

УДК 551.435.14(470.45)

МОРФОЛОГИЯ И СТРОЕНИЕ ДНИЩ ДОЛИН СТЕПНЫХ РЕК С ЧЁТКОВИДНЫМИ РУСЛАМИ (НА ПРИМЕРЕ РЕК КАРДАИЛ И КУПАВА, ХОПЁРСКО-БУЗУЛУКСКАЯ НИЗМЕННОСТЬ)[#]

© 2025 г. А. М. Тарбеева^{1,*}, В. В. Сурков^{1,**}, И. В. Крыленко^{1,***}, В. Р. Беляев^{1,****}

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

* E-mail: amtarbeeva@yandex.ru

** E-mail: vita.surkov@yandex.ru

*** E-mail: i-krylenko@yandex.ru

**** E-mail: vladimir.r.belyaev@gmail.com

Поступила в редакцию 30.08.2024 г.

После доработки 10.11.2024 г.

Принята к публикации 10.01.2025 г.

Чётковидные русла, представляющие собой чередование озеровидных расширений и узких протоков между ними, широко распространены на малых реках степной зоны, но по поводу их генезиса существуют разные точки зрения. Для установления генезиса чётковидных русел на двух ключевых участках долин была проведена детальная топосъемка, изучены отложения в разрезах и скважинах и проанализированы разные версии происхождения расширений русел. Наиболее древнюю тыловую часть широких днищ долин занимает первая терраса – выровненная поверхность с реликтовым криогенным микрорельефом и протяженными чётковидными старицами, перекрытая лёссовидными суглинками. Высокая пойма образует пояс меандрирования реки на уровне наиболее крупных излучин, она незначительно отличается от террасы по высоте, но на ней отчетливо выделяются серповидные чётковидные старицы, гривы и небольшие западины. Средняя пойма формировалась на фоне снижения водности реки и расположена фрагментарно в пределах пояса смещения излучин второго порядка. Низкая пойма – результат зарастания бывшего дна широкого русла. Все уровни поймы и современное русло подстилаются плотными глинами и суглинками общей мощностью более 6 м, близкими по составу к отложениям первой террасы, русловая фация, образованная влекомыми наносами, в отложениях не выделяется. Отсутствие влекомых наносов в современном русле является причиной сохранности чётковидных стариц от заполнения. Чётковидные старицы на высокой пойме и террасе могут иметь криогенное происхождение, поскольку мерзлота существовала во время формирования этих поверхностей, а подстилающие тонкодисперсные отложения благоприятны для формирования льдистых толщ. Однако чётковидную форму они приобрели после отмирания русла. Происхождение чётковидных расширений современного русла требует более детального изучения возраста и строения вмещающих отложений. Образование глубоких расширений современного русла не связано с заилением перекатов, так как мощность агрогенного наилка не превышает 1 м.

Ключевые слова: русловые процессы; пойма; реликтовая криогенная морфоскульптура; аллювий; заиление; суффозия

DOI: 10.31857/S2949178925020036, EDN: GPRSJH

1. ВВЕДЕНИЕ

Чётковидные русла, характеризующиеся закономерным чередованием глубоких озеровидных

[#] Ссылка для цитирования: Тарбеева А. М., Сурков В. В., Крыленко И. В., Беляев В. Р. (2025) Морфология и строение днищ долин степных рек с чётковидными руслами (на примере рек Кардаил и Купава, Хопёрско-Бузулукская низменность). *Геоморфология и палеогеография*. Т. 56. № 2. С. 213–230. <https://doi.org/10.31857/S2949178925020036>; <https://elibrary.ru/GPRSJH>

расширений (чётковидных или бочагов) и соединяющих их узких мелководных протоков – достаточно распространенный тип русел малых рек. Основные регионы их нахождения – криолитозона (Тарбеева и др., 2018; Agr et al., 2015) и степь (Рябуха, Поляков, 2020; Камышев и др., 2024; Рябуха и др., 2025). В криолитозоне чётковидные русла чаще всего являются результатом вытаявания полигонально-жильных льдов, а в степях описаны разные механизмы образования таких русел: неравномерное заиление (Иванова и др., 1996), суффозионно-

карстовые процессы (Тарбеева и др., 2016) и реликтовый термокарст (Рябуха, Поляков, 2020; Рябуха и др., 2025).

Расположение чётковидных русел в степях Северной Евразии в целом соответствует поздневалдайской перигляциальной зоне, наибольшее распространение которой реконструируется в период 18–20 тыс. л. н. (Динамика..., 2002). Реликтовое происхождение чётковидных русел означало бы отсутствие их динамики со времени деградации мерзлоты, что не увязывается с существующими представлениями о развитии долин рек степной зоны в голоцене (Панин и др., 2011).

Агрогенное заиление русел рек предполагает сохранение озеровидных расширений на месте бывших плёсов при зарастании и заилении перекаатов и их превращении в молодую пойму (Иванова и др., 1996). Действительно, чётки часто приурочены к вершинам излучин, где обычно расположены плёсы. В то же время не все заиленные русла имеют чётковидную форму: часто остатки незаиленных плёсов выглядят как узкие полосы открытой воды, вытянутые вдоль стрежня потока (Тарбеева и др., 2016). Нередко чётки находятся не только в вершинах, но и на крыльях излучин, а частота их расположения превышает нормальную частоту расположения плёсов, составляющую 5–6 ширины русла (Leopold, Wolman, 1957), что характерно и для чётковидных русел рек криолитозоны (Тарбеева, 2018).

Формирование озеровидных расширений русла на месте бывших плёсов вследствие естественного снижения водности и отмирания русла меандрирующей реки на протяжении 100 тыс. лет описано в засушливых условиях Австралии на отрогах Большого Водораздельного хребта (Williams, Fryirs, 2020). Заилению озеровидных расширений русел здесь препятствует поток грунтовых вод в гравийно-галечных русловых отложениях. Авторами также отмечается, что большинство других рек территории с началом сельскохозяйственного освоения утратили чётковидную форму в результате заполнения наносами либо врезания русла.

Предположение о суффозионно-карстовом происхождении чётковидных русел (Тарбеева и др., 2016) основано на том, что наиболее глубокие участки чётковидных расширений одной из пойменных протоков р. Ори расположены на 5 м ниже дна основного русла этой реки. Эти чётковидные расширения имеют высокие обрывистые берега; соединяющие их сужения русла сложены песком и галькой, т.е. не заилены. В то же время близко залегающие карстующиеся породы в бассейнах многих рек с чётковидными руслами отсутствуют.

Для установления механизма образования чётковидных русел необходимо детальное исследо-

вание геолого-геоморфологического строения их долин. В данной работе приведены результаты первых специальных исследований геолого-геоморфологического строения долин малых степных рек, имеющих чётковидные русла, и рассмотрены возможные причины их образования.

2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В 2022–2024 гг. были исследованы два ключевых участка рек с хорошо выраженной чётковидной формой русла: р. Кардаил в среднем течении (площадь водосбора на исследуемом участке 572 км²) и его левый приток – р. Купава в нижнем течении (площадь водосбора 373 км²). Ключевые участки рек расположены в пределах Хопёрско-Бузулукской низменности вблизи хутора Верхнекардаильского (Новониколаевский район Волгоградской области) (рис. 1). Кроме того, проводились маршрутные обследования долин исследуемых рек выше и ниже ключевых участков.

На ключевых участках долин с помощью съемки с квадрокоптера получены ортофотопланы и цифровые модели местности (ЦММ) с разрешением 5 см в пикселе. Съемка велась дроном DJI Mini 4pro с высоты 100 м, привязка снимков проводилась по опорным точкам, равномерно распределенным по площади, координаты и высотные отметки которых были определены с точностью до 1 см при помощи геодезического GPS-приемника EFT M4 в режиме RTK. При измерении глубин русла использовался эхолот Lowrance LMS-525C DF. Абсолютные отметки дна реки получены на основе совмещения данных эхолотирования и отметок урезов воды. Все высотные отметки были приведены к Балтийской системе (БС). По ортофотопланам производились оценка морфологии и измерение морфометрических параметров русла. По ЦММ были уточнены высотные отметки и распространение уровней поймы и террасы, описан их микрорельеф, на основе чего были составлены геоморфологические карты участков долин. Расположение форм микрорельефа на террасе дополнительно уточнялось по космическим снимкам Sentinel-2 в инфракрасном диапазоне. Для этого выбирались снимки весеннего периода (май–апрель), когда пашня находилась под паром, а понижения были хорошо увлажнены или заполнены талой водой.

На характерных участках долин были заложены поперечные профили через русло, пойму и террасу, для которых определены высотные отметки поверхности и проведено ручное бурение отложений на глубину до 7 м, а также описаны шурфы и разрезы в береговых уступах.

Состав отложений определялся полевым методом (скатывание жгута). Выборочно проводился

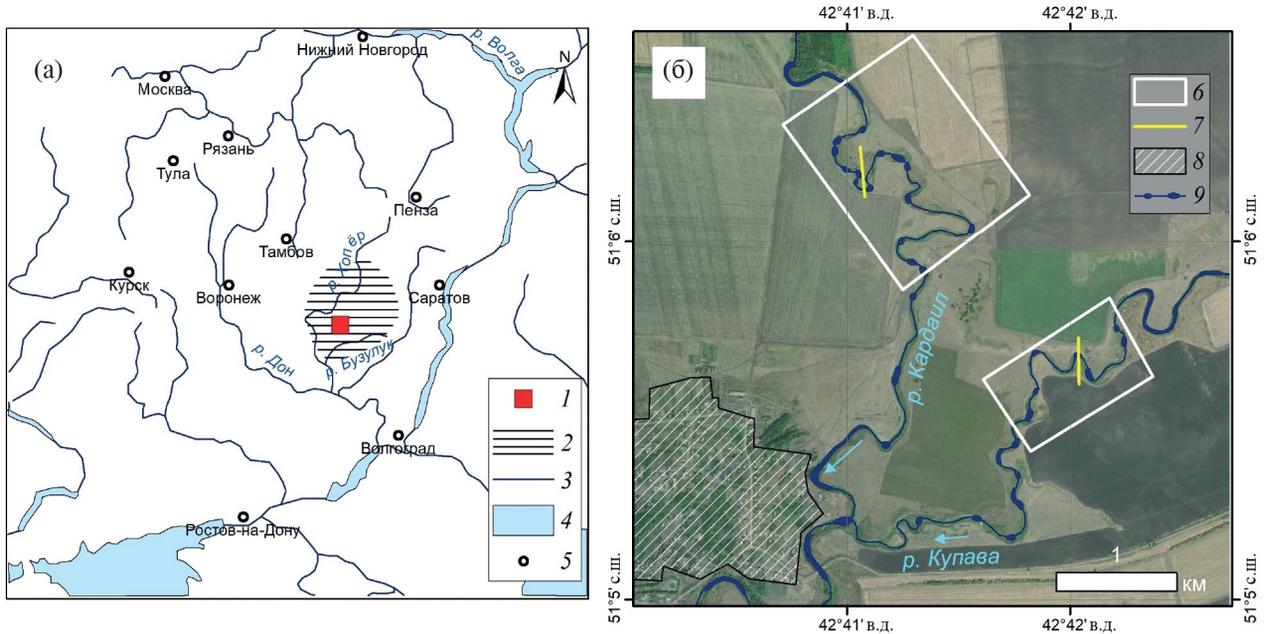


Рис. 1. Расположение ключевых участков исследования.

