшим образом отражает региональную динамику экосистем в теплые эпохи плейстоцена, разработана еще недостаточно. Одной из нерешенных проблем до сих пор остается также межрегиональная корреляция лёссов и погребенных почв и в целом изменений ландшафтно-климатических условий в масштабах Евразийского континента.

### Краткая характеристика районов и объектов исследований

**Климат и растительность.** Климат Северо-Восточного Приазовья относительно теплый, но, несмотря на приморское положение территории, континентальный и сухой. По данным [14], среднегодовая температура в Таганроге, расположенном в 33 км к востоку от разреза Беглица-2, составляет +9.9 °С, июля – +23.3 °С, января – –3.9 °С. Годовая сумма осадков составляет 440 мм. Осадки относительно равномерно распределяются по месяцам года. Максимум осадков приходится на май–июль (среднемесячные величины 46, 67 и 57 мм, соответственно); в остальные месяцы выпадает по 35–40 мм осадков. Снежный покров маломощный (менее 10 см) и неустойчивый, средняя продолжительность его залегания – менее 40 дней. Характерны сильные ветры, иногда сопровождаемые нагонной волной на море, что приводит к интенсивному размыву берегов и оползням. Преобладающее направление ветра зимой – ВСВ; летом господствуют ветра западных румбов. Район относится к южной части Нижнедонской степной провинции с разнотравно-ковыльными степями, под которыми развиты черноземы обыкновенные [15]. В настоящее время территория степей почти повсеместно распахана и занята сельскохозяйственными угодьями.

Разрез Цаосянь расположен на правобережье среднего течения р. Хуанхэ, на северо-западной окраине Лёссового плато (ЛП), примерно в 20 км к югу от г. Цзиньюань

в провинции Ганьсу. Эта часть ЛП характеризуется континентальным климатом с сухой холодной зимой и жарким летом. По данным [16], среднегодовая температура в районе разреза составляет +8,3 °С, а среднегодовая сумма осадков 275 мм. При этом около 70% осадков выпадает с июня по сентябрь, главным образом, в виде ливневых дождей, что провоцирует интенсивную овражную эрозию. Зима здесь суровая и малоснежная; на высотах более 1000 м почва промерзает до глубины 50–100 см и оттаивает к концу весны [17]. Зимой часты пыльные бури, приносящие пыль с севера и северо-запада, из пустынных районов Ордоса и Алашаня.

В ландшафтном отношении район разреза Цаосянь принадлежит к типичным степям высоких плато и межгорных котловин, где развиты горные каштановые почвы [15]. К настоящему времени почвы ЛП не просто сильно изменены длительной земледельческой культурой, но на значительных площадях весь почвенный покров фактически создан заново: в современное почвообразование вовлечен культурный слой. Китайские почвоведы, следуя народным терминам, называют такие почвы “хейлуту” – “черная земля” или для смытых, малогумусных разностей “хуан-чжан” – “желтая земля”.

Таким образом, исследуемые разрезы относятся к климатическим районам с близкими условиями теплообеспеченности, но существенно различаются по количеству и режиму выпадения атмосферных осадков. Различия в увлажнении усиливаются геоморфологическими особенностями. В горной местности, где находится разрез Цаосянь, дефицит влаги ощущается значительно острее, так как влага не задерживается на поверхности, а стекает по крутым склонам и переводится в подземный сток. Это сказывается и на растительности, которая здесь не образует сплошного покрова; а почвы повсеместно сильно эродированы. Естественная растительность на ЛП сохранилась лишь в местах, непригодных для возделывания. Почти вся поверхность плато распахана, склоны искусственно террасированы как с целью увеличения возделываемых площадей, так и для борьбы с эрозией и псевдокарстом. Деградация почв и растительности, а также развитию эрозионных процессов в немалой степени также способствует интенсивный выпас мелкого рогатого скота на крутых склонах, не используемых под пашню.

**Рельеф.** Исследованные разрезы лёссовых отложений существенно различаются по геоморфологической позиции.

Разрез Беглица-2 расположен в пределах прибрежно-морского террасированного участка Приазово-Кубанской низменности. В тектоническом отношении территория принадлежит южной периферии Восточно-Европейской платформы. Береговой обрыв, где заложен разрез Беглица-2, находится в юго-западной части небольшого полуострова, омываемого с юга водами Таганрогского залива Азовского моря, а с запада и севера – водами Миусского лимана. Юго-западная оконечность полуострова, согласно Н.А. Лебедевой [18], принадлежит к среднеплейстоценовой аллювиально-лиманной (т.н. беглицкой) террасе с покровом более молодых лёссовых отложений. Для террасы характерен слабоволнистый рельеф со следами древних флювиальных и лагунно-дельтовых форм. Так вдоль тылового шва террасы прослеживается широкая (до 900 м) и неглубокая (5–7 м) ложбина палеоруслу, а вдоль берегового обрыва террасы четко выделяется два гипсометрических уровня. Береговой обрыв беглицкой террасы, протянувшийся с северо-запада на юго-восток на 2,7 км, представляет собой быстро отступающий абразионный уступ, что обеспечивает поддержание высокой обнаженности разреза. Многие годы этот разрез привлекает внимание исследователей четвертичного периода из-за многочисленных находок костного материала [5, 18], мустьерских артефактов [19] и большой мощности позднеплейстоценовых лёссов. В наиболее высокой части обрыва (около 16 м над у.м.) был заложен разрез Беглица-2, по которому получены детальные характеристики строения и состава отложений, а также определения возраста [4].

Лёссовое плато (ЛП) – природная область в средней части бассейна р. Хуанхэ, ограниченная на юге хребтом Циньлин, на востоке – хребтом Тайханшань, на севере – пустыней Ордос, на северо-западе – пустыней Алашань, на западе – восточными отрогами Куньлуня. Площадь ЛП около 430 тыс. км<sup>2</sup>, преобладающие высоты – 1200–1500 м над у.м. В пределах ЛП имеются отдельные хребты, обособленные эрозионными ущельями; гребни хребтов достигают высоты 2500 м и более. В геологическом отношении ЛП представляет собой эпиплатформенную впадину, заполненную мощной толщей мезозойских отложений, перекрытых лёссами. Мощность лёссов обычно колеблется от 100 до 200 м, возрастая на севере до 250 м и более. Рыхлые толщи лёссов подвергаются интенсивной эрозии. Сеть оврагов в некоторых районах ЛП достигает густоты 6 км на 1 км<sup>2</sup> при глубине 100–150 м. На севере ЛП преобладают лёссовые гряды и увалы, вытянутые в направлении господствующих ветров; на юге развиты плоские и пологоволнистые поверхности, изрезанные оврагами. Реки, за исключением Хуанхэ, текут в глубоких ущельях и выносят огромное количество преимущественно илистых наносов, причём в ряде долин в течение месяцев летних муссонов проходит по нескольку волн грязево-водных селей. В пределах ЛП р. Хуанхэ выносит ежегодно 3700 т/км<sup>2</sup> наносов [17].

