

УДК 551.4: 551.4.07; 551.89

СТРОЕНИЕ КРУПНЫХ ЗАПАДИН ЛЕССОВЫХ МЕЖДУРЕЧИЙ ВОСТОЧНОГО ПРИАЗОВЬЯ (НА ПРИМЕРЕ "ЧЕРВОНОЙ ПАДИ")

© 2019 г. А. Л. Захаров*, Е. А. Константинов

Институт географии РАН, Москва, Россия

**e-mail: alzakharov@igras.ru*

Поступила в редакцию 16.03.2018 г.; после доработки 07.03.2019 г.; принята в печать 04.04.2019 г.

Рассмотрено геолого-геоморфологическое строение “Червоной пади” – одной из крупнейших западин лёссовых равнин восточного Приазовья. Исследование опирается на анализ топографии и результаты геологических изысканий (ручное бурение и изучение береговых обнажений). Установлены черты морфологического сходства “Червоной пади” с соседними крупными западинами, что свидетельствует о единстве природы крупных западин и позволяет рассматривать “Червоную падь” как модельный объект исследований. Особенности морфологии и геологического строения “Червоной пади” указывают на то, что западина представляет собой денудационную форму, выработанную в покрове лёссовых отложений в результате локализованного выноса материала сверху в субаэральных условиях. По данным стратиграфии палеопочв установлено, что основной этап ее формирования пришелся на конец среднего плейстоцена. Авторы подвергают проверке существующие гипотезы образования крупно-западинного рельефа восточного Приазовья. Показано, что ранее предложенные механизмы формирования западин (термокарстовый, эрозионно-суффозионный, просадочно-лёссовый, лиманно-озерный) не согласуются с фактическими данными по геолого-геоморфологическому строению “Червоной пади”. Выдвигается гипотеза олово-денудационного (дефляционного) происхождения крупных западин восточного Приазовья.

Ключевые слова: лёссовые равнины, замкнутые депрессии, палеопочвы, палеорельеф, плейстоцен, оловые процессы.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019485-96>

ВВЕДЕНИЕ

Междуречные пространства лёссовых равнин Приазовья осложнены крупными депрессиями – западинами. В литературе [1, 8, 10, 13, 14] и на топографических картах используются различные варианты наименования таких форм – западины, пади, падины, лиманы, поды. Их размеры – от нескольких км² до десятков км², а в редких случаях – сотен км². Форма – вытянутая, схожая с каплей или яйцом. Подавляющее большинство западин ориентировано длинной осью по азимуту север–северо-запад (ССЗ) [9].

Анализ литературы [7, 8, 11–13, 17] показал, что происхождение крупно-западинного рельефа не имеет на сегодняшний день однозначного объяснения. Ни одна из гипотез (палеотермокарстовая, эрозионно-суффозионная, просадочная, лиманно-озерная) не находит как полного подтверждения, так и окончательного опровержения. Такая неопределенность связана с недостаточной геолого-геоморфологической изученностью западинного рельефа и слабой обеспеченностью фактическими дан-

ными по их строению. Помимо происхождения нерешенной остается и проблема развития западин в будущем: имеют ли формы тенденцию к росту или же являются стабильными? Значение прогноза развития западинного рельефа обусловлено потенциальной угрозой снижения качества сельскохозяйственных земель в случае роста площади западин. Это связано с избыточным увлажнением и формированием в пределах днищ западин уплотненных и плохо дренируемых слитых почв [19].

Большие перспективы изучения геологического строения западин восточного Приазовья открываются благодаря интенсивной абразии берегов Азовского моря, вскрывающей строение отложений в береговых обрывах. На Ейском п-ве, где крупно-западинный рельеф выражен наиболее ярко, не менее трех западин рассечены берегом и имеют представительные геологические обнажения – “Воронцовская падь”, “Червоная падь” (далее ЧП) и “Урочище Маяк”.

В настоящей статье представлены результаты геолого-геоморфологических исследований

ЧП – одной из крупнейших западин восточного Приазовья, расположенной между городом Ейском и станцией Должанской (рис. 1). С целью установления механизмов ее образования и реконструкции этапов развития рельефа проведен анализ современной топографии и выполнено исследование геологического строения выбранной западины. На основе новых и ранее полученных [9] данных проведен критический анализ существующих гипотез образования крупно-западинного рельефа восточного Приазовья.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Камеральные исследования включали анализ картографических материалов и данных дистанционного зондирования Земли. Просмотр и обработка данных осуществлялась в свободно распространяемой ГИС QGIS. Основой для анализа топографии послужила цифровая модель рельефа (ЦМР) SRTM-3. Для нее заявлены следующие параметры [22]: пространственное разрешение примерно 60 м (с учетом широты территории), ошибка при вычислении координат – 8.8 м, абсолютная ошибка по высоте – 6.2 м, относительная ошибка по высоте – 8.7 м. С учетом значительных размеров изучаемых объектов, точность SRTM-3 полностью удовлетворяет целям настоящего исследования. С помощью ЦМР получены такие характеристики ЧП, как длина, ширина, площадь, глубина, крутизна поверхности, азимут ориентировки.

В ходе полевых работ выполнялась расчистка и описание геологического обнажения на разных участках берегового обрыва протяженностью 1.8 км. Верхняя часть разреза изучалась

в обнажении: стенка обрыва расчищалась, размечалась, производилось послойное литологическое описание, зарисовка и фотографирование. Выполнены две опорные расчистки (С2 – днище западины, С3 – плакор) с подробным изучением разреза, а также 15 маршрутных точек с кратким описанием стенки. Строение отложений, залегающих ниже уровня моря (у.м.) и в отдалении от обнажений (скважина С1) изучалось при помощи ручного бурения. В работе был использован бур ударно-забивного типа марки Eijkelkamp, имеющий полуцилиндрический пробоборник длиной 0.5 м и диаметром 30 мм. Высотная привязка расчисток и бровки берегового обрыва производилась с помощью оптического нивелира. Координатная привязка осуществлялась при помощи GPS навигатора Garmin (точность определения плановых координат около 3 м).

Реконструкция истории развития рельефа и условий осадконакопления в настоящей работе опирается на литологические и палеопочвенные индикаторы, распознаваемых в кернах скважин и стенках разрезов. К наиболее значимым литологическим индикаторам в изучаемых разрезах относятся механический состав, текстура (в том числе наличие и характер слоистости), включения и новообразования.

