

УДК 551.435.11:551.89(1-924.85/.86)

МОЩНЫЙ ПОЗДНЕВАЛДАЙСКИЙ РЕЧНОЙ СТОК В БАССЕЙНЕ ДОНА

© 2013 г. А.В. Панин*, А.Ю. Сидорчук*, М.В. Власов**

*Географический факультет МГУ, **ООО “ФРЭКОМ”

Поступила в редакцию 23.03.2011 г.

На поймах и низких террасах рек бассейна Дона широко распространены геоморфологические признаки существования в прошлом значительно более высокого стока, чем в настоящее время. К таким признакам относятся: унаследованные макроизлучины (аномально крупные изгибы речных русел), большие палеоруслу, в том числе реликтовые макроизлучины (староречья, по размерам многократно превышающие современное русло), системы аномально крупных грив и крупные меандровые цирки в бортах долин и уступах высоких террас. В среднем течении р. Хопра выделены по космическим снимкам, разбурены и продатированы три генерации больших палеорусел, формировавшихся 13–16 (20?), 11–12 и 10–10.5 тыс.¹⁴С л.н. (некалиброванных). Сделанные по параметрам плановой геометрии макроизлучин первой и третьей генерации оценки палеорасходов воды составили соответственно: среднегодовые – в 4.3 и 1.8 раза, среднемаксимальные – в 3.8 и 1.6 раза больше современных. По окончании формирования второй генерации макроизлучин река была врезана относительно современной приблизительно на 5 м, после чего в условиях уменьшения стока началась направленная аккумуляция. По параметрам больших палеорусел для бассейнов площадью более 5000 км² выполнена оценка годового слоя стока для времени позднего валдая: он уменьшался от 500 мм на севере до 100 мм на юге бассейна. Общий годовой сток с бассейна Дона в позднем валдае оценен в 90 км³, что в 3.1 раза больше современного.

Введение. На речных поймах нередко встречаются ложбины, по морфологии идентичные обычным староречьям, но в несколько раз превышающие их по размерам. Г. Дьюри [15, 16] и И.А. Волков [2] предложили трактовку этих образований как гигантских палеорусел, свидетельствующих, что в какой-то период прошлого расходы воды рек значительно превышали современные. Поскольку эти палеоруслу чаще всего образуют извилистый в плане рисунок, вплоть до типичных меандровых петель, прорванных у основания шейки, в англоязычных работах они получили название “big meanders”, в отечественной литературе – “макроизлучины”.

Проблема макроизлучин затронула не только геоморфологические, но и палеогеографические и гидрологические вопросы и активно обсуждалась в последние десятилетия [10]. Здесь отметим лишь, что основанная на изучении макроизлучин гипотеза мощного стока рек в недавнем геологическом прошлом помогает в трактовке целого ряда геоморфологических особенностей речных долин, которые трудно объяснить исходя из представления о незначительности изменений речного стока. В их числе чрезмерная по отношению к

размерам современных рек ширина пойм, отмечавшаяся еще В.В. Докучаевым [5] и Н.И. Макавеевым [6]; крупные меандроподобные изгибы современных русел; имеющие аномально большой радиус, дугообразные системы грив и циркувидные выемки в бортах долин, а также так называемые “промежуточные террасы”.

Староречьями-макроизлучинами изобилуют долины рек степной и лесостепной полосы Восточно-Европейской равнины. Именно в этой части равнины макроизлучины имеют максимальные размеры относительно современных речных русел – превышают их до 10–15 раз [12]. Один из показательных регионов – бассейн среднего течения Дона от впадения р. Воронеж до г. Калач-на-Дону (начало Цимлянского водохранилища).

Морфологические следы высокого речного стока в бассейне среднего Дона. Анализ космических снимков и крупномасштабных топографических карт позволил обнаружить в речных долинах бассейна среднего Дона некоторые морфологические черты, которые трудно объяснить с позиций руслоформирующей деятельности современных рек.