Северо-западная часть ЛП, где расположен разрез Цаосянь, имеет здесь облик густо расчлененного плоскогорья. По данным [16, 20], разрез Цаосянь расположен на шестой террасе р. Хуанхэ. Максимальная мощность лёссового чехла в районе разреза составляет около 500 м; возраст подошвы лёссовых отложений оценивается в 1.4 млн лет. Лёссы подстилаются галечно-гравийным аллювием мощностью 10–20 м. Он, в свою очередь, залегает на неогеновом цоколе, представленном красноцветными аргиллитами и песчаниками. Эрозия в районе разреза достигла таких масштабов, что склоны соседних эрозионных форм нередко смыкаются, образуя острые гребни. Деревня Цаосянь расположена на одном из преобладающих по высоте (2100–2130 м) небольших остаточных плоских участков междуречья шириной около 1 км, который протягивается между соседними субмеридиональными сухими долинами на несколько километров.

Расчистка заложена в верхней части крутого левого борта одного из глубоких (около 350 м) ущелий у окраины деревни Цаосянь. Абсолютная высота бровки разреза – 2100 м; ее превышение над меженным урезом р. Хуанхэ составляет около 700 м. Ущелье, в борту которого находится расчистка, не имеет постоянного водотока. Его протяженность составляет около 2 км, ширина по бровкам – 250–600 м. От вершины, расположенной к югу от деревни Цаосянь, ущелье плавно поворачивает на восток, выходя к долине притока р. Хуанхэ. Поперечный и продольный профили ущелья ступенчатые. В расположенном на глубине около 300 м от бровок верхнем уровне днища наблюдается глубокий (около 50 м) и узкий (30–70 м) донный врез. Верхние относительно пологие части склонов оврага искусственно террасированы и заняты полями. Крутые (20–40°) участки склонов осложнены более мелкими оврагами и рытвинами, а также многочисленными воронками и провалами размером от первых метров до десятков метров в поперечнике. Эти провалы часто образуют цепочки, вытянутые вниз по склону, и представляют собой формы “лёссового карста”, возникающие под воздействием процессов суффозии и тоннельной эрозии, т.е. размыва и выноса материала в результате подповерхностного стока воды, а также растворения сульфатов и карбонатного цемента лёссов.

**Строение разрезов.** ЛПФ в разрезе Беглица-2 включает в себя серию хорошо выраженных палеопочв, представленных мезинским почвенным комплексом, брянской ископаемой почвой и современной почвой – черноземом обыкновенным (А-АВ-крот.-Вса-ВСа) (рис. 2). Материнские породы в основном суглинистые или супесчаные, плотные, карбонатные; в почвах встречаются крупные карбонатные конкреции; окраска неоднородная, основные цвета светло-бурые (до коричневого), гумусовые горизонты – темно-серые, буроватые. Мезинский ПК имеет мощность более 2 м,

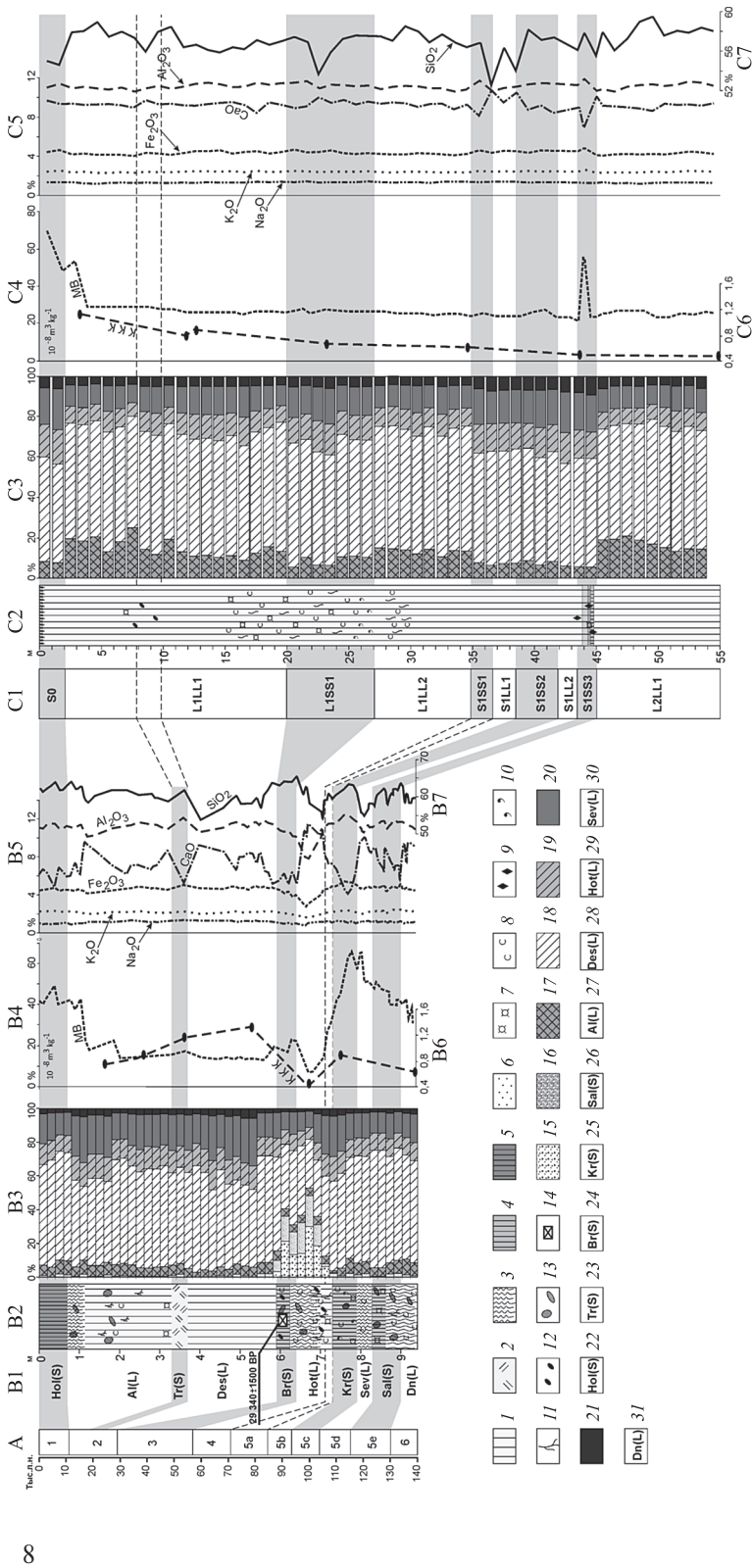


Рис. 2. Результаты лабораторных анализов и корреляция отложений в разрезах Беглица-2 и Цаоснь

А – морские изотопно-кислородные стадии [21], В – разрез Беглица-2, С – разрез Цаоснь, В1, С1 – стратиграфия; В2, С2 – литология; В3, С3 – гранулометрический состав, В4, С4 – магнитная восприимчивость, В5, С5 – валовой химический состав (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O); В6, С6 – коэффициент криогенной контрастности (ККК); В7, С7 – валовой химический состав (SiO<sub>2</sub>).