При палеогеоморфологических реконструкциях в лессовых областях большое значение имеет анализ палеопочв [5, 18, 24]. Особый интерес представляют палеопочвы, имеющие стратиграфическое значение, то есть те, которые являются устойчивыми геохронологическими реперами, распознаваемыми по набору морфологических признаков (почвенная структура, цвет, характер новообразований и др.) в удаленных друг от друга разрезах. К стратиграфически значимым в лёссовой серии Приазовья можно отнести плакорные ПК межледниковых и интерстадиальных этапов, формирование которых происходило в условиях продолжительной стабилизации поверхности (первые тысячи лет и более) и относительно высоких показателей тепло- и влагообеспеченности. Морфологические признаки для разновозрастных ПК Приазовья, а также диагностика палеопочв (т.е. отнесение их к тому или иному почвенному типу) были детально разработаны Т.Д. Морозовой и А.А. Величко [15, 26, 27]. Они предложили [3, 4, 6, 30] педостратиграфическую схему для Доно-Азовского региона, которая базируется на комплексе данных: соотношении лёссово-почвенной серии с подстилающими лиманно-аллювиальными осадками известного возраста, палеофаунистических определений, палеомагнитных данных, а также результатах радиоуглеродного и ОСЛ датирования [20, 21]. Согласно этой схеме, основные фазы формирования палеопочв и ПК соотносятся

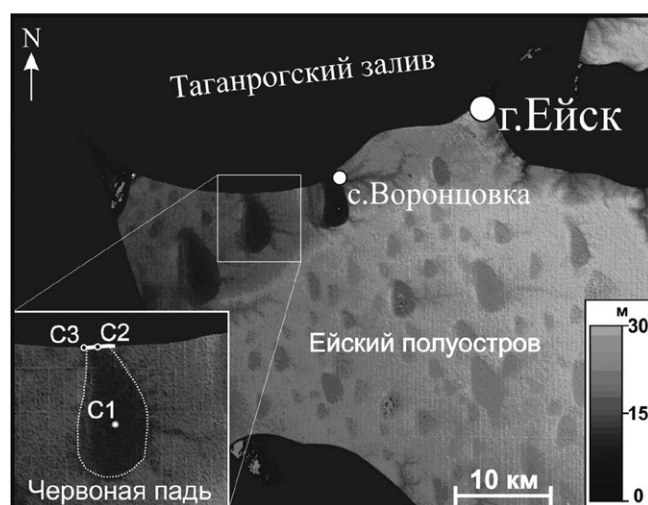


Рис. 1. “Червоная падь” на цифровой модели рельефа SRTM-3. На врезке: белая сплошная линия – обследованный участок берегового обнажения, точки – расчистки обнажения и скважины.

со следующими термохронами неоплейстоцена и морскими изотопными стадиями [25]: брянская палеопочва — брянский интерстадиал, МИС 3, 57–29 тыс. л.н.; мезинский ПК — микулинское межледниковье—ранне валдайский интерстадиал, МИС 5с–5е, ~130–96 тыс. л.н.; каменный ПК — каменское межледниковье, МИС 7, ~191–243 тыс. л.н.; инжавинский ПК — лихвинское межледниковье, МИС 9, ~300–337 тыс. л.н.; воронский ПК — мучкапское межледниковье, МИС 13–15, ~478–563 тыс. л.н.; ржаксинская палеопочва, МИС 17, ~676–712 тыс. л.н.; балашовская палеопочва, МИС 19, ~761–790 тыс. л.н. Опираясь на указанные построения, нами проведена идентификация палеопочв в расчистках и ядрах буровых скважин.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Морфологическая характеристика

ЧП (N46.601389°, E37.966667°) расположена в северо-западной части Ейского п-ва в 12 км к востоку от ст. Должанская. Западина имеет вытянутую с юга на север (азимут 350°) каплевидную форму, причем “заостренная” северная оконечность пади частично срезана обрывистым берегом Таганрогского залива. Это одна из крупнейших западин восточного Приазовья. Ее площадь 16 км², глубина — 8–10 м, протяженность — 6.4 км, в наиболее широкой части падь имеет размах 3.4 км. Плоское субгоризонтальное днище западины расположено на высоте 4–5 м над у.м. Фоновые высоты поверхности междуречья, в которую вдается западина, составляют 13–15 м над у.м. Склоны несимметричны. Восточный склон — прямой, относительно короткий и имеет падение в среднем 4 м на 100 м, что соответствует крутизне –2.3°. Южный склон вогнутый и имеет среднюю крутизну 2.1°. Западный склон имеет ступенчатую форму профиля: ступень высотой 4–5 м над днищем и шириной 300–500 м. Выпуклый профиль ступени делает ее похожей на гряду. Она вытянута вдоль западного склона, и схожа с грядами западного борта “Воронцовской пади” [9].

В ЧП с разных направлений впадает 13 ложбин-притоков, которые образуют своеобразный радиально-центростремительный плановый рисунок сети малых эрозионных форм. При ширине в сотни метров глубина ложбин составляет всего лишь первые метры, что делает их слабо заметными на местности. Протяженность их колеблется от 0.5 до 3.0 км. Причем наиболее длинные формы приурочены к восточному борту, что соответствует общему слабому наклону фоновой поверхности междуречья с востока на запад.

ЧП, как и большинство других западин восточного Приазовья, слабо выражена в рельефе на местности. Стоя в ее центре, трудно сразу понять, что находишься внутри отрицательной формы рельефа. При этом ЧП хорошо различима на космических снимках, топографических картах и цифровых моделях рельефа. Такой эффект обусловлен огромной разницей плановых размеров ЧП относительно ее глубины (на несколько порядков). Наличие западины не сказывается на размещении объектов инфраструктуры (дорог, ферм и пр.) и границ полей. Вместе с тем центральная часть днища ЧП, ввиду повышенной влажности почвы, менее пригодна для выращивания культур и возделывается не каждый год. Периодически возникающая залежь в днище ЧП прослеживается по разнице фототона на архивных снимках *Landsat* (с 1984 г.) и подтверждается полевыми наблюдениями за последние 5 лет.

Геологическое строение

Разрез С3 (рис. 2, 4) характеризует строение фоновой междуречной поверхности высотой 13.1 м над у.м. Ниже приводятся основные черты строения разреза С3, где повышенное внимание уделено рассмотрению погребенных ПК, на основании которых выполнена корреляция с педостратиграфической схемой А.А. Величко.

В разрезе С3 с поверхности залегает чернозем южный (0.0–2.0 м) с гумусовым горизонтом мощностью 0.9 м. Под современной почвой, до глубины 3.5 м, залегает слой лёсса, в верхней части которого наблюдаются современные кроновины и карбонатные конкреции. По стратиграфической позиции лёсс соотносится с валдайской ледниковой эпохой.

В строении ПК 1 (3.5–5.8 м), залегающим под валдайским лёссом, четко выделяются два частично наложенных друг на друга почвенных профиля. Гумусовый горизонт верхней палеопочвы имеет буроватый оттенок и сильно разбит трещинами, которые заполнены светло-палевым материалом из горизонта валдайского лёсса. Карбонатный горизонт верхней палеопочвы, где карбонаты представлены, в основном, в виде пленок и корок по трещинам и порам, накладывается на гумусовый горизонт нижней палеопочвы. Последний заметно темнее, чем у верхней палеопочвы, он имеет насыщенный серо-бурый цвет. Карбонатный горизонт нижней палеопочвы содержит карбонатные новообразования в виде плотных конкреций, схожих по своей структуре с конкрециями современного чернозема. На основании стратиграфической позиции и морфологических признаков данный ПК идентифицируется нами как мезинский с двумя фазами почвообразования: поздняя—крутицкая (МИС 5с) и ранняя—салынская (МИС 5е).

ПК 2 (5.8–8.0 м) в стенке обнажения выражен заметно хуже по сравнению с ПК 1. Он залегает непосредственно под ПК 1 (без разделяющего лессового прослоя), из-за чего ПК 2 достаточно трудно дифференцировать в нерасчищенной стенке. Гумусовый горизонт ПК 2 имеет светло-бурый оттенок. Его кровля разбита трещинами, разделяя гумусовый горизонт на субвертикальные столбчатые отдельности. Нижняя часть ПК 2 представлена карбонатным горизонтом с новообразованиями в виде мелких конкреций. ПК 2 идентифицируется нами как каменский (МИС 7).