(а) – общая схема; (б) – расположение ключевых участков в пределах района работ.

1 – район работ, показанный на рис. 1б); 2 – Хопёрско-Бузулукская низменность; 3 – реки; 4 – водоемы; 5 – города; 6 – границы ключевых участков; 7 – буровые профили; 8 – хут. Верхнекардаильский; 9 – чётковидные русла.

Fig. 1. Location of key study areas.

(a) – general scheme; (b) – location of key sites within the study area.

1 – study area shown in Fig. 1b); 2 – Khoper-Buzuluk lowland; 3 – rivers; 4 – water bodies; 5 – cities; 6 – key sites boundary; 7 – drilling profiles; 8 – Verkhnekardailsky settlement; 9 – beaded channels.

гранулометрический анализ описанных отложений методами ситования (фракции песка) и лазерной дифракции (тонкие фракции). Использовался лазерный гранулометр Fritsch Analysette 22 MicroTec plus. Расчет размеров зерен проводился по модели Фраунгофера. Образцы обрабатывались пирофосфатом натрия и ультразвуком, измерения каждого образца проводились трехкратно. Градации фракций приводятся по Батурину, названия пород по ГОСТ-25100–2020 (ГОСТ..., 2020).

Для сравнения приведены данные по грансоставу образца К-6/1, отобранного из пахотного горизонта почвы (0–30 см, чернозем обыкновенный) на приводораздельной поверхности на левом берегу р. Кардаил.

3. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИИ

Исследованные реки – Кардаил и Купава – относятся к бассейну Бузулука, дренирующего Хопёрско-Бузулукскую низменность (южная часть Окско-Донской равнины), характеризующуюся небольшими перепадами высот, очень пологими (2–5°) и длинными (до 1.5 км) склонами. Абсолютные отметки водоразделов составляют 150–170 м,

меженные урезы исследуемых рек расположены на отметках 106–108 м. Хопёрско-Бузулукская низменность наследует депрессию, возникшую в миоцене, которая по широким (до 100 км) древним долинам выполнена мощной (до 50 м) толщей неогеновых и эоплейстоценовых аллювиальных отложений, представленных песками и глинами, и перекрыта мощным (15–30 м) чехлом донской (Q₁) морены. На междуречьях глинистая морена с неравномерным включением валунов местами перекрыта флювиогляциальными песками (мощностью до 14 м) или покровными лёссовидными суглинками (мощностью до 15 м), в долинах рек преимущественно размыта (Государственная..., 2009). На исследованном участке к востоку от долины Кардаила междуречья перекрыты лёссовидными суглинками, а к западу от долины Кардаила – флювиогляциальными отложениями. На карте четвертичных отложений (Геологическая..., 1966) в долинах Кардаила и Купавы по обоим берегам показана голоценовая пойма и поздневалдайская (Q₃) терраса.

Многолетняя мерзлота наиболее широко была распространена около 20–18 тыс.л.н. и имела на исследуемой территории температуру около –3° (Динамика..., 2002). А. А. Величко (1973) относит

исследуемый регион к Западно-Русской провинции реликтовой криогенной морфоскульптуры, где наиболее полно проявляется весь спектр реликтовых криогенных форм. На приводораздельных пространствах в бассейне Кардаила на снимках хорошо виден пятнистый рисунок (редуцированные блоки по А. А. Величко) с размерами ячеек 25–40 м, а на склонах — сеть параллельных ложбин-делей, частично унаследованных современными эрозионными формами.

С наличием мерзлоты, способствующей увеличению поверхностного стока, связывают образование в поздневалдайское время широких днищ долин и больших палеорусел на высокой пойме и низких террасах Дона, Хопра и Бузулука, когда сток воды в 2–4 раза превышал современный (Панин и др., 2013; Сидорчук и др., 2023). Исследования, проведенные на Верхнем Дону (Матлахова и др., 2019), где площадь водосбора реки составляет 686 км² (немного больше, чем на ключевом участке Кардаила), показали, что 30–35 тыс. л. н. река была врезана на 10–11 м ниже современного уреза воды, а во время последнего ледникового максимума врез был заполнен гравийно-песчаными отложениями. Формирование широкого дна долины Верхнего Дона началось сразу после последнего ледникового максимума и состояло из двух этапов, которым соответствуют две генерации макроизлучин: 17–19 тыс. л. н. (с глубиной вреза 4–6 м ниже современного уреза) и 13–15 тыс. л. н. (с глубиной вреза 3–4 м ниже современного уреза). В голоцене происходило сужение пояса меандрирования, повышение отметок дна и формирование средней и низкой поймы. Примечательно, что Верхний Дон чётковидным строением русла не обладает.

Современный климат изучаемой территории умеренно-континентальный. Среднегодовая (1991–2020 гг.) температура воздуха по метеостанции Урюпинск (60 км к ЮЗ от участка исследований) составляет +7.6°C, средняя температура июля +21.9°C, средняя температура января –6.6°C, среднегодовое количество осадков – 423 мм (Погода и Климат, 2023). Превышение испаряемости над осадками способствует засолению почв и поверхностных вод (Основные..., 2020).

Реки характеризуются ярко выраженным весенним половодьем, которое является основным руслоформирующим событием. Наименьшая водность характерна для летней межени, р. Куава в летнюю межень в сужениях русла пересыхает (Тарбеева и др., 2024). Климатические изменения последних десятилетий привели к снижению стока половодья в бассейне Бузулука, хотя и в меньшей степени, чем в западной части бассейна Дона. За 1978–

2017 гг. по отношению к периоду 1956–1977 гг. доля стока половодья р. Кардаил (гидропост хутор Андреевский) снизилась на 8%, а среднемноголетний максимальный срочный расход половодья — на 31% (Основные..., 2020).

Русла исследуемых рек на большем протяжении извилистые, осложнены чётковидными расширениями, расположенными как в вершинах, так и на крыльях излучин (рис. 2а, б). Верховья рек заилены. В среднем и нижнем течении Кардаила встречаются участки с пойменной многорукавностью. В среднем течении, например у хутора Киквидзе, многорукавность выражена в виде протяженных чётковидных стариц под тыловым швом террасы (рис. 2в). По данным наших измерений ширина озеровидных расширений старицы достигает 70 м, максимальная глубина — 4.5 м, при этом они частично заполнены илом. Чётковидные русла в бассейне Бузулука встречаются на реках с площадями водосбора от 44 до 1600 км² в неразветвленном русле, и до 9000 км² в протоках и старицах (Камышев и др., 2024).

Территория расположена в зоне типичных степей, где распространены черноземы обыкновенные и выщелоченные (Основные..., 2020). Интенсивное освоение степной зоны началось с середины XIX в. (Иванова и др., 1996). В настоящее время распахивается до 80% территории (Лобанова, 2014). Современные темпы заиления русел рек невелики, что объясняется снижением талого стока и оседанием продуктов смыва почв на широких нераспаханных поверхностях в днищах долин (Тарбеева и др., 2024).

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

4.1. Морфология и геологическое строение долины Кардаила

Днище долины Кардаила на ключевом участке имеет ширину около 1 км, его большую часть занимает выровненная поверхность первой террасы (рис. 3). Русло Кардаила образует сегментные излучины первого порядка (макроизлучины) с шагом 150–350 м, и осложняющие их излучины второго порядка с шагом 40–100 м, имеющие разнообразную форму от омеговидной до пальцеобразной (рис. 2, 3). Пояс меандрирования макроизлучин образует поверхность высокой поймы, шпоры излучин второго порядка образованы средней поймой. Низкая пойма протягивается узкой полосой по обоим берегам реки и образуется в результате частичного зарастания и заиления дна бывшего широкого русла.

Чётковидные расширения разных размеров и формы осложняют русло по всей длине ключевого участка. Ширина современного русла

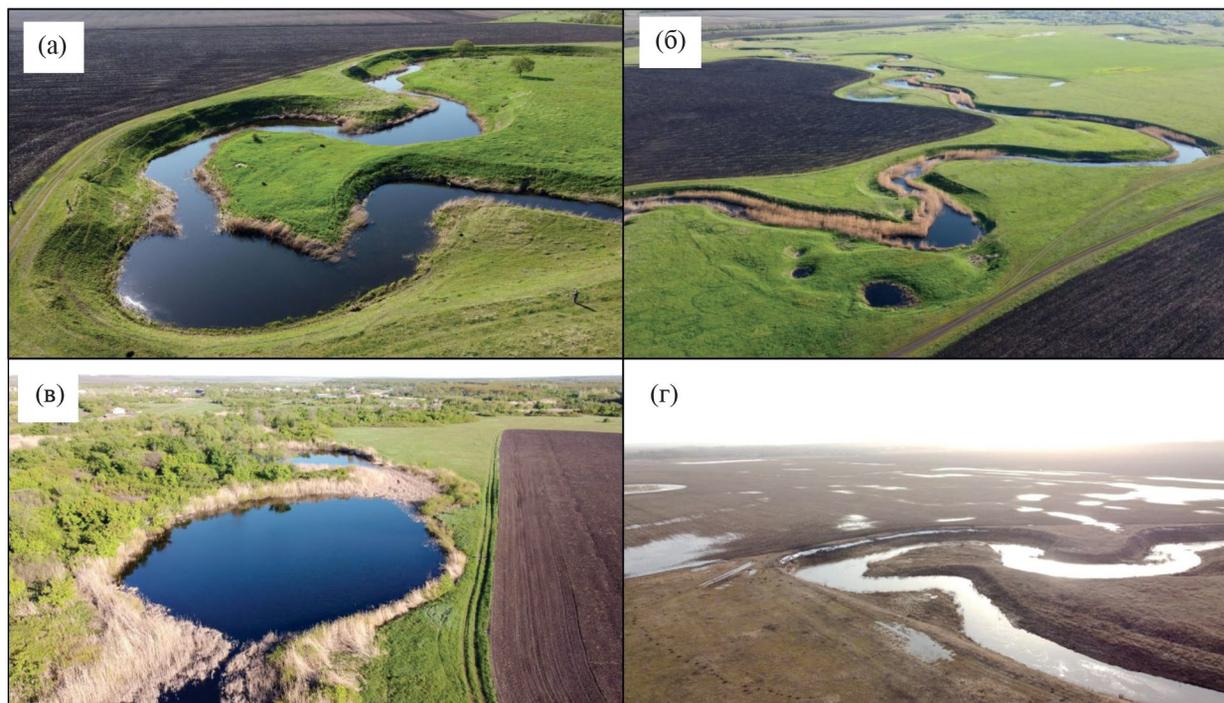


Рис. 2. Чётковидные русла Кардаила и Купавы.