*Литологические свойства:* 1 – лёссовые горизонты без явных признаков почвообразования; 2 – лабразвитая почва (горизонт “побурения”); 3 – В-горизонты почв; 4 – гумусовые горизонты палеопочв; 5 – гумусовый горизонт голоценового чернозема; 6 – супесчаный горизонт; 7 – карбонатные новообразования в виде плотных конкреций и нодулей; 8 – рассеянные пылеватые карбонаты; 9 – кристаллы гипса; 10 – железисто-марганцевые конкреции; 11 – следы корнеходов; 12 – темные гумусированные пятна; 13 – кротовины; 14 – место взятия пробы на радиоуглеродный анализ. *Гранулометрические фракции, мм:* 15–0.25–0.5, 16–0.1–0.25, 17–0.05–0.1, 18–0.01–0.05, 19–0.005–0.01, 20–0.001–0.005, 21 – <0.001. *Горизонты почв в разрезе Беглица-2:* 22 – голоценовая, 23 – трубчевская, 24 – брянская, 25 – крутицкая, 26 – альпийская, 27 – алтынковский, 28 – деснинский, 29 – хотылевский, 30 – севский, 31 – днепровский

состоит из двух почв; основные цвета гумусовых горизонтов — от темно-коричневых до темно-серых; иллювиальные горизонты — светло-коричневые, сероватые, буроватые. Брянская ископаемая почва маломощна (менее 1 м); в ней выделяются следующие генетические горизонты: Аса.крот.-АВса-Вса. Основные цвета гумусового горизонта — палевый (светло-коричневый) и серо-коричневый, иллювиального горизонта — светло-палевый до белесого. Общая мощность слоев позднего плейстоцена в разрезе Беглица-2 составляет около 10 м.

По результатам полевого изучения верхней части (мощностью 55 м) разреза Цаосянь установлено, что позднплейстоценовая лёссово-почвенная серия представлена весьма однородной светло-палевой супесью. В интервале глубин 43.95–44.80 м была вскрыта единственная морфологически выраженная палеопочва в изученной толще. Ее генетический профиль (Аса-АВса-(В)Вса-ССа) близок к бурым полупустынным почвам на лёссах. В интервале глубин 15–29 м в разрезе отмечается повышенная макропористость и скопления карбонатных новообразований в виде рыхлых стяжений, что может указывать на рост интенсивности педогенеза в данной зоне. Профиль голоценовой почвы в разрезе практически не выражен, ее гумусовый горизонт, вероятно, эродирован.

Разрез Цаосянь ранее изучался несколькими группами исследователей, которыми были получены аналитические данные и проведено стратиграфическое расчленение вскрытых отложений на принципах геологической корреляции. Так, Хеслоп и др. [22] обосновали стратиграфическое расчленение голоценовой почвы S0 на основе детального исследования магнитной восприимчивости в верхних 2.5 м разреза. Чен и др. [23] исследовали строение толщ осадка разреза Цаосянь на глубинах 35–45 м с помощью принятого для китайских лёссов набора анализов: магнитной восприимчивости, гранулометрического состава и содержания  $\text{CaCO}_3$ . Ими было установлено, что в интервале глубин 37.0–43.5 м наблюдается существенное уменьшение медианного диаметра частиц (до 0.025 мм) по сравнению с выше- и нижележащими слоями, где он составляет 0.040–0.045 мм. Внутри интервала выражено три пика магнитной восприимчивости, которым соответствуют три зоны резких колебаний содержания  $\text{CaCO}_3$ . Весь указанный интервал авторы статьи обозначают как S1 и соотносят с MIS5, а с каждым пиком магнитной восприимчивости сопоставляют “подпочву” (сверху вниз): S1SS1 – MIS5a, S1SS2 – MIS5c, S1SS3 – MIS5e.

Ши и др. [16] получены данные о магнитной восприимчивости и гранулометрическом составе для верхних 160 м разреза Цаосянь. Для S1 наблюдается хорошее соответствие этих данных ранее полученным результатам [23]. Внутри позднплейстоценового лёсса L1, по данным [16], заметны существенные вариации медианного диаметра зерен, но вариации магнитной восприимчивости не так велики. Интервал с величинами медианного диаметра частиц 0.025–0.030 мм сопоставляется авторами с MIS3.

## Использованные методы

**Гранулометрический анализ** отложений проведен на лазерном анализаторе размеров частиц Malvern Mastersizer 3000. Подготовка проб включала в себя стандартную процедуру обработки материала 3% раствором HCl с целью удаления карбонатов и растирание резиновым пестиком в присутствии пирофосфата натрия.

**Микроморфологические исследования** лёссов и погребенных почв проведены в соответствии с методиками, описанными в “Методическом руководстве по микроморфологии почв” [24].

**Оценка криогенного воздействия.** Для оценки степени криогенного воздействия на отложения применялся предложенный В.Н. Конишевым [25] коэффициент криогенной контрастности (ККК):

$$ККК = \frac{Q_1 / F_1}{Q_2 / F_2}$$

где  $Q_1$  и  $F_1$  – содержание кварца и полевых шпатов во фракции 0.05–0.01 мм,  $Q_2$  и  $F_2$  – содержание кварца и полевых шпатов во фракции 0.1–0.05 мм. В первом приближении значения  $KKK > 1$  говорят о наличии мерзлых пород и активном криогенезе в момент накопления осадка: чем больше это значение, тем более суровыми были условия; значения  $KKK < 1$  свидетельствуют о формировании отложений вне вечной мерзлоты [26].

**Морфоскопия песчаных кварцевых зерен.** Изучение формы и поверхности кварцевых зерен проводилось по методике, разработанной в ИГ РАН [27]. Степень окатанности песчаных зерен рассчитывалась по формуле

$$Q = \frac{0 \times n_0 + 1 \times n_1 + 2 \times n_2 + 3 \times n_3 + 4 \times n_4}{n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4} \times 25\%,$$

где  $n_0$ ;  $n_1$ ;  $n_2$ ;  $n_3$ ;  $n_4$  – число зерен, относящихся к классам окатанности с нулевого по четвертый.

Степень матовости зерен вычислялась по формуле

$$C_m = \frac{0 \times G + 0.25 \times 0.25M + 0.5 \times 0.5M + 1 \times M}{G + 0.25M + 0.5M + M} \times 100\%,$$

где  $G$  – количество зерен с глянцевой поверхностью,  $0.25M$  – с четвертьматовой,  $0.5M$  – с полуматовой,  $M$  – с матовой поверхностью.

Для выявления характерных особенностей поверхности проведены также исследования при помощи растрового электронного микроскопа.

**Рентгенфлуоресцентный анализ и капаметрия.** Измерения концентраций макро- и микроэлементов в отложениях осуществлялись на рентгеновском аппарате “СПЕКТРОСКАН МАКС – GV” по методике измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах. Измерения магнитной восприимчивости проведены в лабораторных условиях на приборе “КАРРАBRIDGE KLY-2” по стандартной методике.