ПК 3 (9.0–11.3 м) отделен от ПК 2 слоем лёсса, слабо переработанного почвенными процессами. Верхняя часть ПК 3 представлена ярко выраженным темно-серым (до черного) гумусовым горизонтом, который разбит глубокими субвертикальными трещинами с заполнением из вышележащего палевого лёсса. Светлые трещины контрастируют на фоне гумусированного материала и придают ПК 3 специфический облик, за который его иногда называют “расклиненная почва” [16]. Нижняя часть ПК 3 представлена растянутым по вертикали карбонатным горизонтом, насыщенным крупными карбонатными конкрециями. ПК 3 идентифицирован нами как инжавинский (МИС 9).

В строении ПК 4 (11.3–15.0 м) прослеживаются как минимум две наложенные друг на друга палеопочвы. Верхняя имеет мощный серовато-темно-бурый гумусовый горизонт, разбитый

глубокими трещинами, которые заполнены материалом из вышележащего слоя. Карбонатный горизонт верхней палеопочвы вскрыт в скважине (так как залегает ниже у.м.) и представлен пятнистым буроватым суглинком с крупными и плотными карбонатными конкрециями в виде продолговатых нодулей. Нижняя палеопочва ПК 4 – серовато-темно-бурый гумусовый горизонт до глубины 15.0 м, плавно переходит в неоднородно-окрашенный буровато-серый суглинок, по-видимому, субэриального происхождения. ПК 4 идентифицирован нами как воронский педокомплекс (МИС 13–15).

Ниже отметки 17.6 м (примерно 4 м ниже у.м.) залегает толща отложений, отличающаяся по механическому составу и текстуре от вышележащих лёссовидных суглинков. Осадок здесь представлен ритмичным тонким переслаиванием суглинка и супеси с мощностью отдельных прослоев 3–5 мм. Между ними фиксируются резкие контакты. Средняя крупность частиц с глубиной возрастает, а с 18.6 м увеличивается доля песка. Слоистая толща вскрыта скважиной до глубины 20.4 м (от бровки обрыва).

В разрезе С2 (рис. 3 и 4) вскрыто строение северной части днища ЧП. Бровка обрыва на данном участке имеет высоту 7.5 м над у.м. Верхняя часть разреза С2 (до 3.0 м), включающая чернозем южный и валдайский лёсс, близка по строению к верхней части С3. Ниже, в интервале глубин 3.0–6.7 м, залегает мощный ПК 1, имеющий в строении своего профиля растяну-

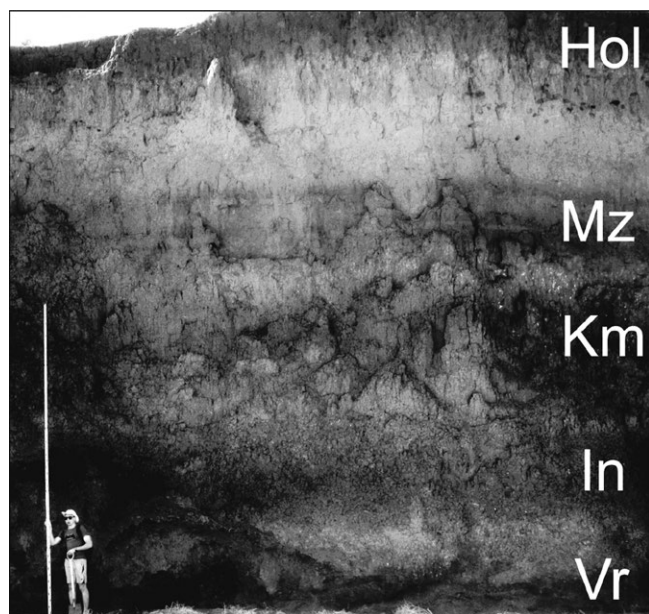


Рис. 2. Фотография стенки берегового обрыва в пределах междуречья к западу от “Червоной пади”. Соответствует расчистке С3. Индексы педокомплексов: Hol – голоценовый, Mz – мезинский, Km – каменский, In – инжавинский, Vr – воронский.

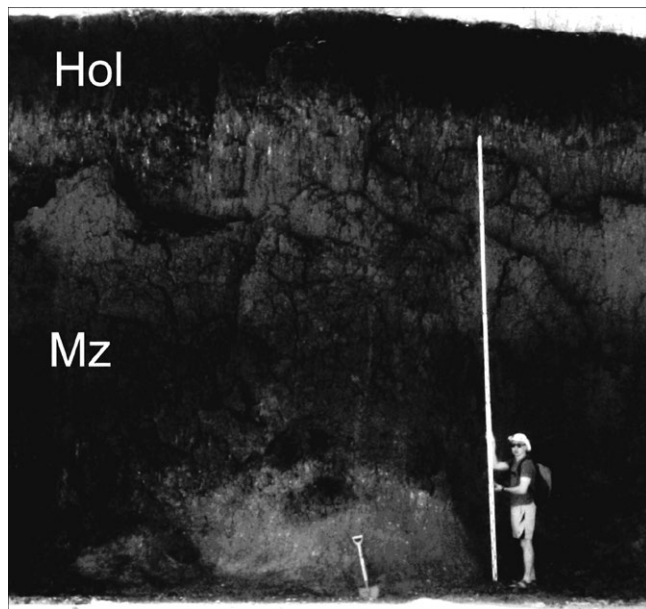


Рис. 3. Фотография стенки берегового обрыва в пределах днища “Червоной пади”. Соответствует расчистке С2. Индексы педокомплексов: Hol – голоценовый, Mz – мезинский.

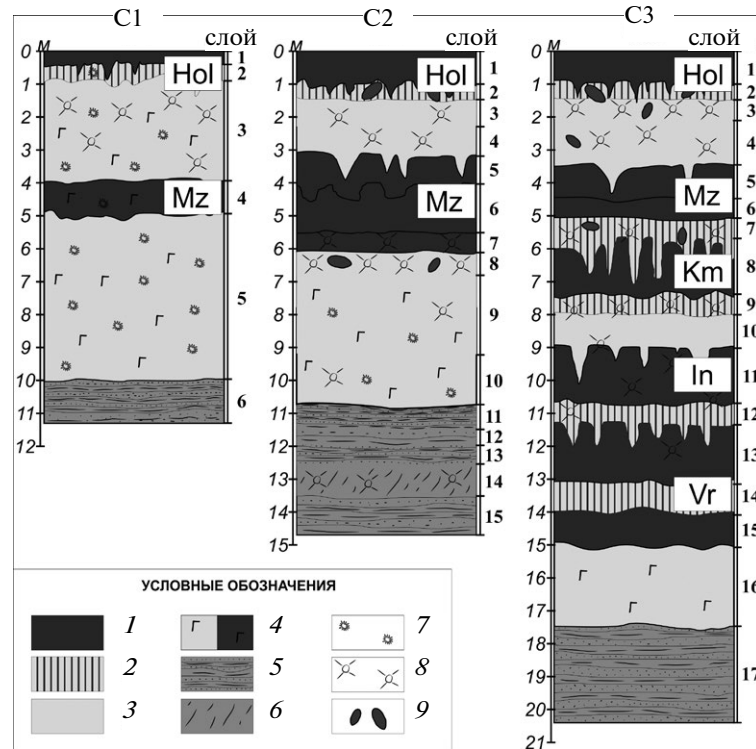


Рис. 4. Литологические колонки.