(а) – Кардаил на ключевом участке (спад половодья, вид вверх по течению); (б) – Купава на ключевом участке, на переднем плане старица с округлыми западинами (вид вниз по течению); (в) – чётковидная старица Кардаила на первой террасе у хут. Киквидзе (ширина озеровидного расширения 70 м); (г) – Кардаил на ключевом участке во время половодья, на дальнем плане поверхность первой террасы с обводненными понижениями (вид вверх по течению).

Fig. 2. Beaded channels of Kardail and Kupava.

(a) – Kardail at the key site (flood recession, upstream view); (б) – Kupava at the key site, in the foreground an oxbow with rounded depressions (downstream view); (в) – beaded oxbow of Kardail at the first terrace near the farmstead Kikvidze (width of lake-like expansion is 70 m); (г) – Kardail at the key site during the spring flood, in the background the surface of the first terrace with flooded depressions (view upstream).

в бровках низкой поймы в сужениях составляет 3–8 м, чётки достигают ширины 25–30 м. Расстояние между центрами чётки в цепочке составляет 30–60 м. Наиболее крупные чётки достигают глубины 4–6 м, что соответствует абс. отметкам дна 101.5–104 м БС. Чётковидные расширения также наблюдаются в серповидной старице на высокой левобережной пойме. Шаг излучины, сформировавшей старицу, около 180 м, ширина чётковидных расширений старицы 45–55 м.

Буровой профиль проходит через сужение русла Кардаила, пересекая разные уровни поймы и часть террасы (рис. 3, 4). На профиле пробурено пять скважин: К-1, К-1А, К-2, К-3 и К-4. Скважина К-1А была пробурена рядом с К-1 с целью увеличения глубины бурения и дополнена разрезом в расположенном рядом уступе низкой поймы. Скважина К-2 также дополнена одноименным разрезом в уступе средней поймы. Кроме того, был заложён шурф К-5 на поверхности высокой поймы,

и описан разрез К-9 в уступе правобережной террасы (рис. 5).

Низкая пойма маркируется осоково-тростниковой растительностью, имеет высоту 0.8–1.1 м над урезом межи и ширину 3–10 м с каждой стороны русла. С поверхности сложена темно-серыми и буроватыми тяжелыми суглинками с обильными включениями корней и частично перегнивших стеблей тростника, многочисленных раковин двусторчатых и брюхоногих моллюсков (скважины К-1, К-1А). В нижней части разреза низкой поймы в суглинке наблюдаются включения песка. На глубине 70 см (около 0.2 м над меженным урезом) с чётким эрозионным контактом вскрываются буровато-серовато-желтые вязкие однородные глины. Аналогичные глины с плотными карбонатными новообразованиями длиной до 5 и шириной до 1.5 см вскрываются рядом на дне реки. Вниз по скважине К-1А глины сменяются средним и тяжелым суглинком, местами встречается небольшая

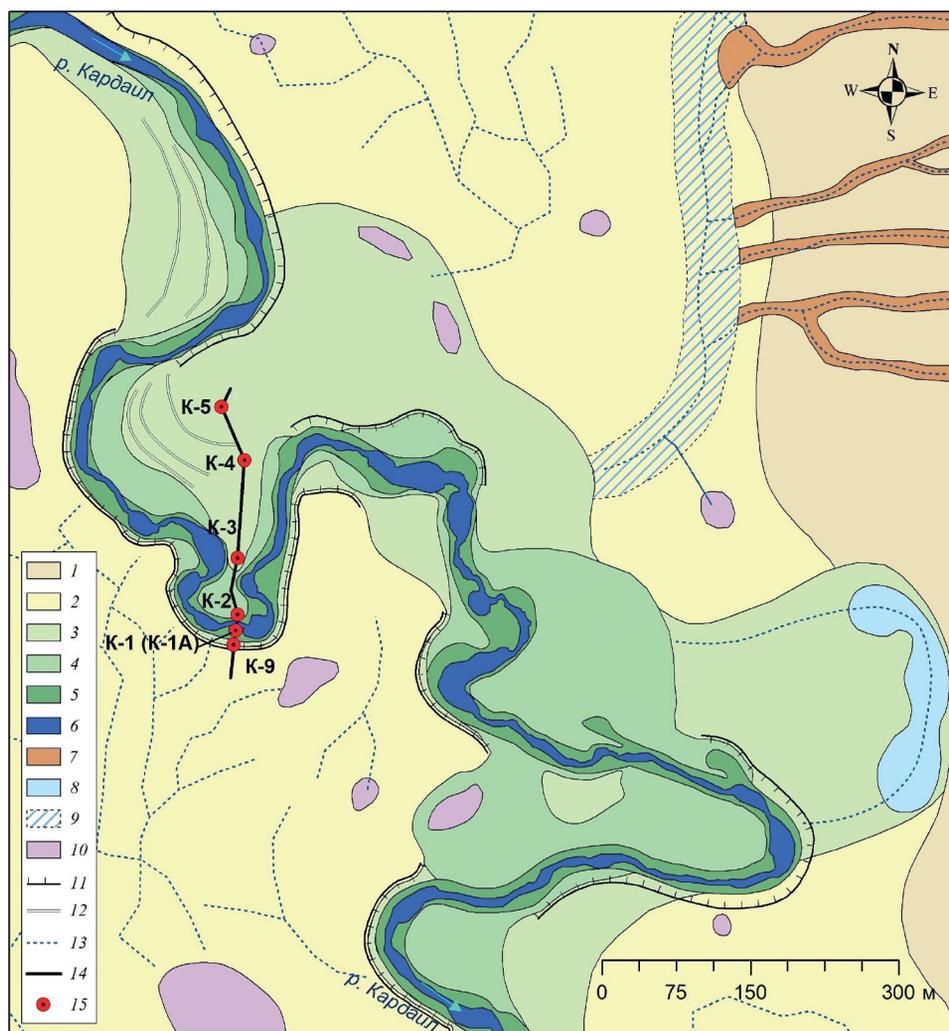


Рис. 3. Геоморфологическое строение ключевого участка долины Кардаила.

1 – склон долины; 2 – первая надпойменная терраса; поймы: 3 – высокая, 4 – средняя, 5 – низкая; 6 – русло; ложбины: 7 – склоновые (делли), унаследованные современной эрозией, 8 – хорошо выраженные старичные (глубина 1–1.5 м), 9 – слабо выраженные старичные; 10 – отдельные западины; 11 – четко выраженные бровки; 12 – гривы; 13 – тальвеги ложбин; 14 – буровой профиль (см. рис. 4); 15 – разрезы и скважины и их номера.

Fig. 3. Floodplain levels and terrace of the Kardail River.

1 – valley slope; 2 – terrace; floodplains: 3 – high-level floodplain, 4 – middle-level floodplain, 5 – low-level floodplain; 6 – channel; hollows: 7 – slope hollows (dells) inherited by modern erosion, 8 – well-defined oxbows (depth 1–1.5 m), 9 – weakly expressed oxbows hollows; 10 – individual sinks; 11 – well-defined edges; 12 – meander scars; 13 – thalwegs; 14 – drilling profile (see Fig. 4); 15 – holes and their numbers.

примесь песка, с глубины 5.2 м до глубины 7.15 м (100.7 м БС) – глины сизые однородные, подошва этих глин не вскрыта (рис. 4).

Средняя пойма высотой 1.9–2.2 м над урезом межени распространена фрагментарно и маркирует смещение и переформирования излучин второго порядка. В районе бурового профиля средняя пойма образует шпору омеговидной излучины и имеет хорошо выраженный наклон в сторону русла (рис. 2а, 4). Средняя пойма с поверхности сложена желтовато-серым слоистым пылеватым суглин-

ком с разной степенью опесчаненности, на глубине 3.1 м (107.5 м БС) вскрыты плотные сизо-бурые глины с карбонатными конкрециями (скважина К-2).

Высокая пойма в пределах участка занимает шпору макроизлучины, имеет ширину около 200–400 м, высоту 4–5 м над межени урезом и характеризуется гривистым микрорельефом (рис. 3). С поверхности до глубины 0.8 м она сложена темно-серым гумусированным легким алевритистым суглинком с опесчаненными прослоями, вниз по

разрезу толща осветляется, а на глубине около 1.8 м от поверхности (109.9 БС) переходит в плотные глины (скважина К-3). В понижении, заполненном тяжелым суглинком, скважиной К-4 белесоватые ржаво-бурые плотные глины вскрыты на глубине около 1.2 м (108.0 м БС) (рис. 4).

Первая терраса имеет высоту 5.0–5.5 м над урезом межи, достигая ширины 400 м на левом берегу и примерно столько же на правом. Терраса распаивается, на ней расположен хутор Верхнекардаильский. По высоте она мало отличается от высокой поймы, но различается от нее микро рельефом. Основная поверхность террасы ровная субгоризонтальная. На поверхности террасы преимущественно вдоль тыловых швов прослеживаются длинные полого изогнутые широкие (50–70 м) неглубокие (0.5–1 м) старичные понижения, принимающие сток со склонов (см. рис. 3). Также на поверхности террасы выделяются отдельные крупные (размером до 100×150 м и глубиной до 1 м) и мелкие округлые западины и многочисленные слабо выраженные коленообразно изогнутые ложбины, глубина которых, по данным детальной ЦММ, не превышает 0.3–0.4 м, расстояние между ближайшими ложбинами 35–45 м (см. рис. 2г). Рисунок ложбин читается на снимках распаханной поверхности при заполнении талыми водами. При отсутствии увлажнения ложбины не выделяются.

В разрезе К-9 на уступе правобережной надпойменной террасы вскрывается темно-серый гумусовый горизонт мощностью 60–70 см, подстилаемый палевыми плотными неслоистыми лёссовидными суглинками с обильными рыхлыми карбонатными

новообразованиями. С глубины 1.75 м и до видимой глубины 2.2 м вскрыто переслаивание коричневатого-темно-бурых и светлых палевоалевритистых суглинков. Слои субгоризонтальные волнистые, имеют ширину от 0.5 до 5 см, местами слоистость нарушена сбросовыми деформациями.

4.2. Морфология и геологическое строение долины Купавы

Ширина дна долины Купавы на ключевом участке достигает 850 м. Река на исследованном приустьевом участке имеет извилистое русло с шагом излучин 56–170 м, осложненное чётковидными расширениями (рис. 6). Излучины преимущественно сегментные. Вершина верхней на участке излучины подходит к правому коренному берегу, остальные сформированы в центральной части дна долины. Наименьший шаг излучин характерен для участков со следами недавнего спрямления русла, выраженными в виде серповидных стариц, в днищах которых наблюдаются глубокие (до 1.5–2 м) округлые западины – чётки, разделенные повышениями-перемычками (см. рис. 2б). Ширина современного русла в сужениях 2–4 м, в расширениях до 25 м. Глубина расширений русла достигает 4.5–7 м, их дно расположено на абс. отметках 99–102 м БС.