**Оценка длительности основных этапов осадконакопления.** В разрезе Беглица-2 из гумусового горизонта слабо развитой почвы, с глубины 6.0 м была отобрана проба на радиоуглеродное датирование. Возраст составил  $29340 \pm 1500$  лет (ИГАН-4172). Калибровка полученной даты с помощью программы OxCal 4.2.1, которая базируется на варианте калибровочной кривой IntCal 09, показала, что с вероятностью 0.954 возраст образца лежит в интервале 38003–31179 лет. Временные диапазоны формирования слоев лёссов и почв, вскрытых в разрезе Беглица-2, определены на основании существующих представлений о хроностратиграфии лёссово-почвенной серии позднего плейстоцена Восточно-Европейской равнины [7]. Оценка длительности формирования основных слоев в разрезе Цаосянь проведена в соответствии с региональными исследованиями, посвященными корреляции событий на Лёссовом плато с морской изотопно-кислородной шкалой [12, 13].

### Основные результаты комплексных исследований

**Механический состав отложений.** В механическом составе осадка в обоих исследуемых разрезах преобладает фракция алеврита (0.005–0.05 мм), содержание которой в разрезе Беглица-2 изменяется от 35 до 80%, а в разрезе Цаосянь – от 53 до 81%. Из этих цифр видно, что отложения в разрезе Беглица-2 в целом менее однородны по механическому составу по сравнению с разрезом Цаосянь. Содержание фракции глины (<0,005 мм) в разрезе Беглица-2 колеблется от 10 до 37%, причем в В горизонтах почв (0.7–1.7, 7.0–7.5 и 9.0–9.5 м) отмечается небольшой рост доли глины, что может объясняться постседиментационными процессами, вызывающими миграцию глинистой фракции вниз по почвенному профилю. Доля глины в разрезе Цаосянь изменяется от 13 до 33%. Повышенное содержание этой фракции (более 20%) наблюдается в интервалах глубин 0–2, 20–27 и 35–45 м. К тем же интервалам в разрезе Цаосянь приурочено



снижение содержания тонкопесчаной фракции (0.05–0.1 мм) – менее 10%. Максимальных же значений (~20%) доля тонкого песка достигает в интервалах глубин 3–5 и 45–48 м. Содержание песка имеет важное диагностическое значение в лёссовых разрезах, указывая на интенсивность эолового переноса. Увеличение доли песка в китайских лёссах принято связывать [12, 13] с этапами низких значений тепло- и влагообеспеченности, т.е. с ледниковьями, когда возрастало влияние Азиатского антициклона, а снижение доли песка – с более гумидными и теплыми межледниковьями и интерстадиалами в условиях господства Восточно-Азиатского муссона. Эта закономерность достаточно четко прослеживается в разрезе Цаосянь, где почвенным уровням S0 и S1 соответствуют зоны с низким содержанием частиц крупнее 0.05 мм.

Совокупная доля песка, представленного в разрезе Беглица-2 тонкой (0.05–0.1 мм), мелкой (0.1–0.25 мм) и средней (0.25–0.5 мм) фракциями, весьма значительно изменяется по разрезу (от 3 до 53%). При этом “фоновые” содержания песка составляют около 10%, а высокие содержания (30–50%) приурочены только к ограниченному интервалу (5.8–7.15 м), соответствующему хотылевскому лёссу. Особенности механического состава отложений в данном интервале могут объясняться экстремальными эоловыми процессами (пыльными бурями), которые, вероятно, имели локальный характер, поскольку в других районах Приазовья подобных опесчаненных слоев внутри валдайского лёсса не выявлено.

В целом осадки, представленные в разрезе Цаосянь, более легкие и однородные по механическому составу по сравнению с осадками в разрезе Беглица-2. Разрез Цаосянь имеет менее выраженную стратификацию по составу, отложения там характеризуются более высокой сортированностью, в них резко преобладает крупноалевритовая фракция.

*Микроморфологическое строение отложений* позволяет выявить существенные различия между двумя разрезами. Для лёссов и ископаемых почв в разрезе Беглица-2 характерна бурая глинистая и песчано-глинистая плазма, включения крупных (диаметр 0.05–0.1 мм), занимающих более 20% пространства шлифа ромбовидных кристаллов гипса, железо-марганцевые конкреции. Микростроение отложений рыхловатое, микроагрегированное. Хорошо выражена перерытость микрофауной с обилием биогенных пор.

В разрезе Цаосянь микростроение осадков пылеватое, промытое, слабо трещиноватое; агрегаты встречаются редко. Включения представлены железо-марганцевыми хлопьями; вертикальные трещины во внутривертепной массе заполнены светло-бурым материалом с сероватым оттенком (вероятно, легкорастворимыми солями сульфатного типа – тенардитом или мирабилитом). Здесь не обнаружены крупные железистые конкреции и ромбовидные кристаллы гипса, отсутствие которых говорит о более аридном климате при формировании палеопочвы, т.к. для обеспечения роста кристаллов правильной формы необходимо постоянное или длительное увлажнение почв [28]. Цвет отложений в шлифах однородный, светло-бурый или палевый; пропитка каким-либо материалом отсутствует, в отличие от отложений из разреза Беглица-2, где внутривертепная масса пропитана гумусовым или железисто-глинистым материалом.

*Оценка криогенного воздействия.* Изменения коэффициента криогенной контрастности (ККК) по разрезу Беглица-2 в целом соответствуют лёссово-почвенной ритмике. Верхняя часть разреза лёссовой толщи отражает постепенно убывающее влияние криогенных процессов: ККК уменьшается с 1.36 (нижняя часть алтыновского лёсса, глубина около 5 м) до 0.77 (алтыновский лёсс, гл. 1.6 м), что указывает на существование сравнительно высокотемпературной многолетней мерзлоты и ее постепенное исчезновение к концу данного интервала. В отложениях брянского времени ККК очень низок (0.45), что свидетельствует об относительно теплом климате и об отсутствии процессов криогенеза. Этот показатель для микулинского времени составляет 0.37. По сравнению с разрезом Беглица-2, в разрезе Цаосянь изученная толща в целом практически не затронута криогенезом, за исключением горизонта на глубине ~3 м, где можно предположить существование “теплой” островной мерзлоты, и горизонта на глубине 11–12 м, где ККК не исключает наличия неглубокого сезонного промерзания.

**Морфоскопическое изучение песчаных зерен.** В разрезе Беглица-2 были проанализированы песчаные кварцевые зерна (ПКЗ) фракции 0.5–1.0 мм. В целом по разрезу зерна характеризуются сравнительно высокими коэффициентами окатанности (от 58 до 75%) и невысокой степенью матовости – от 17 до 39%. По данным морфоскопического анализа, во время накопления слоя лёсса, разделяющего мезинскую и брянскую ископаемые почвы, существенно возростала роль эоловых процессов. Наибольшие матовость и окатанность ПКЗ приурочены к верхней части поздневалдайского лёсса (рис. 3А). В то же время, в поздневалдайском лёссе встречаются ПКЗ со следами криогенной обработки – свежими раковистыми сколами (рис. 3Б), что хорошо согласуется с оценкой степени криогенного воздействия: как упоминалось выше, ККК для поздневалдайского лёсса составляет от 1.36 до 1.19, что указывает на наличие многолетней мерзлоты. Погребенные почвы в разрезе Беглица-2 отличаются от лёссов более низкими показателями окатанности (65–69%) и матовости (22–28%) ПКЗ. Большинство зерен из почв имеет бугристо-ямчатую поверхность, на которой видны следы химического выветривания (рис. 3В).