Условные обозначения: 1 – гумусовые горизонты почв и палеопочв; 2 – карбонатные горизонты почв и палеопочв; 3 – лёссы и лёссовидные суглинки; 4 – лёссовидные суглинки (слева) и палеопочвы (справа) с признаками гидроморфизма; 5 – ритмично-слоистая толща субаквальных отложений (переслаивание суглинков и супесей); 6 – проработанные почвенными процессами субаквальные отложения; 7 – железо-марганцевые новообразования; 8 – карбонатные новообразования; 9 – кротовины. Индексы педокомплексов: Mz – мезинский, Km – каменский, In – инжавинский, Vr – воронский.

тый (мощностью 2.4 м) серовато-темно-бурый гумусовый горизонт, переходный горизонт АВ и карбонатный горизонт, насыщенный крупными карбонатными конкрециями. ПК 1 коррелирует с мезинским ПК, идентифицированным в разрезе С3, на основании непрерывной визуальной фиксации в стенке обнажения. В отличие от плакорного варианта, мезинский ПК в разрезе северной части днища ЧП сильно растянут и не обнаруживает выраженной двучленности. Такое растянутое строение профиля, вероятно, связано с транзитно-аккумулятивной позицией разреза С2 в рельефе, предполагающей дополнительное поступление наносов с вышележащего склона.

В интервале глубин 6.7–10.7 м вскрываются разности неслоистого среднего суглинка желтовато-бурого цвета, местами имеющего сизоватый оттенок, пятна гумуса, редкие карбонатные новообразования и включения Fe–Mn конкреций. При этом полноценные почвенные профили с гумусовыми горизонтами не выражены в рассматриваемом интервале разреза. По своим характеристикам описанные отложения отнесены нами к лёссовидному суглинку с локальными признаками гидроморфизма, с одной стороны,

и семиаридного почвообразования – с другой. Такое совмещение в одном интервале разреза противоположных по отношению к гидрологическому режиму признаков, при отсутствии гумусово-аккумулятивных горизонтов палеопочв, дает основание предполагать неполноту геологической летописи, связанной с эрозийным воздействием.

На глубине 10.7 м (около 3.5 м ниже у.м.) вскрыта кровля ритмично слоистой толщи отложений аналогичная нижней части разреза С3. На глубинах 12.55–13.5 м обнаружен суглинок, проработанный почвенными процессами и насыщенный карбонатными новообразованиями в виде плотных конкреций, покрытых Fe–Mn кутанами. Ниже, до глубины 14.7 м, продолжают ритмично-слоистые супесчано-суглинистые отложения.

Маршрутные исследования вдоль геологического обнажения

В результате маршрутных исследований выявлено стратиграфическое несогласие в строении берегового разреза (рис. 5). В пределах междуречья (С3) обнаруживается полная

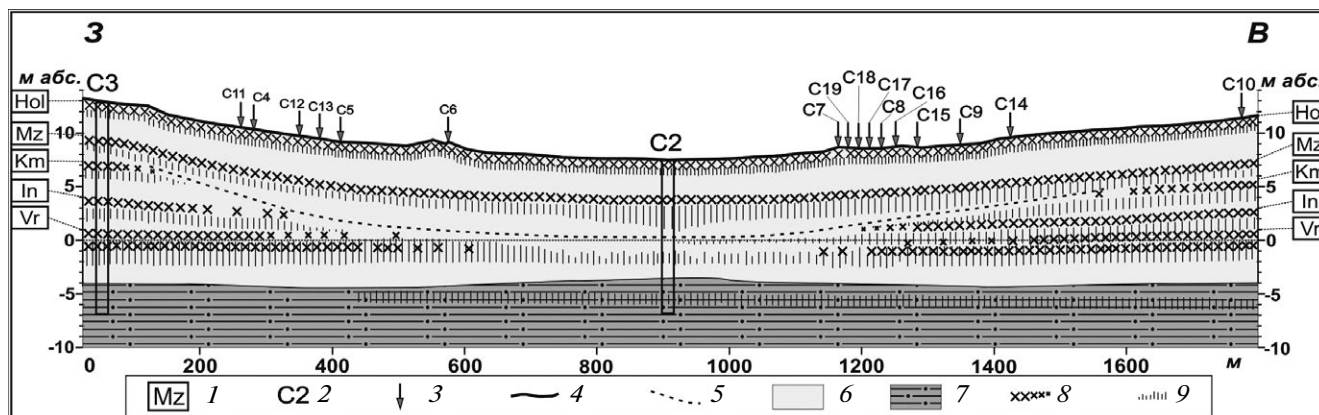


Рис. 5. Геологический разрез на обследованный участок берегового обнажения.

1 – Индексы педокомплексов: Hol – голоценовый, Mz – мезинский, Km – каменский, In – инжавинский, Vr – воронский; 2 – опорные расчистки; 3 – точки маршрутного описания; 4 – бровка обнажения; 5 – денудационная поверхность; 6 – лёсс и лёссовидные суглинки субаэрального происхождения; 7 – ритмично-слоистая толща суглинков и супесей субкавального происхождения; 8 – гумусовые горизонты почв и палеопочв; 9 – карбонатные горизонты почв и палеопочв.

последовательность ПК, состоящая из четырех уровней почвообразования. А в днище западины (C2) вскрыт только один верхний уровень – мезинский ПК. Педокомплексы более древние, чем мезинский ПК, поочередно выпадают из разреза (выклиниваются) между точками C3 и C2 и точками C2 и C10. Причем выклинивание ПК не сопровождается резкими контактами. При движении вдоль обнажения, от краев западины к ее оси, гумусовые горизонты плавно “растворяются”, замещаясь материалом из вышележащего слоя. Выявлено, что замещение происходит путем постепенного увеличения размеров и густоты трещин, разбивающих ПК сверху.

Скважина C1 (рис. 4) пробурена в центральной части днища ЧП, где высотные отметки колеблются в интервале 4.5–5.0 м над у.м. Верхняя часть разреза (до глубины 4.1 м от поверхности днища) представлена легким лёссовидным суглинком, имеющим гидроморфный облик. В интервале 4.1–5.25 м обнаружена палеопочва, в строении профиля которой выражены гумусовый и глеевый горизонты. Гумусовый горизонт представлен бледным серовато-бурым суглинком с сизоватыми пятнами и Fe–Mn конкрециями. Вскрытая палеопочва определена нами как гидроморфная разность мезинского ПК.

В интервале глубин 5.25–10.1 м залегает легкий желтовато-серый суглинок с пятнами гумусированного материала, железистыми примазками и марганцевыми конкрециями. Слой интерпретируется нами как лёссовидный суглинок субаэрального происхождения с признаками гидроморфизма. Выраженных палеопочв в слое не встречено. В нижней части C1, глубже 10.1 м (примерно 5.0 м ниже у.м.), вскрыта рит-

мично-слоистая толща, состоящая из чередования тонких супесчаных и суглинистых прослоев.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Интерпретация фактических данных

Морфологические характеристики ЧП (плановая форма, площадь, глубина, ориентировка длинной оси, крутизна склонов, форма профиля) позволяют говорить о том, что данная западина обладает характерными признаками объектов крупнозападинного комплекса рельефа восточного Приазовья [9]:

- Крупные западины распространены только в пределах субгоризонтальных или слабонаклонных водораздельных пространств, покрытых лёссовым чехлом.
- Имеют вытянутую каплевидную или яйцевидную плановую форму, плавные (без фестонов) закругленные контуры, плоское днище и пологие склоны. Острый конец западин направлен на север, а тупой – на юг.
- Характерна высокая согласованность ориентировки длинных осей западин: около 95% форм ориентировано на ССЗ.
- Являются обособленными замкнутыми формами.
- Малые эрозионные формы, впадающие в западины, представлены балками и ложбинами, с радиально-центростремительным плановым рисунком эрозионной сети.