На Купаве буровой профиль проходит через расширение русла и чётковидную старицу (рис. 6, 7). Скважина Л-2 была пробурена в расширении русла со льда для исследования донных наносов и подстилающих русло отложений. Скважины КП-2 и дублирующая КП-2А пробурены на низкой пойме в прилегающем сужении русла выше по течению от профиля. В днище чётковидной старицы

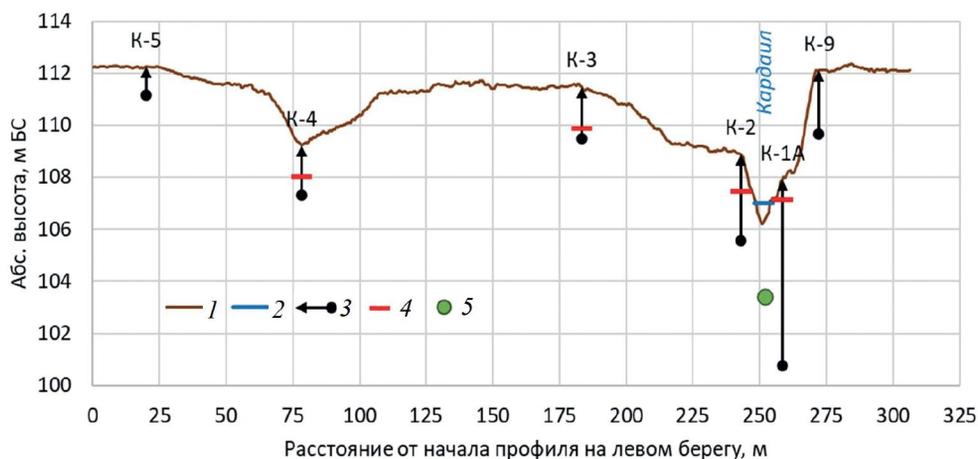


Рис. 4. Профиль через пойму и сужение русла Кардаила. 1 – поверхность земли; 2 – урез воды; 3 – скважины; 4 – кровля глин; 5 – дно соседней чётки.

Fig. 4. Cross-section of the floodplain and narrow part of the Kardail River channel. 1 – earth surface; 2 – water level; 3 – holes; 4 – top of the clay; 5 – bottom of the adjacent bed.

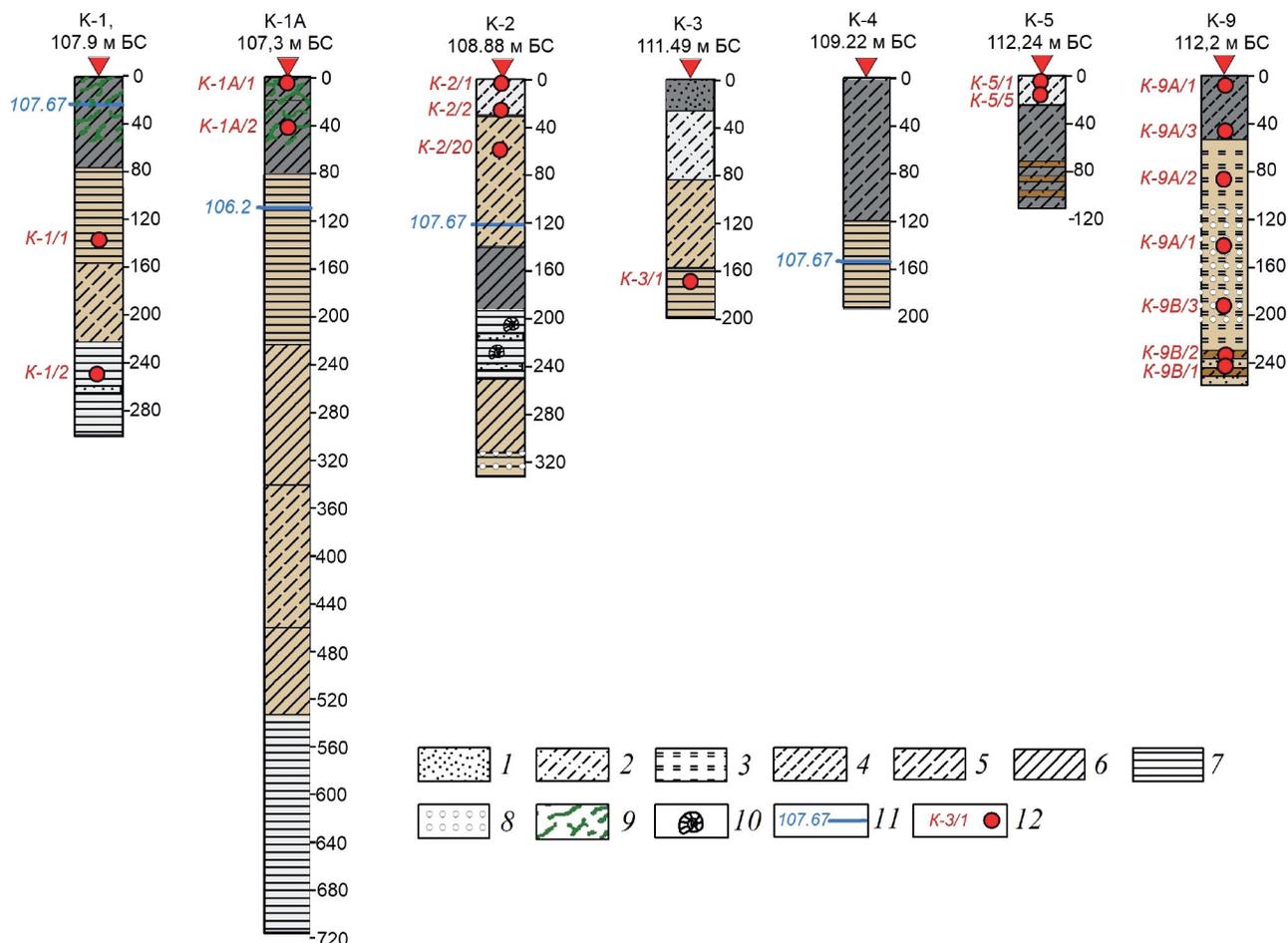


Рис. 5. Геологические колонки скважин и разрезов в долине Кардаила (сверху – номер скважины и абс. отметка ее устья, справа – шкала (см), цвет фона колонки соответствует цвету отложений).

1 – пески; 2 – супеси; 3 – алевриты; суглинки: 4 – легкие, 5 – средние, 6 – тяжелые; 7 – глины; 8 – карбонатные новообразования; 9 – растительные остатки; 10 – раковины моллюсков и их обломки; 11 – урез воды на дату бурения и его абс. отметка; 12 – образцы и их номера.

Fig. 5. Geological columns of boreholes and sections in the Kardail River valley (above – borehole number and absolute elevation of its mouth, on the right – scale in cm, the background color corresponds to the color of the deposits).

1 – sands; 2 – sandy loams; 3 – silt; loams: 4 – light, 5 – medium, 6 – heavy; 7 – clays; 8 – carbonate neoplasms; 9 – plant remains; 10 – mollusk shells and their fragments; 11 – water line on the date of drilling and its elevation; 12 – samples and their numbers.

были пробурены две скважины: КП-3 (в замкнутом понижении – чётке) и КП-4 (в перемычке между понижениями). На береговых уступах выше по течению были заложены два разреза – КП-1 – на уступе высокой поймы, где вскрыты старичные отложения, и КП-5 – на уступе террасы в месте ее примыкания к склону долины (рис. 8).

На дне исследованного расширения русла Купавы скважиной Л-2 под 0.1–0.2 м ила на отметках 103.1 БС вскрываются плотные сизые глины с рыхлыми карбонатными новообразованиями и прослоями мелко-среднезернистого хорошо отмытого песка.

Низкая пойма высотой до 1–1.2 м над урезом межени представлена преимущественно в сужениях русла, где образует вытянутые узкие (5–10 м) полосы по обеим берегам реки (см. рис. 2б, 6). Скважиной КП-2 на низкой пойме пройдены легкие суглинки и оглиненные пески, переходящие в плотный сизый суглинок с включением растительных остатков. На глубине 1.8 м (106.3 м БС) они подстилаются сизовато-серой вязкой пластичной глиной. Аналогичная глина в дублирующей скважине (КП-2А) вскрыта на глубине около 1.4 м от поверхности (106.7 м БС). До глубины 6.2 м (101.9 м БС) толщина глин не пройдена (см. рис. 6).

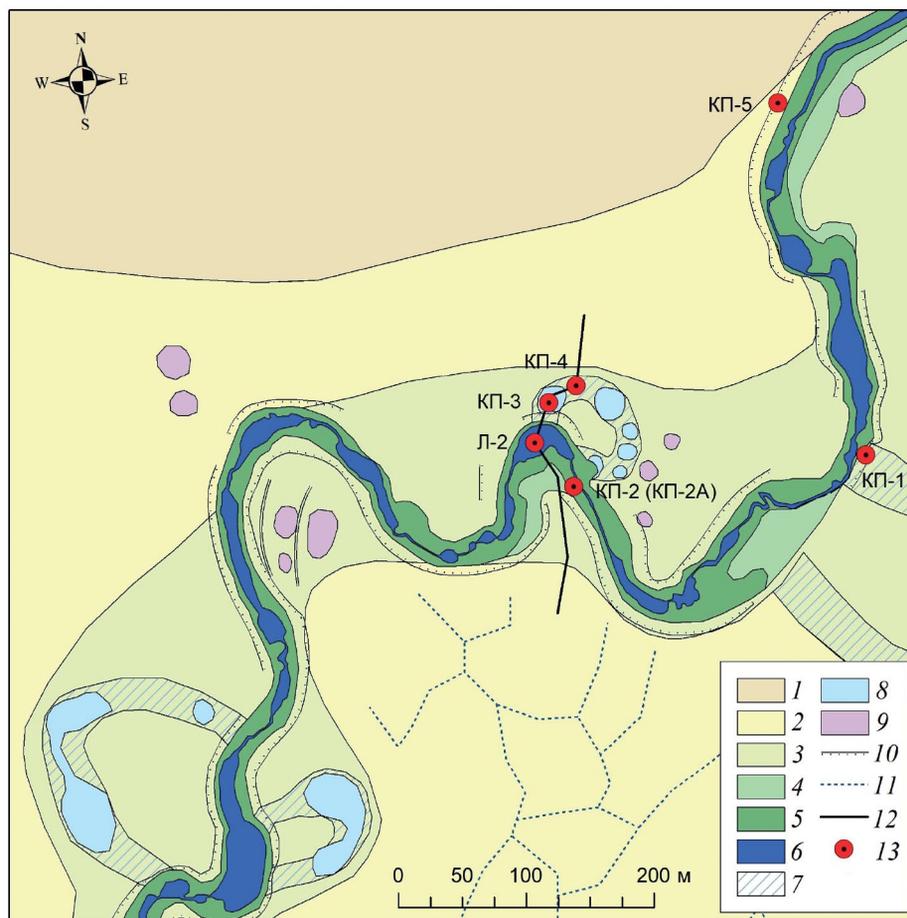


Рис. 6. Геоморфологическое строение ключевого участка долины Купавы.