Изучение ПКЗ в разрезе Цаоянь проводилось только для фракции 0.25–0.5 мм в связи с отсутствием зерен более крупной фракции, и даже зерна размером 0.25 мм встречаются в образцах редко. Два образца были взяты из погребенной почвы в основании позднеплейстоценовой толщи и пять – из вышележащих лёссов. Коэффициенты окатанности и матовости ПКЗ постепенно возрастают от горизонта погребенной почвы вверх по разрезу. ПКЗ из лёссовой толщи хорошо окатанные и имеют матовую поверхность (рис. 3Г). Максимальные значения коэффициентов окатанности и матовости ПКЗ зафиксированы на глубине 25.0 м: 76 и 80%, соответственно. В верхней части разреза названные коэффициенты вновь значительно уменьшаются. В образцах, отобранных с глубин 6.0 и 2.0 м, наряду с зернами со следами эоловой обработки (хорошо окатанные зерна с микроямчатой поверхностью), присутствуют ПКЗ со свежими сколами и выбоинами (рис. 3Д). Происхождение подобных зерен связано с растрескиванием и сколами частиц в процессе промерзания. Коэффициент окатанности снижается до 65%, а степень матовости – до 57%, что хорошо согласуется с величинами ККК, полученными для данного разреза: для образца с глубины 3 м ККК составляет 1.1, что свидетельствует о промерзании пород во время накопления соответствующего слоя. Характер поверхности ПКЗ из погребенной почвы S1 отличается от “лёссовых” зерен. В этом горизонте отмечается большое разнообразие ПКЗ: встречаются идеально окатанные зерна со следами эоловой обработки; зерна с бугристо-ямчатой поверхностью (рис. 3Е), характерной для частиц из почвенных горизонтов, а также со следами процессов сезонного промерзания (довольно крупные сколы и раковины). Коэффициент окатанности колеблется в пределах 58–62%, степень матовости составляет 28%.

Таким образом, результаты морфоскопического изучения ПКЗ говорят о возрастании роли эоловых процессов и об аридизации климата от последнего межледниковья к ледниковой эпохе позднего плейстоцена как на территории Приазовья, так и на ЛП Китая. Судя по характеру поверхности ПКЗ и высоким коэффициентам их окатанности и матовости, процессы эолового переноса на ЛП были намного более интенсивными, чем в Приазовье, причем даже мелкий песчаный материал подвергался интенсивной переработке в воздушной среде.

**Валовой химический состав.** В валовом составе осадка рассматриваемых разрезов наибольшее диагностическое значение для стратиграфического расчленения и палеогеографической интерпретации имеют макроэлементы (Si, Al, Ca, Fe, K, Na), составляющие в пересчете на оксиды более 90% от общего элементного состава осадочного вещества. Особый интерес представляют соотношения таких устойчивых терригенных элементов, как кремний и алюминий, а также подвижного кальция, миграция которого зачастую связана с процессами почвообразования. В разрезе Беглица-2 наблюдается рост содержания Са в В-горизонтах как современной почвы, так и ископаемых

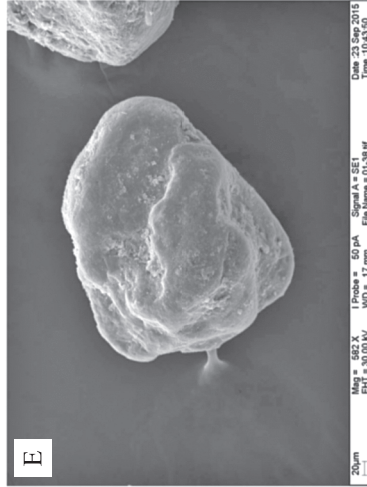
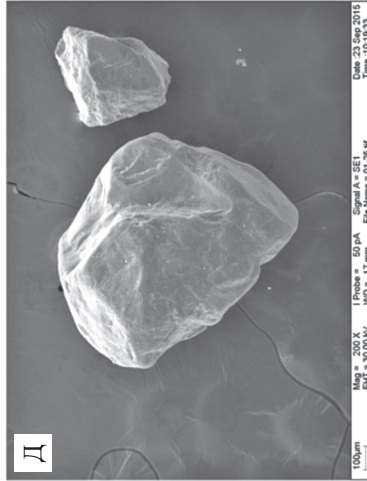
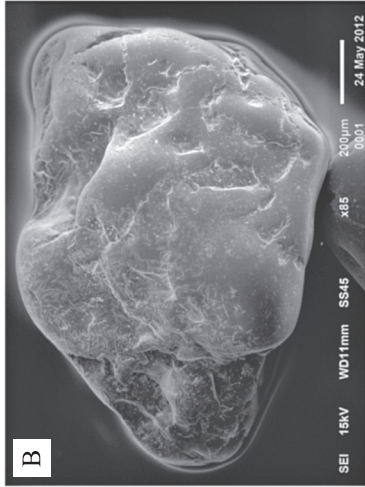
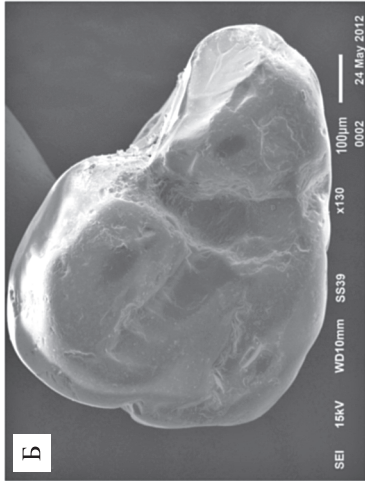
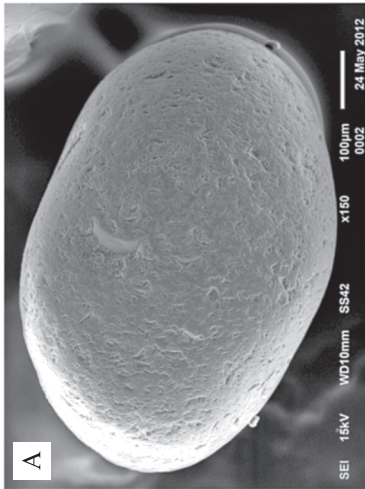


Рис. 3. Морфологические особенности песчаных кварцевых зерен *Разрез Веглица-2*: А – хорошо окатанное зерно из позднелевобудской лёссово-песчаной толщи с следами криогенной обработки, В – кварцевое зерно из мезинской почвы с бугристо-ямчатой поверхностью и со следами химического выветривания. *Разрез Цао-сянь*: Г – хорошо окатанное зерно из лёссово-песчаной толщи, Д – зерно из позднелевобудского лёсса со следами морозного выветривания (сколы и выбоины), Е – зерно из погребенной почвы с бугристо-ямчатой поверхностью

почв, что объясняется накоплением педогенных карбонатов кальция. Этим же горизонтам соответствует снижение доли Si и Al. В гумусовых горизонтах почв, которым соответствуют пики магнитной восприимчивости, можно наблюдать обратную картину: рост Si, Al и снижение Ca. Схожие закономерности наблюдаются и в отложениях разреза Цаосянь, однако амплитуда колебаний рассматриваемых элементов там существенно ниже. Так, если в разрезе Беглица-2 колебания содержания CaO достигают 8%, то в разрезе Цаосянь они не превышают 4%.