Все это дает основание предполагать общую с другими западинами природу ЧП. Вместе с тем она принадлежит к особой группе крупнейших западин, для которых характерно нали-

чие продольных гряд у западного борта, наряду с “Воронцовской падью”, “Падью Крикунова”, “Кугейской падью” и “Лиманом Большим”. Это накладывает определенные ограничения, но в целом все же позволяет рассматривать ЧП в качестве модельного объекта для исследования механизмов и времени образования крупных западин восточного Приазовья.

Результаты бурения позволили установить, что в рассматриваемом районе лёссовый чехол повсеместно подстилается слоистыми супесчано-суглинистыми отложениями. Для этой толщи характерна ритмичная тонкая (1–10 мм) горизонтальная слоистость с четкими контактами между прослоями. Абсолютные отметки кровли слоистой толщи в скважинах, удаленных друг от друга даже на несколько километров, очень близки между собой: С1 – 5.0 м ниже у.м., С2 – 3.5 м ниже у.м., С3 – 4.0 м ниже у.м. Это говорит о субгоризонтальном и, возможно, слабоволнистом характере залегания кровли слоистых отложений. Все эти признаки указывают на субаквальный генезис слоистой толщи, которая могла быть сформирована в относительно спокойных мелководных условиях лагун или эстуариев. Таким образом, рельеф кровли субаквальных отложений не обнаруживает общих черт с современным западным рельефом. Это указывает на отсутствие какой-либо связи происхождения западин с процессами формирования субаквальных слоистых отложений, подстилающих лёссовый покров.

Наиболее значимые для генетической интерпретации результаты получены в ходе изучения берегового обнажения, вскрывающего строение ЧП в поперечном сечении. Установлена дифференциация лёссового чехла по мощности и числу погребенных ПК. Так, на междуречье мощность лёссового чехла составляет 17 м, и в разрезе зафиксировано четыре погребенные ПК – мезинский, каменский, инжавинский, воронский. В днище западины мощность лёссового чехла составляет 10 м, и в разрезе зафиксирован только один ПК – мезинский. Такое строение разреза прямо указывает на наличие стратиграфического несогласия в днище западины, что можно объяснить только локализованной денудацией части лёссовой толщи.

При обследовании берегового обнажения выявлено последовательное выклинивание каменского, инжавинского и воронского ПК в направлении от междуречья к днищу западины. Оно не сопровождается наличием резких эрозионных границ, срезающих палеопочвы. При движении к центру западины обнаружено плавное истончение гумусовых горизонтов палеопочв вместе с их замещением на светлый лёссовый материал в результате увеличения густоты палео-трещинной сети. Наблюдаемая картина указывает

на процессы деградации палеопочв в результате постепенного выноса материала в субэриальных условиях при существенной роли растрескивания поверхности и отсутствии следов водной эрозии. Таким образом, зафиксированные несогласия и характер контактов в разрезе ЧП позволяют утверждать, что западина представляет собой денудационную форму, образованную локализованным выносом материала сверху в субэриальных условиях.

Верхний (мезинский) ПК зафиксирован на всем протяжении разреза: в пределах междуречья, бортов и днища. Он залегает с угловым несогласием по отношению к трем нижним ПК, но в то же время согласуется с рельефом дневной поверхности. Это указывает на то, что западина уже была сформирована к началу микулинского межледниковья (~130 тыс. л.н.). Этот вывод не противоречит представлению о плейстоценовом возрасте западин, основанном на анализе структуры сети балок и ложбин [9]. Согласно недавним исследованиям [24], в Приазовье такие формы являются реликтом позднеплейстоценовой овражно-балочной сети.

Критический анализ гипотез происхождения западин

Большинство исследователей, освещавших в разные годы проблему происхождения крупных западин восточного Приазовья, придерживались просадочной гипотезы образования этих форм в различных ее вариантах [1, 7, 8, 11–13, 17]. В общем виде образование замкнутых депрессий на данной территории связывалось с особой пористой структурой лёссовых пород и их способностью уменьшаться в объеме при намокании и приложении нагрузки. Однако многие авторы, соглашаясь с ведущей ролью просадочного механизма, склонялись к полигенетической природе западин. По представлениям Н.И. Кочетова [12] формирование крупных западин (подов) – процесс поэтапный. На первом этапе, на участке с повышенной влажностью почвы образуется небольшое понижение, называемое степным блюдцем. Затем депрессия, в которой скапливается и застаивается вода, разрастается за счет дополнительного уплотнения лёссовых пород, эрозии, осыпания, обваливания, оплывания и других процессов на берегах образовавшегося водоема. Западины восточного Приазовья, согласно этим представлениям, в настоящее время сохраняют тенденцию к своему расширению и, вместе с этим, происходит возникновение новых западин.

В отдельных работах говорится о том, что просадочный механизм может быть дополнен суффозионными процессами в условиях, когда лёссовая толща подстилается фильтрующими

воду породами (песками или известняками). Так Т.С. Кавеев [10], происхождение западин объяснял растворением солей в лёссовой толще и их подземным выносом с грунтовыми водами, что в свою очередь приводит к уплотнению и просадке лёссового покрова. Локализация же западин, согласно [10], привязывается к “ложбинам стока”, где повышенная влажность должна стимулировать миграцию растворимых солей и глинистых частиц.

Слабость “просадочных” гипотез заключается в недоучете реальной формы западин. Просадочность никак не объясняет каплевидность плановой формы западин и их линейную ориентированность. Кроме того, наблюдаемое в разрезах геологическое строение не соотносится с теоретическими ожиданиями в рамках этих гипотез. Так, стратиграфическое несогласие в днище ЧП, где из разреза выклиниваются три нижних педокомплекса, проблематично объяснить с позиции просадочной гипотезы. Субгоризонтальное залегание подошвы лёссовых отложений в районе ЧП противоречит ожидаемому ее положению в условиях протекания суффозионных или карстовых процессов. При участии таких процессов вся толща, залегающая над фильтрующими породами, должна быть деформирована (прогнута). Но этого не наблюдается – мы видим субгоризонтальное залегание кровли субаквальных слоистых отложений, подстилающих лёссовую толщу.