1–6 – см. рис. 3; 7 – старицы (глубина 1–1.5 м); 8 – чётковидные расширения в днищах старичных ложбин; 9 – отдельные западины; 10 – чётко выраженные бровки; 11 – тальвеги; 12 – буровой профиль (см. рис. 7); 13 – разрезы и скважины.

Fig. 6. Floodplain levels and terrace of the Kupava River.

1–6 – see Fig. 3; 7 – oxbows (depth 1–1.5 m); 8 – beads in the oxbows; 9 – individual sinks; 10 – well-defined edges; 11 – thalwegs; 12 – drilling profile (see Fig. 7); 13 – holes and exposures.

Средняя пойма высотой 1.5–2.5 м выражена очень локально на участках недавнего спрямления излучин и образует небольшие фрагменты вдоль русла, она не исследовалась.

Высокая пойма имеет высоту 3.5–4 м и занимает пояс меандрирования. Она характеризуется наличием дугообразных стариц, прирусловых валов и грив, характерных для свободно меандрирующего русла. В днищах стариц и межгривных понижениях наблюдаются серии округлых западин (в старицах более глубоких – диаметром до 30 м, глубиной до 2–3 м, в межгривных понижениях шириной 10–15 м и глубиной до 1 м). Ширина стариц составляет 25–30 м. На исследуемом профиле в днище старицы в западине (бывшей чётке) скважиной КП-3 под переслаивающимися темно-серыми гумусированными легкими и средними суглинками

на глубине 2.24 м (106.6 м БС) вскрывается сизая глина, с глубины 4.5 м переходящая в белесо-сизую. В перемычке между западинами в старице аналогичная глина находится на отметке 108.4 м БС, т.е. на 1.6 м выше (скважина КП-4).

Разрез КП-1 в уступе высокой поймы высотой 3.8 м также вскрывает заполнение старицы, имеющей ширину 30–35 м и шаг около 140 м: буровато-темно-серые суглинки, слоистые с карбонатными присыпками, с глубины 2.8 м (108.4 м БС, 1 м над урезом) подстилающиеся темными однородными тяжелыми суглинками, уходящими под урез.

Выровненная поверхность, занимающая днище долины за пределами пояса меандрирования, согласно геологической карте (1966), относится к первой террасе, хотя по высотным отметкам не отличается от высокой поймы и даже немного

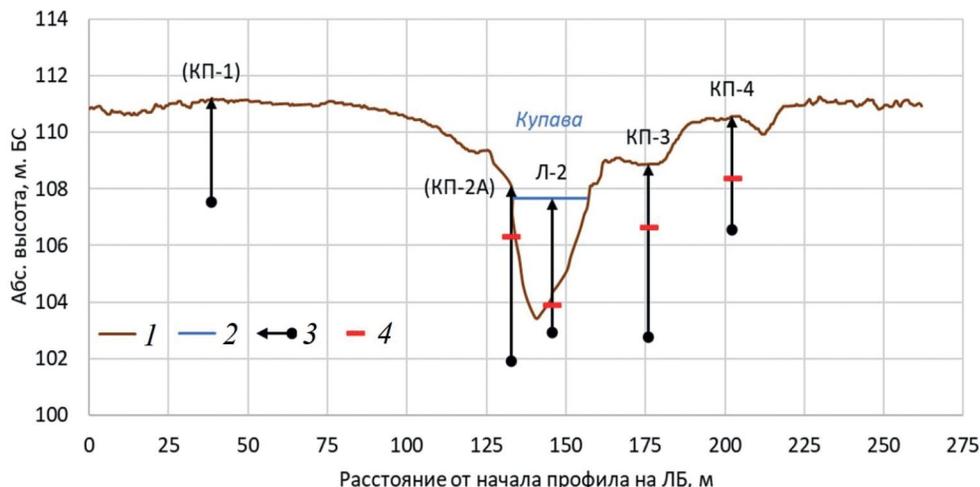


Рис. 7. Геолого-геоморфологический профиль через долину Купавы.
1 – поверхность земли; 2 – урез воды; 3 – скважины; 4 – кровля глин.

Fig. 7. Cross-section of the Kupava Valley.

1 – earth surface; 2 – water level; 3 – heads of holes and their numbers; 4 – top of the clay.

снижается к левобережному тыловому шву. Поверхность террасы распахивается, осложнена сетью слабовыраженных угловатых и более широких слабоизогнутых длинных ложбин. Рисунок последних читается на снимках распаханной поверхности при заполнении талыми водами. В уступе правобережной террасы (КП-5) вскрываются лёссовидные суглинки, перекрытые слоем гумусированной почвы мощностью 40 см. Эта часть поверхности дна долины Купавы в устьевой части переходит в первую террасу Кардаила.

4.3. Гранулометрический состав отложений в долинах Кардаила и Купавы

Гранулометрический анализ образцов отложений из скважин и разрезов показал в целом слабую дифференциацию механического состава (рис. 9). В большинстве исследованных образцов преобладает алеврит (0.002–0.05 мм), доля которого составляет 56–80%. Состав глинистых частиц (<0.002 мм) колеблется от 7 до 35%, а песчаных частиц (>0.05 мм) – от 0 до 23%. Повышенная доля глинистых частиц (в среднем 24–26.5%) характерна для отложений первой террасы и глин, подстилающих русло и разные уровни поймы, а также современного наилка на дне в расширении русла Купавы. В этих же отложениях наблюдается наименьшая доля песка (0–6%). Наибольшая доля (в среднем 13–15%) характерна для отложений средней и высокой поймы.

В большинстве образцов распределение гранулометрического состава полимодальное с пиками в одних и тех же фракциях. Основные пики расположены во фракции крупного алеврита (0.025–0.032 или 0.0125–

0.016 мм), либо мелкой глины (<0.001 мм). Вторичные пики приурочены к границе мелкого алеврита и глины (0.0025–0.0032 или 0.0013–0.0016 мм) и к области мелкого песка (в широком диапазоне от 0.25 до 0.1 мм). Такой состав имеют пойменные отложения всех уровней, отложения террасы, современный наилка, заполнение стариц, подстилающая глина, и почва на водоразделе, сформированная на покровных отложениях, перекрывающих донскую морену (обр. К-6/1). Единственный образец песка (Л-2/3), отобранный из прослоя мощностью около 10 см на глубине около 1 м под дном (102.7–102.8 м БС) в расширении русла Купавы, по данным ситования, содержит 42% частиц 0.25–0.5 мм и 40% частиц 0.1–0.25 мм. Другими скважинами и разрезами песок не вскрыт.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

5.1. Геолого-геоморфологическое строение дна долин

Широкие, до 1 км, днища долин исследуемых рек состоят из разновозрастных сегментов, различающиеся по микрорельефу и слагающим с поверхности отложениям.

Наиболее древняя и широкая тыловая часть днища долины Кардаила перекрыта толщей лёссовидных суглинков с хорошо развитой почвой и имеет явные следы реликтовых криогенных процессов – блочно-западинный рельеф, образованный при вытаивании ритмично залегающих полигонально-жильных льдов, и отдельные крупные западины, обусловленные вытаиванием ло-

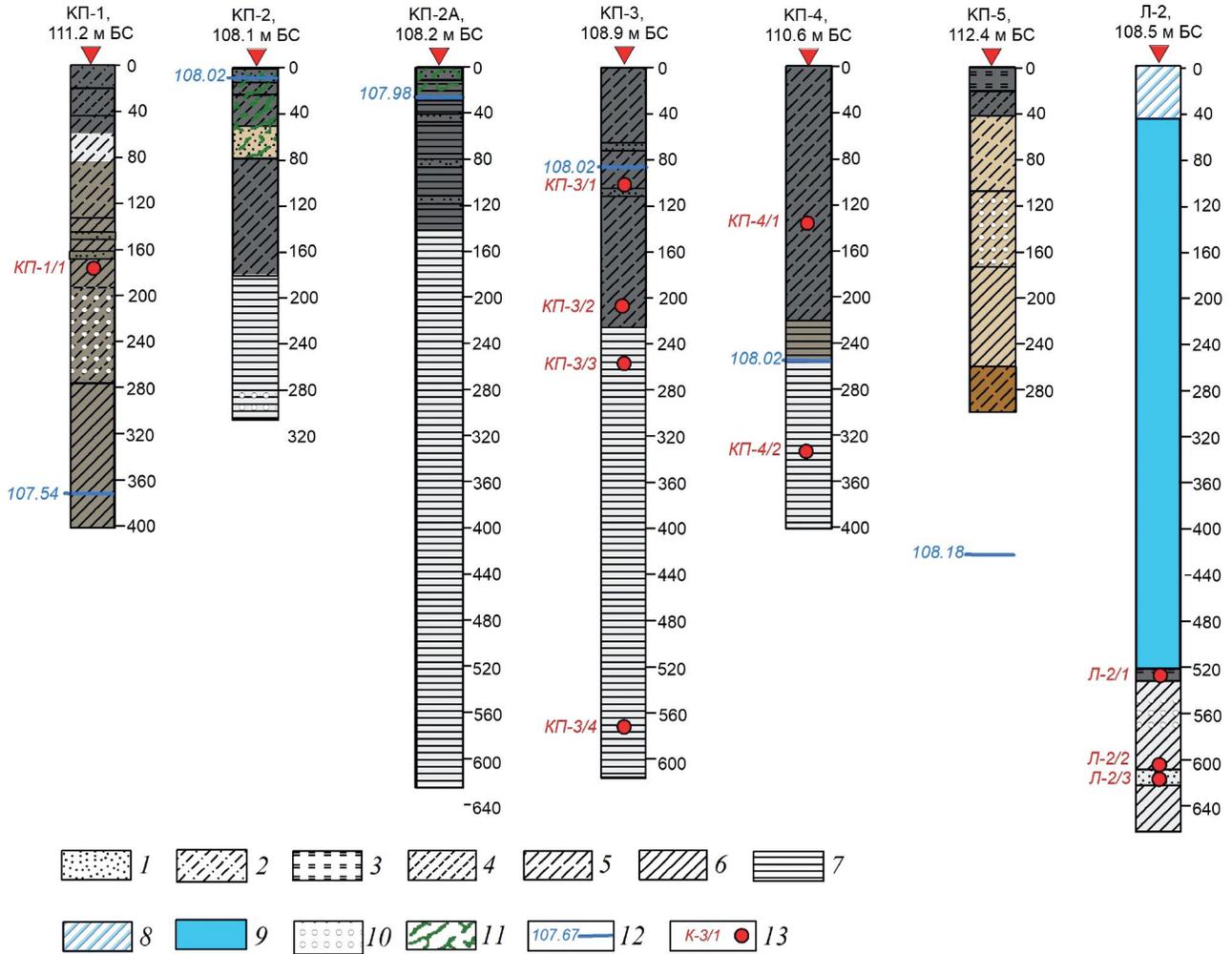


Рис. 8. Геологические колонки скважин и разрезов в долине р. Купавы (сверху – номер скважины и абс. отметка ее устья, справа – шкала в см, цвет фона колонки соответствует цвету отложений). 1 – пески; 2 – супеси; 3 – алевриты; *суглинки*: 4 – легкие, 5 – средние, 6 – тяжелые; 7 – глины; 8 – лед; 9 – вода; 10 – карбонатные новообразования; 11 – растительные остатки; 12 – урез воды на дату бурения и его абс. отметка; 13 – образцы и их номера.