**Геохимия палеопочв.** Комплекс химических анализов лёссово-почвенных проб из разрезов Беглица-2 и Цаосянь позволил сравнить генезис палеопочв последнего межледниковья (MIS5e) в двух регионах. В разрезе Цаосянь на глубинах 43–45.2 м выделяется почвенный уровень S1SS3, в верхней части которого содержание обменных оснований составляет 11.83 мг-экв/100 г и постепенно уменьшается с глубиной: 9.21; 6.84; 6.24; 6.06 мг-экв/100 г. В гумусовом горизонте погребенной почвы на глубине 44.05 м содержание гумуса максимальное по разрезу – 1.35%. В иллювиальных горизонтах почвы на глубинах 44.45 и 45.2 м, оно значительно ниже – 0.65 и 0.62% соответственно. В переходном слое между почвой и перекрывающим ее лёссом на глубине 43 м содержание гумуса резко уменьшается по сравнению с гумусовым горизонтом (до 0.74%). Четкая дифференциация профиля между гумусовым и иллювиальными горизонтами прослеживается по содержанию хлоридов, сульфатов, кальция и магния. Так, максимальные содержания хлоридов соответствуют глубинам 43–44.05 м (5145.6–3084.95 мг/кг); с глубины 44.45 м до 45.2 м их содержание резко падает до 898.15; 859.1 и 706.8 мг/кг. Та же тенденция прослеживается и для сульфатов: на глубинах 43–44.05 м их содержание максимально (2054.4–2246.4 мг/кг), ниже оно резко уменьшается до 787.2; 460.8 и 729.6 мг/кг. Максимальные содержания хлоридов и сульфатов для всего разреза выявлены для уровня палеопочвы (на глубинах 43–44.05 м), что может говорить об аккумуляции солей в верхних горизонтах и солонцовом типе почвообразования; pH среды, так же, как и во всем разрезе, сильнощелочной ( $pH_{OH_2}$  9.64–9.48;  $pH_{KCl}$  8.79–8.45), что характерно для почв, развитых в аридных условиях.

В разрезе Беглица-2 по содержанию гумуса в палеопочвах мезинский комплекс можно разделить на две фазы: крутицкую (MIS5e) и салынскую (MIS5c). Так в крутицкой интерстадиальной почве гумус составляет 1.02%, в салынской межледниковой почве содержание гумуса варьирует от 1.63 до 1.52%. В межледниковой палеопочве прослеживается увеличение суммы обменных оснований, кальция, магния и гидрокарбонатов в верхней части почвенного профиля, а содержания хлоридов и сульфатов, наоборот, в нижней части. Это отличает салынскую почву от почвы S1SS3 в разрезе Цаосянь, где содержания сульфатов и хлоридов максимальны в верхних слоях палеопочвы, а показатели для кальция, магния, гидрокарбонатов и суммы обменных оснований распределены по профилю почв равномерно.

Таким образом, палеопочва S1SS3 разреза Цаосянь развивалась в более аридном климате с участием процессов засоления. Палеопочвы мезинского комплекса разреза Беглица-2 развивались по черноземовидному типу почвообразования в менее аридном климате.

### **Эволюция условий осадконакопления и рельефообразования за последний межледниково-ледниковый макроцикл**

**MIS5.** Соответствующий этап на Беглицком участке характеризовался низкой по интенсивности аккумуляцией пылеватого материала со средней скоростью 0.033 мм/год, которая пришлась, главным образом, на похолодания раннего валдая. Теплым этапам MIS5 соответствовали фазы стабилизации поверхности, выраженные в разрезе двумя палеопочвами – салынской (MIS5e) и крутицкой (MIS5c), образующими мезинский педокомплекс. В салынскую фазу (микулинское межледниковье) на плакорах Приазовья происходило формирование типичных степных черноземов, о чем

свидетельствуют палеопедологические данные. Форма и тип поверхности песчаных кварцевых зерен из салынской почвы мезинского ПК указывают на развитие процессов биохимического выветривания, характерных для почв в целом, и наличие сезонного промерзания грунта. Первому ранневалдайскому похолоданию (MIS5d) соответствовала фаза слабой лёссовой аккумуляции. Накопившийся в это время маломощный слой севского лёсса (~1 м) послужил материнской породой для крутицкой почвы мезинского ПК. Крутицкая почва близка к южным черноземам с признаками каштановых почв, свойственным сухим степям.

На северо-западе ЛП интенсивность аккумуляции на этапе MIS5 (в среднем 0.17 мм/год) в 5 раз превышала таковую на юге Восточно-Европейской равнины. В интервале MIS5 в разрезе Цаосянь морфологически выражен только один уровень почвообразования – S1SS3, соотносимый с MIS5e; эта палеопочва имеет полупустынный облик, близкий к горным бурым почвам. Уровни S1SS2 (MIS5c) и S1SS1 (MIS5a) не имеют морфологически выраженного профиля и диагностируются только по аналитическим данным: росту магнитной восприимчивости, резким колебаниям содержания  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$ . Низкая доля песчаной фракции и повышенное содержание глины в зоне MIS5 указывают на снижение интенсивности эолового переноса материала из пустынь, что, вероятно, было связано с некоторым увеличением влажности климата по сравнению с предшествующим ледниковым этапом. Указанные факторы привели к относительной стабилизации поверхности, которая наиболее отчетливо проявилась в последнее межледниковье (MIS5e).

**MIS4.** Для данного этапа отмечается общий рост интенсивности аккумуляции лёсса; разница между регионами по этому показателю возрастает до 8 раз (0.067 мм/год для хотылевского лёсса в разрезе Беглица-2 и 0.53 мм/год для лёсса L1LL2 в разрезе Цаосянь). В обоих разрезах наблюдается увеличение доли песчаной фракции, однако в Беглице оно было более значительным и резким. Высокое содержание песчаных фракций в ранневалдайском (хотылевском) лёссе при его низкой сортированности свидетельствует о больших и часто изменяющихся скоростях ветра, которые могли достигать 7–9 м/с. По-видимому, такое усиление ветров было связано с локальными условиями, поскольку подобный опесчаненный слой не обнаружен в других разрезах Приазовья.