И.И. Молодых [14], работая на междуречье Днепра и Молочной, изучал украинские поды. Эти многочисленные крупные депрессии имеют морфологическое сходство с западинами восточного Приазовья. Ведущую роль в образовании степных блюдец – начального этапа развития пода – он отводил термокарсту холодных эпох плейстоцена. Образование таких первичных западин связывалось с вытравливанием повторно-жильных и сегрегационных льдов. Рост депрессии и формирование крупного пода происходит по мере разрастания и слияния степных блюдец и объясняется уже просадочным механизмом. Термокарстовая гипотеза формирования первичных западин, описанная И.И. Молодых [14], предполагает существование в прошлом на рассматриваемой территории области сплошной многолетней мерзлоты с высокольдистыми грунтами и жильными льдами. Следы существования этой области должны быть криогенные деформации в осадочной толще (в том числе клиновидные псевдоморфозы по повторно-жильным льдам). Положение южной границы области многолетней мерзлоты в плейстоцене – вопрос дискуссионный. Согласно [2], южная граница многолетней мерзлоты в позднем валдае (МИС 2 – наиболее холодное время

в плейстоцене) проходила севернее современного Азовского моря. Позднее на основании палеотемпературного моделирования [29] для восточного Приазовья была реконструирована зона островной мерзлоты. Дискуссию вокруг криогенеза вызывает также наблюдаемая густая “расклинность” палеопочв. Чаще всего это явление связывают с древними трещинами усыхания [2], которые можно наблюдать здесь и у современных почв. Существует и другая версия [5], объясняющая “расклинность” процессами глубокого сезонного промерзания. Однако крупных регулярных клиновидных деформаций, однозначно относимых к криогенным образованиям зоны многолетней мерзлоты, в разрезах Приазовья выявлено не было. Все это указывает на отсутствие здесь в плейстоцене сплошной многолетней мерзлоты с высокольдистыми грунтами и жильными льдами, а, следовательно, и условий для интенсивных термокарстовых процессов.

В.П. Булавин и А.В. Клещенков [1, 23] придерживались лиманно-озерной гипотезы, согласно которой западины являются реликтами озер или мелководных морских заливов – лиманов. В качестве доводов приводится сопоставление западин с плавнями Кубанской низменности, которые имеют многочисленные заливы, лиманы и мелководные озера. Эти условия, по мнению А.В. Клещенкова [23], могут иллюстрировать начальный этап формирования западин восточного Приазовья. В.П. Булавин [1] полагал, что крупные западины восточного Приазовья – это реликтовые формы пльвиальной (т.е. влажной) эпохи. Как аргумент в пользу существования озер на месте современных западин, он приводит серый цвет и плотное сложение осадочных отложений (озерных, по его мнению) в разрезе днища “Воронцовской пади”. Примечательно, что собственно сам механизм формирования депрессий в представленных работах никак не объясняется.

Продолжительное существование мелководных полуизолированных морских заливов или озер противоречит как морфологии западинного рельефа, так и геологическому строению. Все западины – замкнутые изолированные формы, они не имеют естественных каналов или соустьев, соединяющих соседние западины между собой, что следовало бы ожидать в условиях прибрежных мелководий. В днище ЧП (сходной по размерам с Воронцовской) до глубины 10.1 м вскрывается серый неслоистый лёссовидный суглинок, вмещающий палеопочву. Комплекс этих признаков указывает на его субаэральный генезис. Серый цвет материала обусловлен закисной обстановкой в условиях высокого уровня грунтовых вод в днище западины и не связан с механизмом осадконакопления. То есть признаков продол-

жительного существования водоема в разрезе днища ЧП обнаружено не было. Из вышесказанного следует, что лиманно-озерная гипотеза также не подтверждается.

Дефляционная гипотеза

Рассмотрев предлагавшиеся ранее гипотезы происхождения крупно-западного рельефа восточного Приазовья, приходится констатировать, что ни одна из них полностью не согласуется с наблюдаемыми особенностями морфологии западин и геологическим строением ЧП. Вместе с тем, новые геологические данные позволили сформулировать ряд важных (в генетическом отношении) следствий. Так, западины – это формы денудационные, выработанные в субаэральном состоянии в толще лессовых отложений направленным потоком вещества сверху. С учетом каплевидной формы и линейной ориентированности западин единственной правдоподобной гипотезой представляется эоловая. Ветровая эрозия (дефляция) – самый непротиворечивый механизм, при имеющемся наборе фактов. Однако, на данном этапе исследований, трудно реконструировать конкретную механику дефляционного процесса, позволяющую понять причины локализации западин, корректно объяснить их форму и определить направление и силу ветра. Для таких построений требуется детальное исследование геологического строения целого ряда западин разных размеров и формы, массовое применение датирования отложений, привлечение моделирования ветровых потоков и поиск аналогичных форм на лессовых равнинах Земли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены новые данные по геологическому строению и морфологии ЧП – одной из крупнейших западин восточного Приазовья. Опираясь на эти данные, можно сформулировать ряд генетически значимых следствий:

– Происхождение ЧП не связано с процессами формирования аллювиально-морских отложений, подстилающих лёссовый покров.

– ЧП выработана в лёссовых отложениях, и ее происхождение обусловлено процессами преобразования лёссового покрова.

– Формирование ЧП происходило в субаэральном состоянии с участием направленного потока вещества.

– ЧП представляет собой денудационную форму, образующую локализованным сносом материала с поверхности.

Также по положению погребенных педокомплексов в разрезе ЧП удалось оценить возраст

этой формы. Согласованность залегания мезинского ПК с рельефом дневной поверхности указывает на то, что в своих главных чертах ЧП была сформирована уже к началу микулинского межледникового (около 130 тыс. л.н.). На древность западины указывает также морфология обрамляющих малых эрозионных форм, по сути, реликтовых. Все это говорит об отсутствии угрозы роста площади западины и связанной с этим деградации земель в ближайшем будущем.

Морфологический анализ ЧП показал типичность ее формы для объектов крупнозападного комплекса восточного Приазовья. Это позволяет (с определенным допущением) рассматривать ЧП как модельный объект и распространять полученные выводы на весь комплекс форм.

Новые данные позволили провести критический анализ представленных в литературе гипотез происхождения западин. Анализ показал несостоятельность предлагавшихся ранее механизмов формирования западин: просадочного, суффозионного, лиманно-озерного, термокарстового. Все они сталкиваются с неразрешимыми противоречиями при фактологической верификации. В результате предложен дефляционный механизм, который не противоречит имеющимся фактическим данным по строению западин и позволяет объяснить их свойства, в частности, каплевидную форму и морфологическую ориентированность.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта РФФИ №16-35-60069, геодезические работы – в рамках проекта РФФИ №16-35-00345, а камеральная обработка – по теме госзадания №0148-2019-0005.

FUNDING

The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 16-35-60069 (geological and geomorphological surveys), by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 16-35-00345 (geodetic works), within the framework of the state-ordered research theme of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, no. 0148-2019-0005 (cameral works).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булавин Б.П. Реликты Плувиальной эпохи в Причерноморье // Рельеф и ландшафты / отв. ред. Н.А. Гвоздецкий, А.И. Спиридонов. М.: Изд. Моск. ун-та, 1977. С. 172–173.
2. Величко А.А. Природный процесс в плейстоцене // отв. ред. И.П. Герасимов. М.: Наука, 1973. 256 с.