Fig. 8. Geological columns of boreholes and sections in the Kupava River valley (above – borehole number and absolute elevation of its mouth, on the right – scale in cm, the background color corresponds to the color of the deposits). 1 – sands; 2 – sandy loams; 3 – silt; *loams*: 4 – light, 5 – medium, 6 – heavy; 7 – clays; 8 – ice; 9 – water; 10 – carbonate neoplasms; 11 – plant remains; 12 – water line on the date of drilling and its elevation; 13 – samples and their numbers.

кальных скоплений льда разного генезиса, а также разрывные деформации слагающих ее отложений на глубине 1.7–2.2 м, маркирующие глубину залегания поверхности реликтовой мерзлоты. Вслед за авторами Геологической карты (1966) она отнесена нами к поздневалдайской первой террасе. Эта поверхность существенно выровнена, поэтому тип русла, сформировавший ее, установить сложно. Но наличие многочисленных протяженных, иногда извилистых, нередко чётковидных пойменных протоков и стариц под тыловым швом террасы на разных участках долины говорит о том, что во

время ее формирования для реки была характерна пойменная многоруканность.

Высокая пойма выделена на основе наличия следов меандрирования – грив и серповидных стариц, а также слоистости и опесчаненности в верхней части разреза. Проведенные границы между высокой поймой и террасой в ряде мест условны. Высокая пойма сформирована руслом, образовавшим макроизлучины рек и их старицы, имеющие чётковидное строение. Ширина древнего русла Кардаила, судя по ширине стариц и расстоянию между бровками высокой поймы, во время формирования

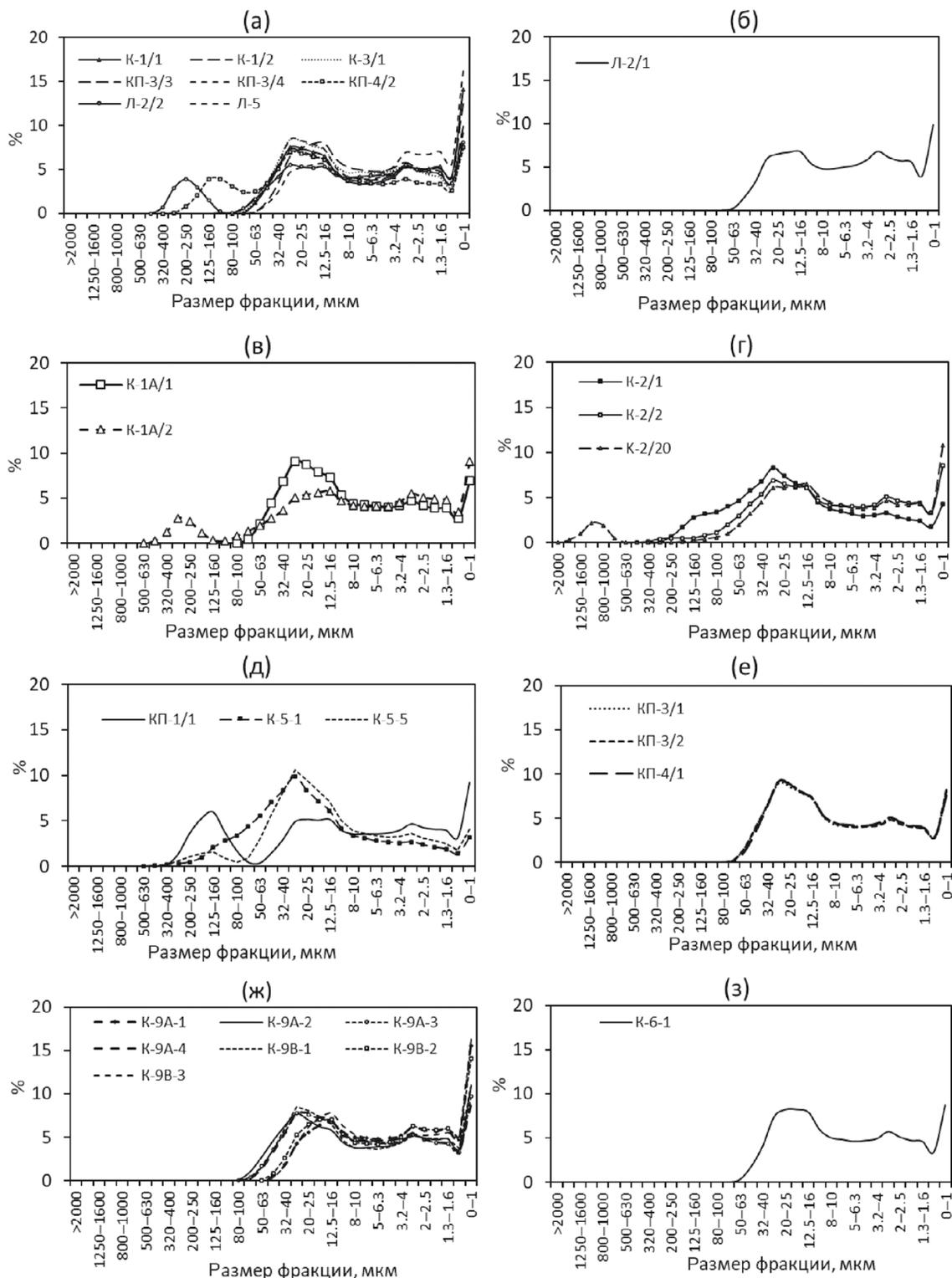


Рис. 9. Гранулометрический состав разных типов отложений из разрезов и скважин (места отбора образцов показаны на рис. 5 и 8).

(а) – глины, подстилающие разные уровни поймы и русло; (б) – современный ил; (в) – низкая пойма; (г) – средняя пойма; (д) – высокая пойма; (е) – заполнение стариц; (ж) – надпойменная терраса; (з) – чернозем с водораздела.

Fig. 9. Granulometric composition of sediments from sections and boreholes (sampling sites are shown in Figs. 5 and 8).
 (а) – clays underlying different floodplain levels and riverbed; (б) – modern silt; (в) – low floodplain; (г) – medium floodplain; (д) – high floodplain; (е) – filling of oxbows; (ж) – first terrace; (з) – chernozem from the watershed.

этой части поймы составляла около 45–55 м, Купавы — 30–35 м. Гривистый рельеф поймы, большие размеры излучин, присутствие песка в ее строении указывают на существенный сток воды и влекомых наносов и высокие темпы динамики русла. Чётковидность стариц и наличие западин на высокой пойме Купавы может свидетельствовать о развитии мерзлоты во время ее формирования. При современном водном режиме эта поверхность выходит из зоны затопления (Тарбеева, 2024; Солодовников, Шинкаренко, 2020).

Средняя пойма с излучинами меньших размеров имеет чёткие уступы и бровки, и образует пояс формирования излучин второго порядка. Уменьшение размеров излучин и их высокая степень развитости указывают на уменьшение стока воды и их формирование в устойчивых к размыву отложениях. Ширина русла, сформировавшего эти излучины, примерно соответствует суммарной ширине низкой поймы и русла и составляет на Кардаиле 25–30 м. На меньшей по размеру Купаве пойма среднего уровня не выражена.

Низкая пойма формируется в настоящее время в пределах дна бывшего русла реки предыдущего этапа за счет его зарастания и накопления наилка в густых прибрежных зарослях тростника. Современное русло почти не испытывает горизонтальных деформаций: надводные аккумулятивные формы и незадернованные уступы практически отсутствуют. Формирование низкой поймы связано как с общим снижением водности рек, так и с увеличением поступления наносов на этапе земледельческого освоения территории. При этом мощность агрогенного наилка на низкой пойме не превышает 1 м. Вероятно к этому же периоду относится верхняя часть заполнения стариц на высокой пойме Купавы, где мощность гумусированного суглинка в старице на правом берегу составила 2.2 м, а в старице на левом берегу 2.8 м. Обилие материала здесь объясняется близким расположением пашни.

В строении разных уровней поймы и современного русла не выделяется русловая фация аллювия как фация влекомых наносов. Песчаная фракция в отложениях встречается в незначительном количестве. Русло и пойменные отложения Кардаила и Купавы повсеместно подстилаются плотными серыми и палевыми глинами, иногда содержащими крупные (до 5 см) карбонатные новообразования. Нахождение этих глин под разными уровнями поймы и русла говорит в пользу их площадного распространения, мощность толщи превышает 6 м. Толща глин неоднородна и возможно разновозрастна, но без дополнительных исследований рассчитать ее сложно. Гранулометрический состав глин схож с отложениями первой террасы (рис. 9а, ж), и мож-

но предположить, что глины являются специфическим позднеледниковым аллювием, заполнившим переуглубленный врез реки в позднем валдае (Матлахова и др., 2019). Однако глинистый состав также имеют распространенный здесь эоплейстоценовый аллювий рек (Застрожнов, 2009) и донская морена (Государственная..., 2009).

Опираясь на исследования по соседним регионам (Матлахова и др., 2019) можно предположить, что формирование террасы и высокой поймы соответствует двум пойменным генерациям с макроизлучинами на Верхнем Дону (17–19 и 13–15 тыс. л. н.), мощная толща глин заполняет глубокие врезы поздневалдайских рек, а формирование средней и низкой поймы относится к голоцену. Для уточнения возраста этих поверхностей необходимо проведение датировки отложений.

5.2. Анализ гипотез образования чётковидных русел

Если бы чётковидные расширения русел были результатом агрогенного заиления, то сужения русла должны были быть сложены гумусированным наилком и подстилаться русловой фацией аллювия на уровне бывшего дна реки. Гумусированный наилком, слагающий низкие поймы исследованных рек имеет мощность менее 1 м, что говорит о том, что расширения русла глубиной 3–4 м, не являются результатом агрогенного заиления, хотя заиление и зарастание русла, несомненно, приводят к накоплению отложений на низкой пойме и в старицах. Агрогенное заиление скорее приводит к заполнению и зарастанию озеровидных расширений русла и изменению их формы, как в современном русле, так и в старицах. Неагрогенная природа чётковидных расширений русла в старицах на высокой пойме и террасе, возраст которых превышает продолжительность сельскохозяйственного освоения исследуемой территории.