1. Унаследованные макроизлучины – крупные меандроподобные изгибы речных русел, отличающиеся от обычных речных излучин значительно большими абсолютными размерами, а также аномальными значениями отношения шага излучин L_m к ширине потока в бровках поймы B_{bf} . Река в аллювиальных берегах, то есть без влияния геологической структуры, редко создает излучины с отношением $L_m/B_{bf} > 10$, обычно это отношение равно 5–7. Если такие крупные изгибы с $L_m/B_{bf} > 10$ не одиночны, а представлены парами или целыми сериями, есть основания считать их унаследованными от прошлых эпох, когда река была более многоводной, – унаследованными макроизлучинами [10, 11]. В широкопойменных долинах такие макроизлучины обычно осложнены мелкими излучинами, соответствующими современной водоносности реки. Например, в среднем течении р. Вороны имеется серия из четырех макроизлучин, наследуемых современным руслом (рис. 1а). Шаг макроизлучин 2400–3000 м, шаг современных излучин 100–200 м, ширина русла 30–40 м. Отношение L_m/B_{bf} составляет 4–5 для излучин и 50–100 для макроизлучин. В нижних крыльях двух макроизлучин, где русло следует вдоль коренных берегов, оно имеет относительно прямолинейные очертания, не осложненные излучинами; ширина русла здесь возрастает до 80–100 м, по-видимому, вследствие уменьшения уклона.

2. Большие палеоруслу, четко выделяющиеся на фоне “нормальных” староречий своими размерами: их ширина и шаг меандров в несколько раз превышают соответствующие параметры современного русла и созданных в процессе его деформаций староречий. Например, в среднем течении р. Медведицы при ширине речного русла 70–90 м и шаге современных излучин 300–600 м ширина фрагментов больших палеорусел составляет 180–280 м, а шаг образуемых этими палеоруслу меандров (реликтовых макроизлучин) – 1400–2200 м (рис. 1б).

3. Системы крупных грив, радиус кривизны которых значительно превышает радиус кривизны современного русла и соразмерных ему гривистых сегментов поймы. В среднем течении р. Вороны радиус кривизны таких грив составляет 800–1200 м при радиусе кривизны русла в вершинах современных излучин 50–150 м (рис. 1а).

4. Крупные меандровые цирки, в основании которых не дешифрируется палеорусло. Если на том же участке имеются палеорусла-макроизлучины и их размеры имеют тот же порядок величин, это дает основание интерпретировать крупные цирки как результат деятельности больших палеорусел.