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. 429. № 6. С. 1364–1368.
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. № 2. С. 999–1002.
5. *Величко А.А., Константинов Е.А.* Опыт реконструкции плейстоценовой морфодинамики плакоров северного Приазовья (ключевой участок Мелекино, Донецкая область Украины) // Геоморфология. 2013. № 3. С. 51–61.
6. *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. 321–333.
7. *Востриков Н.Г.* Просадочные процессы и их формы рельефа на территории Прикубанской равнины: особенности и распространение. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Краснодар, 2012. 24 с.
8. *Денисов Н.Я.* О природе просадочных явлений в лессовидных суглинках // М.: Гос. Изд-во "Советская наука", 1946. 176 с.
9. *Захаров А.Л., Константинов Е.А.* Морфология западного рельефа Восточного Приазовья // Геоморфологи. Новое поколение / отв. ред. М.Е.Кладовщикова, Э.А. Лихачева. М.: М-ПРЕСС, 2013. Вып. 2. С. 5–13.
10. *Кавеев Т.С.* Лёссовые территории орошения Ростовской области // Тр. Комис. по изуч. четверт. периода / Т. XIII. М.: Изд. АН СССР, 1957. С. 263–270.
11. *Канонников А.М.* Природа Кубани и Причерноморья // Краснодарское книжное изд., 1977. 112 с.
12. *Кочетов Н.И.* Просадочные формы рельефа в Западном Предкавказье // Геоморфология. 1978. № 4. С. 73–75.
13. *Левандовский П.А.* Геоморфология и геоморфологическое районирование Приазовской низменности // Уч. зап. Краснодарского гос. пед. ин-та. Естеств.-геог. ф-т. Вып. 17. Краснодар: Изд-во Советская Кубань, 1956. С. 19–32.
14. *Молодых И.И.* Инженерно-геологические основы изучения территорий регионального распространения западных форм рельефа украинской части русской платформы в связи с мелиоративным строительством. Автореф. дисс. ... д-ра геол.-мин. наук. Киев: АН УССР, 1982. 207 с.
15. *Морозова Т.Д.* Об эволюции процессов почвообразования на Русской равнине в четвертичное время // Почвоведение. 1972. №7. С. 3–10.
16. *Разрез новейших отложений северо-восточного Приазовья / под ред. академика К.К. Маркова.* М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. 159 с.
17. *Сафронов И.Н.* Геоморфология западного и центрального Предкавказья // Вопросы геогр. С-З Кавказа и Предкавказья. Краснодар: Изд-во Кубанского гос. ун-та, 1973. С. 4–39.
18. *Соколов И.А., Таргульян В.О.* Взаимодействие почвы и среды: почва—память и почва—момент // Изучение и освоение природной среды. М.: Наука, 1976. С. 150–164.
19. *Хитров Н.Б., Власенко В.П., Рухович Д.И., Брызжев А.В., Калинина Н.В., Роговнева Л.В.* География вертисолей и вертиковых почв Кубано-Приазовской низменности // Почвоведение. 2015. № 7. С. 671–688.
20. *Chen J., Yang T., Matishov G.G., Velichko A.A., Zeng B., He Y., Shi P.* Luminescence chronology and age model application for the upper part of the Chumbur-Kosa loess sequence in the Sea of Azov, Russia // J. of Mountain Sci. 2018. 15 (3). P. 504–518.
21. *Chen J., Yang T., Matishov G.G., Velichko A.A., Zeng B., He Y., Shi P., Fan Z., Titov V.V., Borisova O.K., Timireva S.N., Konstantinov E.A., Kononov Yu.M., Kurbanov R.N., Panin P.G., Chubarov I.G.* A luminescence dating study of loess deposits from the Beglitsa section in the Sea of Azov, Russia // Quat. Int. 2018. V. 478. P. 27–37.
22. *Farr G., Rosen A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D., Alsdorf D.* The Shuttle Radar Topography Mission // Rev. Geophys. 2007. 45. RG2004. doi:10.1029/2005RG000183
23. *Kleschenkov A.* The use of digital elevation model for study of the paleogeography of the Azov sea region // 2010 annual meeting INQUA-SEQS. Rostov-on-Don, 2010. P. 72–74.
24. *Konstantinov E.A., Velichko A.A., Kurbanov R.N., Zakharov A.L.* Middle to late pleistocene topography evolution of the north-eastern Azov region // Quat. Int. 2018. № 465. P. 72–84.
25. *Lisiecki L.E., Raymo M.E.* A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records // Paleoclimatology. 2005. 20. PA1003. doi:10.1029/2004PA001071
26. *Morozova T.D.* Identification of Paleosol Types And Their Applicability For Paleoclimatic Reconstructions // GeoJournal. 1995. V. 36. № 2–3. P. 199–205.
27. *Panin P.G., Timireva S.N., Morozova T.D., Kononov Yu.M., Velichko A.A.* Morphology and micromorphology of the loess-paleosol sequences in the south of the East European plain (MIS 1–MIS 17) // Catena. 2018. V. 168. P. 79–101. doi: 10.1016/j.catena.2018.01.032
28. *Tesakov A.S., Dodonov A.E., Titov V.V., Trubikhin V.M.* Plio-pleistocene geological record and small mammal faunas, eastern shore of the Azov Sea, Southern European Russia // Quat. Int. 2007. V. 160. № 1. P. 57–69.
29. *Vandenbergh J., Renssen H., Roche D.M., Goosse H., Velichko A.A., Gorbunov A., Levavasseur G.* Eurasian permafrost instability constrained by reduced sea-ice cover. Quat. Sci. Rev. 2012. № 34. P. 16–23. doi:10.1016/j.quascirev.2011.12.00

30. 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., Tesakov A.S. Progressively cooler, drier interglacials in southern Russia through the Quaternary: Evidence from the Sea of Azov region // *Quat. Int.* 2009. V. 198. № 1–2. P. 204–219.