В то же время расширения русла могут быть результатом естественной деградации русла на фоне снижения водности рек. В этом случае в сужениях русел Кардаила и Купавы должны были бы постепенно накапливаться отложения со времени образования основной формы русла — излучин, а плёсовые ложины должны были бы оставаться незаполненными наносами. Слабая дифференциация грансостава отложений под руслами Кардаила и Купавы не позволяет выделить в глинах древнее дно реки — русловую фацию аллювия, соответствующую началу деградации русла. Однако отсутствие влекомых наносов может быть одной из причин сохранения глубоких расширений русла. Вызывает вопросы причина частого расположения расширений русла, когда чётки следуют друг за другом, а не

приурочены непосредственно к вершинам излучин, что особенно заметно в старицах на высокой пойме и первой террасе.

Образование цепочек замкнутых понижений характерно для суффозии (Хоменко, 2003). Для развития суффозии необходимо залегание под тонкодисперсными (вымываемыми) отложениями более крупнозернистых пористых разностей, в толщу которых поступает выносимый материал. Под чётковидными расширениями исследуемых рек такие отложения пока не установлены.

В случае реликтового криогенного (термокарстового) образования расширений русла, состав отложений под расширениями и под сужениями русла был бы одинаков, как это наблюдается на исследованных нами участках чётковидных рек и стариц. В этом случае нужно предполагать, что мерзлота существовала как во время формирования стариц, так и к моменту приобретения руслом современного положения. На ряде участков рек, например на исследованном участке Кардаила, чётковидные расширения осложняют излучину второго порядка, которая сформировалась на фоне уменьшения стока воды. На Верхнем Дону сужение пояса меандрирования на фоне снижения стока воды происходило в голоцене (Матлахова и др., 2019), когда многолетняя мерзлота на данной территории отсутствовала. Расширения русла, сформированные в голоцене, не могут иметь палеокриогенную природу. Следовательно, необходимо проведение датировок средней поймы, и, возможно, поиск других механизмов образования современных расширений русел.

При реликтовом термокарстовом происхождении расширений русел нужно предполагать наличие подземных льдов, вертикальная мощность которых была бы сопоставима с глубинами расширений русла (не менее 3 м). Глинистый состав отложений благоприятен для накопления льда при их промерзании. Однако реконструируемые для данной территории температуры мерзлых пород $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Динамика..., 2002) недостаточны для формирования мощных жильных льдов, так как при таких относительно высоких температурах глубина сезонного оттаивания сопоставима с глубиной морозобойного растрескивания (Романовский, 1977). Но накоплению мощных жильных льдов могли бы способствовать высокая заторфованность поймы, понижающая локальные температуры пород, и сингенетическое накопление на ней наилка, способствующее увеличению льдистости вмещающих пород и поднятию кровли мерзлоты. Такие условия вполне могли бы наблюдаться во время формирования террасы, учитывая наличие на ней пойменной многорукности, условием развития которой

является затопление поймы. Установление следов существования мощных подземных льдов на исследуемой территории требует детального изучения палеокриогенных текстур в разрезе террасы и высокой поймы.

При реликтовом происхождении чётковидных русел в степях возникает и ряд других вопросов, в том числе касающихся механизмов формирования, казалось бы, хорошо изученных чётковидных русел криолитозоны. Размеры чёток на террасе Кардаила достигают 70 м, а реки, формирующие такие русла были в несколько раз многоводнее современных и имели, вероятно, достаточно динамичные русла. В современной криолитозоне чётковидные русла таких размеров не встречаются. Размеры современных чёток обычно не превышают 20–25 м, лишь в редких случаях достигают 40 м при единичном расположении в вершинах излучин на реках Центральной Якутии. Современные чётки формируются лишь на самых малых (1–4-го порядка) реках, не имеющих аккумулятивных форм, так как при активной динамике русла происходит разрушение чётковидной формы (Тарбеева, 2018). Вероятно, чётковидную форму русла старицы приобретали уже после отмирания русла, либо длительное обсыхание и перемерзание русел в суровых условиях позднеледниковья не препятствовали развитию под ними жильных льдов. Механизмы этого еще предстоит установить.

Таким образом, получение новых данных о строении долин рек с чётковидными руслами позволило выбрать приоритетные версии их образования и наметить направления дальнейших исследований. Тем не менее в объяснении механизмов образования расширений русла пока остается много вопросов.

6. ВЫВОДЫ

В исследовании приводятся первые данные о геолого-геоморфологическом строении днищ долин малых чётковидных рек Хопёрско-Бузулукской низменности, позволившие выбрать приоритетные версии их образования и наметить направления дальнейших исследований.

Днища долин Кардаила и Купавы имеют ширину до 1 км и характеризуются сложным строением, в котором выделяются приречная и тыловая части. Тыловая часть занимает большую часть дна долины и представлена поздневалдайской первой террасой, формировавшейся в условиях многолетней мерзлоты и пойменной многорукности.

Приречная часть состоит из трех уровней поймы и имеет следы развития излучин — гривы и серповидные старицы. Признаки мерзлоты обнаружены только на высокой пойме, формировавшейся

меандрирующей рекой большой водности. Формирование средней и низкой поймы происходило на фоне снижения водности реки. Низкая пойма образована при зарастании и заилинии бывшего дна меандрирующего русла реки.

Все уровни поймы подстилаются глинами, мощность которых превышает 6 м. Отложения в днище долины слабо дифференцированы по грансоставу. В них преобладает пылеватая фракция, русловая фация аллювия не выделяется. Отсутствие влеко-ных наносов способствует сохранению глубины чётков.

Озеровидные расширения распространены как в современном русле, так и в старицах на высокой пойме и террасе. Чётки в современном русле Кардаила имеют меньшие размеры, чем в старицах. Их образование происходило на фоне уменьшения речного стока, но не связано с агрогенным заилением.

Чётки в старицах на высокой пойме и первой террасе могут иметь палеокриогенное происхождение, но формировались они после отмирания русла. При этом существование на данной территории в позднем валдае подземных жильных льдов достаточной мощности пока не установлено.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Фотографии чётковидных русел и поперечные профили долин рек Кардаила и Купавны доступны по адресу: <https://geomorphology.igras.ru/jour/pages/view/dopmat>

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00008, <https://rscf.ru/project/23-27-00008/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Величко А.А. (1973) Основные особенности реликтовой криогенной морфоскульптуры и общие принципы ее картирования В сб.: *Палеокриология в четвертичной стратиграфии и палеогеографии*. М.: Наука. С. 121–134.

Геологическая карта и карта полезных ископаемых СССР. М-6 1:200000. Нижне-Волжская серия. Лист М-38-VII. Четвертичные отложения (1966). Под ред. Н.С. Морозова. Л.: ВСЕГЕИ. Картфабрика № 9.

ГОСТ 25100–2020. Грунты. Классификация (2020) М.: Стандартинформ. 38 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1:1000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист М-38. Волгоград. Объяснительная записка (2009). Под ред. С.И. Застрожного. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ.

Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130000 лет. Атлас-монография (2002). Под ред. А.А. Величко. М.: ГЕОС. 231 с.

Застрожный А.С. (2009) Неоген палео-Дона: стратиграфия и история геологического развития. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. СПб.: ВСЕГЕИ. 26 с.

Иванова Н.Н., Голосов В.Н., Панин А.В. (1996) Земледельческое освоение территории и отмирание рек Европейской части России. *Геоморфология*. № 4. С. 53–60.

Камышев А.А., Куракова А.А., Тарбева А.М. (2024) Распространение и морфометрические характеристики чётковидных русел северной части степной зоны Русской равнины. *Геоморфология и палеогеография*. Т. 55. № 4. С. 129–143. <https://doi.org/10.31857/S2949178924040089>

Лобанова Н.А. (2014) Особенности сельскохозяйственного районирования Волгоградской области. *Электронный научно-образовательный журнал ВГСПУ "Грани познания"*. № 4(31). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.grani.vspu.ru/> (дата обращения 30.09.2023).

Матлахова Е.Ю., Панин А.В., Беляев В.Р., Борисова О.К. (2019) Развитие долины Верхнего Дона в конце позднего плейстоцена. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. № 3. С. 83–92.

Основные гидрологические характеристики водных объектов бассейна реки Дон: научно-прикладной справочник (2020). Под ред. В.Ю. Георгиевского. СПб.: Свое издательство. 262 с.

Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Власов м.В. (2013) Мощный поздневалдайский речной сток в бассейне Дона. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. № 1. С. 118–129. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-118-129>

Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Чернов А.В. (2011) Основные этапы формирования пойм равнинных рек северной Евразии. *Геоморфология*. № 3. С. 20–31. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2011-3-20-31>

Погода и Климат [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/34240.htm> (дата обращения 30.09.2023).

Романовский Н.Н. (1977) Формирование полигонально-жильных структур. Новосибирск: Наука. 215 с.

Рябуха А.Г., Поляков Д.Г. (2020) Особенности распространения, морфологическое строение и механизмы формирования чётковидных русел малых рек степной зоны Оренбургской области. *Успехи современного естествознания*. № 4. С. 146–150.

Рябуха А.Г., Стрелецкая И.Д., Поляков Д.Г., Ковда И.В. (2025) Микрорельеф Заволжско-Уральского региона. *Геоморфология и палеогеография*. Т. 56. № 1. С. 161–180. <https://doi.org/10.31857/S2949178925010099>

Сидорчук А.Ю., Борисова О.К., Панин А.В. (2023) Палеогидрология рек бассейна реки Дон. *Гидросфера. Опасные процессы и явления*. Т. 5. № 2. С. 172–190. <https://doi.org/10.34753/HS.2023.5.2.172>

- Солодовников Д.А., Шинкаренко С.С. (2020) Гидрологические и гидрогеологические закономерности формирования речных пойм в бассейне Среднего Дона в современных условиях. *Водные ресурсы*. № 6. С. 719–728. <https://doi.org/10.31857/S0321059620060139>
- Тарбеева А.М. (2018) О происхождении чётковидной формы русел малых рек криолитозоны. *Геоморфология*. № 1. С. 88–95. <https://doi.org/10.7868/S043542811801008X>
- Тарбеева А.М., Крыленко И.В., Сурков В.В. (2016) Озеровидные расширения русел рек степной зоны и возможные причины их формирования (бассейн р. Урал в районе г. Орска). *Геоморфология*. № 1. С. 73–81. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2016-1-73-81>
- Тарбеева А.М., Крыленко И.В., Сурков В.В., Михайлова Н.М. (2024) Современные процессы в чётковидных руслах степных рек Хопёрско-Бузулукской равнины. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. № 3. С. 135–148. <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.79.3.11>
- Хоменко В.П. (2003) Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М.: ГЕОС. 216 с.
- Arp C.D., Whitman M., Jones B. et al. (2015) Distribution and biophysical processes of beaded streams in Arctic permafrost landscapes. *Biogeosciences*. No. 12. Iss. 1. P. 29–47. <https://doi.org/10.5194/bg-12-29-2015>
- Leopold L.B., Wolman M.G. (1957) River channel patterns – braided, meandering and straight. *USGS Numbered Series*. Vol. 282-B. P. 1–85. <https://doi.org/10.3133/pp282B>
- Williams R.T., Fryirs K.A. (2020) The morphology and geomorphic evolution of a large chain-of-ponds river system. *Earth Surf. Processes Landforms*. Vol. 45. Iss. 8. P. 1732–1748. <https://doi.org/10.1002/esp.4842>