**MIS3.** В средневалдайское (брянское) время интенсивность аккумуляции на поверхности беглицкой террасы снизилась, и на супесчаных отложениях сформировалась дерновая почва, профиль которой состоит из гумусового, кротовинного и карбонатного горизонтов. Палеопедологические данные свидетельствуют о господстве степной растительности во время формирования террасы. Для интервала L1SS1 отмечается увеличение пористости и присутствие карбонатных новообразований в виде рыхлых белесых скоплений и вместе с тем снижение доли песка в осадке. Разница в интенсивности аккумуляции между двумя изученными участками достигает 14 крат (0.018 мм/год для брянской почвы против 0.26 мм/год для лёсса L1SS1). Таким образом, потепление MIS3 в Приазовье проявилось намного сильнее по сравнению с таковым на северо-западе ЛП. Оно сказалось на стабилизации поверхности и развитии степного ландшафта с сомкнутым растительным покровом, тогда как на ЛП сохранялись весьма аридные условия, близкие к ледниковым.

**MIS2.** Поздневалдайский лёсс в разрезе Беглица-2 имеет мощность 5.3 м, что указывает на высокие средние темпы лёссонакопления – 0.3 мм/год. Для ПКЗ из этого слоя лёсса характерно возрастание степени окатанности и матовости снизу вверх по разрезу; отмечена микроямчатость, которая свидетельствует об эоловой обработке ПКЗ, а также следы морозного выветривания. Свойства осадка говорят о существовании сухих холодных степей в Северо-Восточном Приазовье в ледниковую эпоху позднего плейстоцена. Лёсс L1LL1 характеризуется максимальными по разрезу содержаниями тонкого песка (до 25%), что свидетельствует о высокой интенсивности эоловых процессов и очень высокой скорости лёссонакопления (1 мм/год). Таким образом,

темпы аккумуляции на северо-западе ЛП в 3.4 раза превышали таковые в Приазовье, что составляет минимальную разницу по этому показателю. Очевидно, что на данном этапе условия в двух рассматриваемых регионах были наиболее близкими за весь поздний плейстоцен и характеризовались холодным сухим климатом, разреженным растительным покровом и широким развитием эоловых процессов.

**MIS1.** В голоцене в Приазовье при резком росте тепло- и влагообеспеченности произошла стабилизация поверхности. В таких условиях развитие получили разнотравно-ковыльные степи, под которыми сформировались типичные черноземы. Аккумуляция минерального осадка за голоцен не превышала 0.8 м, т.е. средние темпы аккумуляции составляли всего 0.073 мм/год. На северо-западе ЛП данный этап также проявился в относительной стабилизации поверхности и развитии бурых полупустынных почв. Средние темпы аккумуляции в голоцене были не ниже 0.18 мм/год, однако данная оценка может быть заниженной ввиду интенсивной ветровой и водной эрозии, спровоцированной антропогенной деятельностью в последние 2–3 тыс. лет.

### Выводы

1. Средняя скорость седиментации лёссового материала, рассчитанная по разрезу Цаосянь, более чем в 5 раз выше таковой, рассчитанной по разрезу Беглица-2.

2. Для северо-запада Лёссового плато характерна устойчивая аккумуляция лёсса как в ледниковья, так и в межледниковья – т.е. формирование т.н. “теплого” лёсса. В Северо-Восточном Приазовье основная аккумуляция лёсса соответствовала криоаридным условиям ледниковых этапов, а в межледниковье накопление материала происходило в десятки раз медленнее.

3. Позднеплейстоценовые палеопочвы в разрезе Беглица-2, относящиеся к салынской (MIS5e), крутицкой (MIS5c) и брянской (MIS3) фазам, значительно лучше морфологически выражены по сравнению с палеопочвами в разрезе Цаосянь; они принадлежат к степному типу, формировались в более гумидных условиях при более стабильной поверхности. В разрезе Цаосянь морфологически выраженный профиль имеет только палеопочва S1SS3 (MIS5e), которая принадлежит к полупустынному типу, что говорит о ее формировании в значительно более аридных условиях по сравнению с ее приазовским аналогом (салынской палеопочвой).

4. Климатические колебания на юге Восточно-Европейской равнины в пределах последнего межледниково-ледникового макроцикла имели существенно большую амплитуду, чем на Лёссовом плато. Криоаридные условия ледниковых эпох здесь чередовались с теплыми семиаридными условиями межледниковий. На северо-западе Лёссового плато в течение последнего межледниково-ледникового макроцикла изменялся, прежде всего, гидрологический режим, обусловленный активностью Восточно-Азиатского муссона, низкой во время ледниковья (сухо) и повышенной в межледниковья (более влажно).

**Благодарности.** Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РФФИ-ГФЕН № 14-05-91166, а также проектов РФФИ № 16-35-60069 и № 15-04-06494.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pecsi M.* Loess // Atlas of paleoclimates and paleoenvironments of the Northern Hemisphere: Late Pleistocene, Holocene / B. Frenzel, M. Pécsi, and A. Velichko (Eds.). Budapest: Geographical Research Inst., Hungarian Acad. of Sci.; Stuttgart; New York: G. Fischer, 1992. P. 51.
2. *Velichko A.A., Morozova T.D., Nechaev V.P., Rutter N.W., Dlusskii K.G., Little E.C., Catto N.R., Semenov V.V., and Evans M.E.* Loess/paleosol/cryogenic formation and structure near the northern limit of loess deposition, East European Plain, Russia // Quaternary Int. 2006. Vol. 152–153. P. 14–30.
3. *Величко А.А., Катто Н.Р., Тесаков А.С., Титов В.В., Морозова Т.Д., Семенов В.В., Тимирева С.Н.* Особенности строения плейстоценовой лёссово-почвенной формации юга Русской равнины по материалам восточного Приазовья // ДАН. 2009. Т. 428. № 6. С. 815–819.