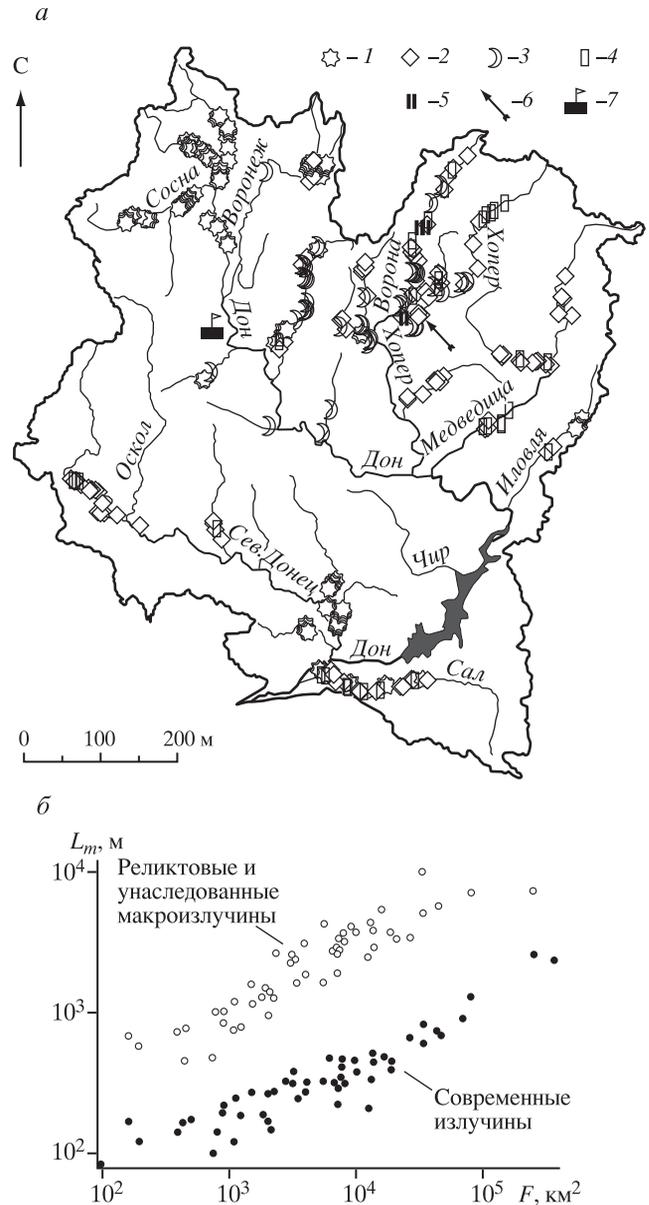


Рис. 1. Карта распространения морфологических следов мощного стока (а) и связь с площадью водосбора шагов современных излучин и макроизлучин в бассейне Дона 1 – унаследованные макроизлучины, 2 – макроизлучины-староречья, 3 – меандровые цирки, 4 – крупные относительно прямолинейные староречья, 5 – крупногривистые системы, 6 – положение ключевого участка в среднем течении р. Вороны; 7 – положение Костенковской группы позднепалеолитических стоянок.

Однако такие формы требуют дополнительного исследования, так как похожие крупные выемки в бортах долины могут формироваться при сползании постепенно искривляющейся излучины обычных размеров, при развитии серии излучин, а также быть следами озерных котловин.