MORPHOLOGY AND STRUCTURE OF THE VALLEY BOTTOMS OF THE STEPPE RIVERS WITH BEADED CHANNELS (ON THE EXAMPLE OF THE KARDAIL AND KUPAVA RIVERS, KHOPER-BUZULUK LOWLAND)¹

A. M. Tarbeeva^{a,#}, V. V. Surkov^{a,##}, I. V. Krylenko^{a,###}, and V. R. Belyaev^{a,####}

^a *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

[#] *E-mail: amtarbeeva@yandex.ru*

^{##} *E-mail: vita.surkov@yandex.ru*

^{###} *E-mail: i-krylenko@yandex.ru*

^{####} *E-mail: vladimir.r.belyaev@gmail.com*

Beaded channels, which are alternating lake-like extensions (beads) and narrow runs between them, are widespread on small rivers in the steppe zone, but there are different points of view regarding their genesis. To establish the origin of beaded channels, a detailed topographic survey was conducted in two key sites of the valleys, sediments in sections and boreholes were studied, and different versions of the origin of the channel extensions were analyzed. The most ancient rear part of the wide valley bottoms is occupied by the first terrace – a leveled surface with relict cryogenic microrelief and long beaded oxbows, covered by loess-like deposits. The high-level floodplain forms a belt of river meandering at the level of the big meanders, it differs slightly from the terrace in height, but beaded oxbow lakes, ridges and small depressions are clearly visible on it. The middle-level floodplain was formed during the period of decreased discharge. Its fragments are located within the belt of displacement of second-order meanders. The low-level floodplain formed as a result of overgrowing of the former bottom of the wide channel. The floodplain of all levels and the modern channel are underlain by dense silt and loams with a total thickness of more than 6 m, similar in composition to the deposits of the first terrace. The channel lag facies formed by bedload sediments is not distinguished in the deposits. The beaded structure of the channels is maintained due to the absence of bedload sediments in the modern channel. Beaded-shaped oxbow lakes on the high-level floodplain and terrace may have a cryogenic origin, since permafrost existed during the formation of these surfaces, and the fine-grained texture of the underlying sediments is favorable for ground ice aggregation. However, they acquired a bead-shaped form after the channel was abandoned. The possible cryogenic origin of beaded extensions of the modern channel requires a more detailed study of the age and structure of the enclosing sediments. The formation of deep extensions of the modern channel is not associated with silting of the riffles, since the thickness of the agrogenic silt does not exceed 1 m.

Keywords: fluvial processes; floodplain; relic cryogenic morphosculpture; alluvium; siltation; suffusion

¹ *For citation:* Tarbeeva A. M., Surkov V. V., Krylenko I. V., and Belyaev V. R. (2025) Morphology and structure of the valley bottoms of the steppe rivers with beaded channels (on the example of the Kardail and Kupava Rivers, Khoper-Buzuluk lowland). *Геоморфология и Палеогеография*. Vol. 56. No. 2. P. 213–230 (in Russ). <https://doi.org/10.31857/S2949178925020036>; <https://elibrary.ru/GPRSJH>

SUPPLEMENTARY MATERIALS

Photographs of distinct channels and cross-sections of the valleys of the Kardaila and Kupavna Rivers are available at: <https://geomorphology.igras.ru/jour/pages/view/dopmat>

ACKNOWLEDGMENTS

The work was supported by Russian Science Foundation, project No. 23-27-00008, <https://rscf.ru/en/project/23-27-00008/>.

REFERENCES

- Arp C.D., Whitman M., Jones B. et al. (2015) Distribution and biophysical processes of beaded streams in Arctic permafrost landscapes. *Biogeosciences*. No. 12. Iss. 1. P. 29–47.
<https://doi.org/10.5194/bg-12-29-2015>
- Georgievsky V.Yu. (Ed.) (2020) *Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki vodnykh ob'ektov basseina reki Don: nauchno-prikladnoi spravochnik* (Basic hydrological characteristics of water bodies of the Don River basin: scientific and applied reference book). Sankt-Petersburg: Svoe izdatel'stvo (Publ.). 262 p. (in Russ).
- GOST 25100–2020. Grunty. Klassifikatsiya (GOST 25100–2020. Soils. Classification) (2020) Moscow: Standartinform. 38 p. (in Russ).
- Ivanova N.N., Golosov V.N., Panin A.V. (1996) Agricultural cultivation of land and small rivers degradation in European Russia. *Geomorfologiya*. No. 4. P. 53–60 (in Russ).
- Kamyshev A.A., Kyrakova A.A., Tarbeeva A.M. (2024) Distribution and morphometric characteristics of beaded channels in the northern part of the steppe zone of the Russian Plain. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. Vol. 55. № 4. P. 129–143 (in Russ).
<https://doi.org/10.31857/S2949178924040089>
- Khomenko V.P. (2003) *Zakonomernosti i prognoz suffozionnykh protsessov* (Regularities and forecasting of suffusion). Moscow: GEOS (Publ.). 216 p. (in Russ).
- Leopold L.B., Wolman M.G. (1957) River channel patterns – braided, meandering and straight. *USGS Numbered Series*. Vol. 282-B. P. 1–85.
<https://doi.org/10.3133/pp282B>
- Lobanova N.A. (2014) Peculiarities of agricultural zoning of the Volgograd region. *Elektronnyi nauchno-obrazovatel'nyi zhurnal VGSPU "Grani poznaniya"*. No. 4(31). [Electronic resource]. Access way: www.grani.vspu.ru (accessed 30.09.2023) (in Russ).
- Matlakhova E.Yu., Panin A.V., Belyaev V.R., Borisova O.K. (2019) The Upper Don River valley evolution in the end of the Late Pleistocene. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. No. 3. P. 83–92 (in Russ).
- Morozov N.S. (Ed.) (1966) *Geologicheskaya karta i karta poleznykh iskopaemykh SSSR. M-b 1:200000. Nizhne-Volzhsкая seriya. List M-38-VII. Chetvertichnye otlozheniya* (Geological map and map of minerals of the USSR. M-b 1:200000. The Lower Volga series. Sheet M-38-VII. Quaternary deposits). Leningrad: VSEGEI. Kartfabrika № 9 (Publ.) (in Russ).
- Panin A.V., Sidorchuk A. Yu., Chernov A.V. (2011) The main stages of the flood-plain formation in northern Eurasia. *Geomorfologiya*. No 3. P. 20–31 (in Russ).
<https://doi.org/10.15356/0435-4281-2011-3-20-31>
- Panin A.V., Sidorchuk A. Yu., Vlasov M.V. (2013) High late valdai (vistulian) runoff in the Don River basin. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya geograficheskaya*. No. 1. P. 118–129 (in Russ).
<https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-118-129>
- Pogoda i Klimat (Weather and climate) [Electronic resource]. Access way: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/34240.htm> (access date 30.09.2023) (in Russ).
- Romanovskiy N.N. (1977) *Formirovanie poligonal'no-zhil'nyh struktur* (Formation of Cryogenic Polygonal Structures). Novosibirsk: Nauka (Publ.). 215 p. (in Russ).
- Ryabukha A.G., Polyakov D.G. (2020) Distribution, morphological structure and mechanisms of formation of bead-shaped channels of small rivers in the steppe zone of the Orenburg region. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. No. 4. P. 146–150 (in Russ).
- Ryabukha A.G., Streletskaya I.D., Polyakov D.G., Kovda I.V. (2025) Features of the microrelief of the Zavalzhye-Urals Region. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. Vol. 56. No. 1. P. 161–180 (in Russ).
<https://doi.org/S2949178925010099>
- Sidorchuk A. Yu., Borisova O.K., Panin A.V. (2023) Paleohydrology of rivers in the don river basin. *Gidrosfera. Opasnye protsessy i yavleniya*. Vol. 5. Iss. 2. P. 172–190 (in Russ).
<https://doi.org/10.34753/HS.2023.5.2.172>
- Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S. (2020) Present-day hydrological and hydrogeological regularities in the formation of river floodplains in the middle Don basin. *Water Resources*. No. 6. P. 977–986.
<https://doi.org/10.1134/S0097807820060135>
- Tarbeeva A.M. (2018) On the origin of beaded river channels shape in the permafrost zone on the origin of beaded river channels shape in the permafrost zone. *Geomorfologiya*. No. 1. P. 88–95 (in Russ).
<https://doi.org/10.7868/S043542811801008X>
- Tarbeeva A.M., Krylenko I.V., Surkov V.V., Mikhailova N.M. (2024) Modern processes in the beaded channels of steppe rivers of the Koper-Buzuluk plain. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. No. 3. P. 135–148 (in Russ).
<https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.79.3.11>
- Tarbeyeva A.M., Krylenko I.V., Surkov V.V. (2016) Lake-like extensions of the riverbeds in the steppe zone and possible causes of their formation (on the example of the Ural River Basin near city of Orsk). *Geomorfologiya*. No. 1. P. 73–81 (in Russ).
<https://doi.org/10.15356/0435-4281-2016-1-73-81>
- Velichko A.A. (1973) The main peculiarities of relic cryogenic morphosculture and general principles of its mapping.

- In: *Paleokriologiya v chetvertichnoi stratigrafii i paleogeografii*. Moscow: Nauka (Publ.). P. 121–134 (in Russ).
- Velichko A.A. (Ed.) (2002) *Dinamika landshaftnykh komponentov i vnutrennikh morskikh basseinov Severnoi Evrazii za poslednie 130000 let*. Atlas-monografiya (Dynamics of terrestrial landscape and inland marginal seas of Northern Eurasia during the last 130000 years. Atlas-monograph). Moscow: GEOS (Publ.). 296 p. (in Russ).
- Williams R.T., Fryirs K.A. (2020) The morphology and geomorphic evolution of a large chain-of-ponds river system. *Earth Surf. Processes Landforms*. Vol. 45. Iss. 8. P. 1732–1748. <https://doi.org/10.1002/esp.4842>
- Zastrozhnov A.S. (2009) *Neogen paleo-Dona: stratigrafiya i istoriya geologicheskogo razvitiya* (Neogene of the Paleo-Don: stratigraphy and history of geological development). PhD thesis. Saint-Petersburg: VSEGEI. 26 p. (in Russ).
- Zastrozhnov S.I. (Ed.) (2009) *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. M-b 1:1000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Tsentral'no-Evropayskaya. List M-38. Volgograd. Ob'yasnitel'naya zapiska* (State Geological Map of the Russian Federation. M-b 1:1000 000 (third generation). Central European Series. Sheet M-38. Volgograd. Explanatory note). Sankt-Petersburg: Kartfabrika VSEGEI (Publ.) (in Russ).