4. Величко А.А., Морозова Т.Д., Борисова О.К., Тимирева С.Н., Семенов В.В., Кононов Ю.М., Титов В.В., Тесаков А.С., Константинов Е.А., Курбанов Р.Н. Становление зоны степей юга России (по материалам строения лёссово-почвенной формации Доно-Азовского региона) // ДАН. 2012. Т. 445. № 4. С. 464–467.
5. Tesakov A.S., Dodonov A.E., Titov V.V., and Trubikhin V.M. Plio-Pleistocene geological record and small mammal faunas, eastern shore of the Azov Sea, Southern European Russia // Quaternary Int. 2007. No. 160. P. 57–69.
6. Velichko A.A., Catto N.R., Kononov Yu.M., Morozova T.D., Novenko E.Yu., Panin P.G., Ryskov G.Ya., Semenov V.V., Timireva S.N., Titov V.V., and Tesakov A.S. Progressively cooler, drier interglacials in southern Russia through the Quaternary: Evidence from the Sea of Azov region // Quaternary Int. 2009. Vol. 198 (1–2). P. 204–219.
7. Величко А.А., Морозова Т.Д. Основные черты почвообразования в плейстоцене на Восточно-Европейской равнине и их палеогеографическая интерпретация // Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв / Отв. ред. В.Н. Кудяров, И.В. Иванов. М.: ГЕОС. 2015. С. 321–335.
8. An Z., Kukla G., Porter S.C., and Xiao J. Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau of central China during the last 130,000 years // Quaternary Res. 1991. Vol. 36. P. 29–36.
9. Kukla G. Loess stratigraphy in central China // Quaternary Sci. Rev. 1987. Vol. 6. P. 191–219.
10. Kukla G. and An Z.S. Loess stratigraphy in Central China // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1989. Vol. 72. P. 203–225.
11. Liu T. Loess in China (second edition). Beijing: China Ocean Press; Berlin: Springer-Verlag, 1988. 224 p.
12. Ding Z., Yu Z., Rutter N.W., and Liu T. Towards an orbital time scale for Chinese loess deposits // Quaternary Sci. Rev. 1994. Vol. 13 (1). P. 39–70.
13. Porter S.C. Chinese loess record of monsoon climate during the last glacial-interglacial cycle // Earth Sci. Rev. 2001. Vol. 54. P. 115–128.
14. www.climatebase.ru – архив климатических данных.
15. Физико-географический Атлас Мира. М.: АН СССР и ГУГК СССР, 1964. 298 с.
16. Shi P., Yang T., Tian Q., Jiang S., Fan Z., and Wang J. Loess record of climatic changes during MIS12–10 in the Jingyuan section, northwestern Chinese Loess Plateau // Quaternary Int. 2013. Vol. 296. P. 149–159.
17. Исаченко А.Г., Шляпников А.А. Природа мира. Ландшафты. М.: Мысль, 1989. 504 с.
18. Лебедева Н.А. Антропоген Приазовья // Тр. ГИН АН СССР. 1972. Вып. 215. 136 с.
19. Иванова И.К., Праслов Н.Д. О находке мустьерского нуклеуса на северном побережье Азовского моря // Бюл. МОИП. 1963. 38 (4). С. 97–100.
20. Yue L.P., Lei X.Y., and Qu H.J. A magnetiostratigraphic study on the Jingyuan loess section, Gansu, China // Quaternary Sci. 1991. Vol. 4 (4). P. 349–353 (in Chinese with English abstract).
21. Lisiecki L.E. and Raymo M.E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic  $\delta^{18}O$  records // Paleoceanography. 2005. Vol. 20. PA1003, doi:10.1029/2004PA001071.
22. Heslop D., Shaw J., Bloemendal J., Chen F., Wang J., and Parker E. Sub-millennial scale variations in East Asian monsoon systems recorded by dust deposits from the north-western Chinese Loess Plateau // Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy. 1999. Vol. 24 (9). P. 785–792.
23. Chen F.H., Bloemendal J., Feng Z.D., Wang J.M., Parker E., and Guo Z.T. East Asian monsoon variations during Oxygen Isotope Stage 5: evidence from the northwestern margin of the Chinese loess plateau // Quaternary Sci. Rev. 1999. Vol. 18 (8–9). P. 1127–1135.
24. Методическое руководство по микроморфологии почв / Под ред. Г.В. Добровольского/ М.: Изд-во МГУ, 1983. 81 с.
25. Конищев В.Н. Формирование состава дисперсных пород в криолитосфере. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981. 197 с.
26. Конищев В.Н. Взаимосвязь состава и температуры криогенных почв и грунтов // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1998. № 3. С. 9–14.
27. Velichko A. and Timireva S. Morphoscopy and morphometry of quartz grains from loess and buried soil layers // GeoJournal. 1995. Vol. 36(2/3). P. 143–149.
28. Герасимова М.И., Губин С.В., Шоба С.А. Микроморфология почв природных зон СССР. Информационно-справочные материалы. Пушино: ОНТИ Пушкинского НЦ РАН, 1992. 215 с.

Поступила в редакцию 25.01.2016

A COMPARATIVE ANALYSIS OF CHANGING SEDIMENTATION CONDITIONS DURING THE LAST INTERGLACIAL-GLACIAL MACROCYCLE IN THE LOESS AREAS OF THE SOUTHERN EAST EUROPEAN PLAIN (THE AZOV SEA REGION) AND CENTRAL CHINA (LOESS PLATEAU)

A.A. VELICHKO<sup>1</sup>, T. YANG<sup>2</sup>, A.O. ALEKSEEV<sup>3</sup>, O.K. BORISOVA<sup>1</sup>, P.I. KALININ<sup>1,3</sup>, V.N. KONISHCHEV<sup>4</sup>, Yu.M. KONONOV<sup>1</sup>, E.A. KONSTANTINOV<sup>1</sup>, R.N. KURBANOV<sup>1,4</sup>, P.G. PANIN<sup>1</sup>, V.V. ROGOV<sup>4</sup>, V.A. SARANA<sup>1,4</sup>, S.N. TIMIREVA<sup>1</sup>, I.G. CHUBAROV<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Institute of Glaciology and Ecogeography of Lanzhou University, China*

<sup>3</sup>*Institute of Physico-Chemical and Biological Problems of Soil Sciences, Pushchino, Russia*

<sup>4</sup>*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

<sup>5</sup>*Institute of Far Eastern Studies RAS, Moscow, Russia*

*e-mail: paleo\_igras@mail.ru, yangtb@lzu.edu.cn*

Multi-proxy studies of loess-soil sequences in the eastern Azov Sea region (Beglitsa-2 section) and the northwestern Loess Plateau of China (Caoxian section) let us to suggest the correlation of the main stratigraphic horizons and to provide the comparison of landscape and climatic changes in these regions during the last interglacial-glacial climatic macrocycle. It was found that the Loess Plateau was characterized by a steady accumulation of loess during both glacial and interglacial epochs, when the so-called “warm” loess was formed. In the NE Sea of Azov region, the main loess accumulation corresponded to cryoarid conditions of the glacial phases, while during the interglacials, loess accumulation became ten times slower. The average sedimentation rate of loess material calculated for Caoxian section was more than 5 times higher than the one calculated for the Beglitsa-2 section. Late Pleistocene paleosoils in the Beglitsa-2 section are of the steppe type and correspond to the Salyn (MIS5e), Krutitsa (MIS5c), and Bryansk (MIS3) climate phases. Morphology of the Azov paleosoils is much better expressed than that of the paleosoils at Caoxian, where only the SISS3 semidesert paleosoil (MIS5e) can be seen directly in the section. Climatic fluctuations in the southern East European Plain within the last interglacial-glacial macrocycle had significantly greater amplitude than that in the north-west of the Loess Plateau. In the latter, cryoarid glacial conditions alternated with warm semiarid interglacial conditions. In the northwestern Loess Plateau, the main climate dynamics was associated with the hydrological regime changes under the influence of the East Asian monsoon activity, which was at its lowest during the glacial stages (drier climatic phases) and increased during the interglacial and interstadials (wetter climatic phases).

**Keywords:** loess-soil sequences, multiproxy analysis, Chinese Loess Plateau, eastern Azov region, Late Pleistocene, Holocene.

DOI:10.15356/0435-4281-2017-1-3-18