Перечисленные морфологические признаки широко распространены в бассейне среднего

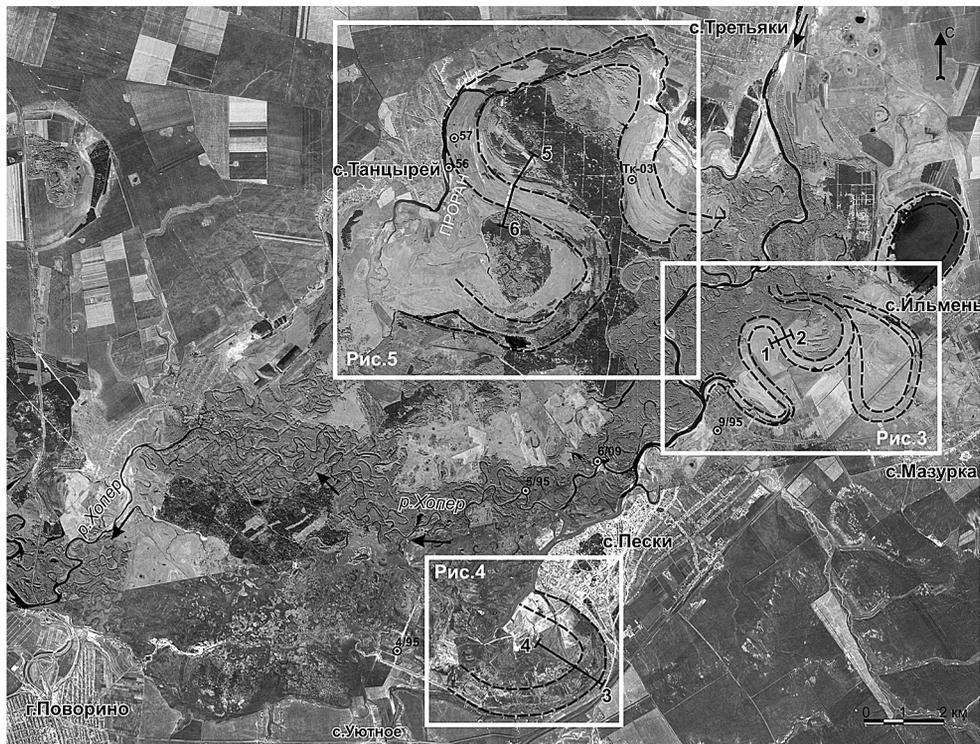


Рис. 2. Космический снимок участка долины р. Хопер между с. Третьяки и г. Поворино. Показаны линии буровых (сплошные черные линии) и топографических профилей (пунктирные белые) и отдельные упоминаемые в тексте скважины и разрезы.

течения Дона (рис. 1а). Разрешение изученных космоснимков (Landsat-7, пиксель 14.5 м) ограничивало анализ реками длиной более 100 км. На таких реках удалось обнаружить 216 унаследованных макроизлучин и 216 фрагментов больших палеорусл. Размеры макроизлучин, как унаследованных, так и реликтовых, обнаруживают прямую связь с площадью водосбора, аналогичную обычным активным излучинам. Из рис. 1б следует, что при неизменной площади водосбора размеры речных русел в прошлом значительно превышали их размеры в настоящем, причем это общая закономерность, проявляющаяся и на малых, и на крупных реках в пределах всего донского бассейна. Эту закономерность трудно объяснить иначе чем тем, что сток воды в прошлом значительно превышал современный. Изоляция региона от источников талых ледниковых вод позволяет считать этот повышенный (по отношению к современному) сток климатически обусловленным.

Для выяснения, когда действовал этот сток, необходимо датировать большие палеорусла. С этой целью были проведены полевые работы в долине среднего течения р. Хопра выше слияния с р. Вороной, где обнаружены хорошо сохранившиеся в рельефе древние русла. Положение участка показано на рис. 1а и рис. 2.

Большие палеорусла в среднем течении р. Хопра. Площадь бассейна Хопра в створе Поворино составляет 19100 км², среднегодовой расход воды 67.8 м³/с, среднемаксимальный – 991 м³/с, максимальный измеренный – 2910 м³/с. Хопер относится к рекам с восточноевропейским типом питания. Около 75–80% годового стока проходит в период весеннего половодья в апреле–мае. Половодье обычно начинается в первые числа апреля и достигает пика в последнюю декаду апреля. Летне-осенняя межень иногда прерывается невысокими дождевыми паводками, но их доля в годовом стоке невелика – 3–5%.

Пойма реки на участке Третьяки – Поворино образует расширение до 10–13 км, включая останцы песчаной первой террасы высотой 8–12 м. По взаимному расположению, относительной высоте, характеру первичного рельефа и его сохранности выделяется четыре разновозрастных генерации поймы (рис. 2). Четвертая пойменная генерация, наиболее молодая, тянется вдоль современного русла полосой шириной 1–2.5 км. На ее поверхности хорошо выделяется контрастный сегментно-гривистый рельеф, характерный для пойм меандрирующих рек – серповидные и сегментные старицы с веерообразными системами грив и ложбин. Высокая пойма имеет высоту

3–4 м, хотя высота прирусловых валов достигает местами 5–5.5 м. В районе г. Балашова (384 км от истока, площадь бассейна 14300 км²) пойма начинает затапливаться при уровнях около 3 м над меженью, а при уровне 4 м затопленными оказываются 75% площади поймы, в основном ее тыловые и центральные части [1]. При типичных половодьях уровень воды составляет 3–4 м над меженью; максимальная зафиксированная высота половодья – около 6 м (водопост Балашов). Ширина русла Хопра в бровках поймы варьирует от 30 до 100 м, типичная ширина 50–60 м. Аллювий песчаный. Русло меандрирует, шаг излучин варьирует от 100 до 500 м.