REFERENCES

- Bulavin B.P. Pluvial era relics in the Black Sea region. In *Rel'ef i landshafty* [Relief and Landscapes]. Gvozdetsky N.A., Spiridonov A.I., Eds. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1977, pp. 172–173. (In Russ.).
- Velichko A.A. *Prirodnyiprotsess v pleistotsene* [The Natural Process in the Pleistocene]. Gerasimov I.P., Ed. Moscow: Nauka Publ., 1973. 256 p.
- Velichko A.A., Catto N., Tesakov A.S., Titov V.V., Morozova T.D., Semenov V.V., Timireva S.N. Structural specificity of pleistocene loess and soil formation of the southern Russian plain according to materials of Eastern Priazov'ie. *Dokl. Earth Sci.*, 2009, vol. 429, no. 1, pp. 1364–1368.
- Velichko A.A., Morozova T.D., Borisova O.K., Timireva S.N., Semenov V.V., Kononov Y.M., Konstantinov E.A., Kurbanov R.N., Titov V.V., Tesakov A.S. Development of the steppe zone in southern Russia based on the reconstruction from the loess-soil formation in the Don–Azov Region. *Dokl. Earth Sci.*, 2012, vol. 445, no. 2, pp. 999–1002.
- Velichko A.A., Konstantinov E.A. A tentative for a watershed morphodynamics reconstruction in the Northern Priazov'e (test site Melekino, Donetsk region, Ukraine). *Geomorfologiya*, 2013, no. 3, pp. 51–61. (In Russ.).
- Velichko A.A., Morozova T.D. Main features of soil formation during the Pleistocene on the East European Plain and their palaeogeographical interpretation. In *Evolyutsiya pochvy pochvennogo pokrova. Teoriya, raznoobrazie prirodnoi evolyutsii i antropogennykh transformatsii pochvy* [Evolution of Soils and Soil Cover. Theory, Diversity of Natural Evolution and Anthropogenic Transformations of Soils]. Kudiyarov V.N., Ivanov I.V., Eds. Moscow: GEOS Publ., 2015, pp. 321–323. (In Russ.).
- Vostrikov N.G. Subsidence processes and their landforms on the territory of Kuban plain: characteristics and distribution. *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Krasnodar: Kuban State Univ., 2012. 24 p.
- Denisov N.Ya. *O prirode prosadochnykh yavlenij v lessovidnyhsuglinkakh* [On the Nature of Subsidence Processes in Loess-like Loams]. Moscow: Sovetskaya Nauka Publ., 1946. 176 p.
- Zakharov A.L., Konstantinov E.A. Morphology of kettle terrain in the Eastern Azov region. In *Geomorfologi. Novoe pokolenie* [Geomorphologists. The New Generation]. Klavovshchikova M.E., Likhacheva E.A., Eds. Moscow: Media-PRESS Publ., 2013, 2nd ed., pp. 5–13. (In Russ.).
- Kaveev T.S. Loess of irrigation area of the Rostov region. *Tr. Komissii po Izuch. Chetvertichnogo Perioda*, 1957, vol. 13, pp. 263–270. (In Russ.).
- Kanonnikov A.M. *Priroda Kubani i Prichernomor'ya* [Nature of the Kuban Region and the Black Sea Area]. Krasnodar: Krasnodarskoe Knizhnoe Izd. Publ., 1977. 112 p.
- Kochetov N.I. The subsidence relief forms in the Western Ciscaucasia. *Geomorfologiya*, 1978, no. 4, pp. 73–75. (In Russ.).
- Levandovsky P.A. Geomorphology and geomorphologic zoning of the Azov Lowlands. *Uch. Zap. Krasnodarskogo Gos. Ped. Inst., Estestvenno-Geogr. Fakultet*, 1956, no. 17, pp. 19–32. (In Russ.).
- Molodykh I.I. The engineering-geological basis for studying the territories of the regional distribution of large depressions of the Ukrainian part of the Russian platform in connection with land reclamation. *Doctoral (Geol.-Min.) Dissertation*. Kiev: Acad. Sci. of the UkrSSR, 1982. 207 p.
- Morozova T.D. On the evolution of soil formation processes in the Russian Plain during the Quaternary. *Pochvovedenie*, 1972, no. 7, pp. 3–10. (In Russ.).
- Razrez noveishikh otlozheni i severo-vostochnogo Priazov'ya* [The Section of the Neogene-Quaternary Deposits of the Northeast Azov Sea Coast]. Markov K.K., Ed. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1976. 159 p.
- Safronov I.N. Geomorphology of the Western and Central Ciscaucasia. In *Vopr. geogr. S-Z Kavkaza i Predkavkaz'ya* [Geographical Problems of the Northwestern Caucasus and Ciscaucasia]. Krasnodar: Kubanskii Gos. Univ., 1973, pp. 4–39. (In Russ.).
- Sokolov I.A., Targul'yan V.O. Interaction of soil and environment: soil-memory and soil-moment. In *Izuch. iosvoenieprir. sredy* [Study and Development of Natural Environment]. Moscow: Nauka Publ., 1976, pp. 150–164. (In Russ.).
- Khitrov N.B., Rukhovich D.I., Bryzhev A.V., Kalinina N.V., Rogovneva L.V., Vlasenko V.P. The geography of Vertisols and Vertic soils in the Kuban Azov Lowland. *Eurasian Soil Sci.*, 2015, vol. 48, no. 7, pp. 671–688.
- Chen J., Yang T., Matishov G.G., Velichko A.A., Zeng B., He Y., Shi P. Luminescence chronology and age model application for the upper part of the Chumbur-Kosa loess sequence in the Sea of Azov, Russia. *J. Mt. Sci.*, 2018, vol. 15, no. 3, pp. 504–518.
- Chen J., Yang T., Matishov G.G., Velichko A.A., Zeng B., He Y., Shi P., Fan Z., Titov V.V., Borisova O.K., Timireva S.N., Konstantinov E.A., Kononov Yu.M., Kurbanov R.N., Panin P.G., Chubarov I.G. A luminescence dating study of loess deposits from the Beglitsa section in the Sea of Azov, Russia. *Quat. Int.*, 2018, vol. 478, pp. 27–37.
- Farr G., Rosen A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D., Alsdorf D. The Shuttle Radar Topography Mission. *Rev. Geophys.*, 2007, vol. 45, no. 2. doi 10.1029/2005RG000183
- Kleschenkov A. The use of digital elevation model for study of the paleogeography of the Azov sea region. In *Quat. Stratigraphy and Paleontology of the Southern Russia: Connections between Europe, Africa and Asia*. Rostov-on-Don, 2010, pp. 72–74.
- Konstantinov E.A., Velichko A.A., Kurbanov R.N., Zakharov A.L. Middle to late pleistocene topography

- evolution of the north-eastern Azov region. *Quat. Int.*, 2018, vol. 465, pp. 72–84.
25. Lisiecki L.E., Raymo M.E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $d^{18}O$ records. *Paleoceanography*, 2005, vol. 20, no. 1. doi10.1029/2004PA001071
 26. Morozova T.D. Identification of Paleosol types and their applicability for paleoclimatic reconstructions. *GeoJournal*, 1995, vol. 36, no. 2-3, pp. 199–205.
 27. Panin P.G., Timireva S.N., Morozova T.D., Kononov Yu.M., Velichko A.A. Morphology and micro-morphology of the loess-paleosol sequences in the south of the East European plain (MIS 1–MIS 17). *Catena*, 2018, vol.168, pp. 79-101. doi 10.1016/j.catena.2018.01.032
 28. Tesakov A.S., Dodonov A.E., Titov V.V., Trubikhin V.M. Plio-pleistocene geological record and small mammal faunas, eastern shore of the Azov Sea, Southern European Russia. *Quat. Int.*, 2007, vol. 160, no. 1, pp. 57–69.
 29. Vandenberghe J., Renssen H., Roche D.M., Goosse H., Velichko A. A., Gorbunov A., Levavasseur G. Eurasian permafrost instability constrained by reduced sea-ice cover. *Quat. Sci. Rev.*, 2012, 34, pp. 16–23.
 30. 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., Tesakov A.S. Progressively cooler, drier interglacials in southern Russia through the Quaternary: Evidence from the Sea of Azov region. *Quat. Int.*, 2009, vol. 198, 1-2, pp. 204–219.

Structure of Large Flat-Bottom Depressions on Loess Interfluves of Eastern Azov Region (on the Example of “Chervonaya Pad”)

A. L. Zakharov* and E.A. Konstantinov

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*e-mail: alzakharov@igras.ru

Received March 16, 2018; revised March 7, 2019; accepted April 4, 2019

Geological and geomorphological structure of the “Chervonaya Pad”, one of the largest orientated depressions of Eastern Azov region, was considered. The study is based on the results of the analysis of remote-sensing data and new geological data obtained during manual drilling and studying the coastal outcrops. Features of the morphological similarity between the neighboring large depressions and “Chervonaya Pad” was revealed. It is evidence of the unity of their origin. This allows us to consider “Chervonaya Pad” as a model object for research. The features of the geological structure and morphology of the “Chervonaya Pad” show that the depression is a denudation form developed in the cover of loess deposits as a result of the impact of airflow on the surface. According to the paleosol stratigraphy, it was revealed that the main stage of the formation of the depression was in the end of the Middle Pleistocene. Based on the material obtained, the authors verify the existing hypotheses of the formation of the large flat-bottom depression relief of the Eastern Azov region. It is revealed that the previously proposed mechanisms for the formation of large depressions (thermokarst, erosion-suffusion, loess subsidence, estuary-lake) do not consistent with the actual data on the geological-geomorphological structure of the “Chervonaya Pad”. The authors propose the hypothesis of the eolian-denudation (deflation) origin of large depressions of the Eastern Azov region.

Keywords: Loess plains, closed depressions, paleosols, paleo-relief, Pleistocene, aeolian processes.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019485-96>