Пойма четвертой генерации формировалась во второй половине голоцена. О скоростях осадконакопления дают представление некоторые датировки образцов пойменных отложений (положение разрезов показано на рис. 2). Так, общая органика из глин в стенке мелиорационного канала через пойму в районе с. Уютное (разрез 4/95) дала следующие даты: на глубине 1.7–1.9 м – 4820±80 (Ki-6168), 1.1–1.2 м – 2905±60 (Ki-6167), 0.3–0.5 м – 1460±70 (Ki-6166). Все датировки здесь и далее даны в радиоуглеродных годах, если специально не оговорено. Скважина 56 на берегу пойменного озера Прорва вскрыла оглиненный мелкозернистый песок, на глубине 60 см возраст отложений составил 450±70 (Ki-7696). В пойменном разрезе 6/09 на правом берегу Хопра у с. Пески суглинистая почва, датированная 460±70 (ИГАН-3917), погребена песчано-супесчаным молодым аллювием на глубине 80 см. Для заполнения голоценового староречья на глубине 1.6–1.65 м в разрезе 5/95 получена дата 4670 ± 120 (Ki-6169). После калибровки радиоуглеродных дат получаем средние за 5500–5600 лет темпы пойменного осадконакопления – 0.30–0.32 мм/год, но в областях накопления песка вблизи современного русла в среднем за последние 500 лет скорости вертикального прироста поймы достигают 1.2–1.7 мм/год.

Третья генерация поймы выделена вдоль левого борта расширения долины, где на снимках читается серия палеоизлучин, отличающихся своими размерами как от более молодых, так и от более древних (рис. 3а). К большинству излучин привязаны веера блуждания, сильно выровненные последующей пойменной аккумуляцией. Преобладающие высоты поймы здесь – 2.5–3 м над меженью, гривистый рельеф выражен лишь местами, вершины грив покрыты лесом, а межгривные понижения местами заболочены. Наиболее крупные макроизлучины третьей генерации, сохранившиеся у левого шва поймы в районе

с. Мазурка характеризуются омеговидной формой, шириной палеоруслу 250–350 м и шагом палеоизлучин 1.5–1.7 км. Эти палеоизлучины, несмотря на значительную степень развитости, были спрямлены путем бокового размыва шейки меандров, т.е. пойма затапливалась неглубоко, и скорости течения на пойме были недостаточны для ее эрозии.

Три самые малые макроизлучины образуют единую серию, характеризующуюся шагом излучин 1.0–1.2 км и шириной палеоруслу 250–300 м. Вся серия была заброшена рекой одновременно за счет спрямления “сверху” – формирования наложенного протока. Это говорит о значительных скоростях течения при большой глубине затопления поймы – максимальные уровни воды должны были подниматься существенно выше 96 м. абс. (рис. 3б). По поперечному профилю через палеоруслу на перегибе между соседними макроизлучинами пробурено семь скважин, вскрывших заполнение палеоруслу и строение его поймы (рис. 3б). Палеоруслу выполнено толщей черной органосодержащей глины (гиттии), которая в нижней части разреза опесчанивается и переходит в опесчаненный суглинок или супесь. Глины перекрывают русловые пески. Из основания старичных гиттий получено три голоценовые даты: 8060±110 (Ki-7692, гиттия), 8525±90 (Ki-7730, гиттия) и 9420±90 (Ki-7728, торф), из которых последняя, как наиболее древняя, может быть взята как ближайшая оценка сверху времени отмирания палеоруслу. Общая продолжительность формирования рассматриваемой генерации макроизлучин была никак не меньше нескольких столетий, то есть период активности самых малых макроизлучин можно отнести к молодому дриасу и пребореалу.

Вторая генерация поймы выделена вдоль левого борта расширения долины в районе сел Пески, Уютное (бывшая Самодуровка) и г. Поворино. Макроизлучины второй генерации выражены только в виде цирковидных выемок склонов высоких террас; элементы палеоруслевой морфологии в современном рельефе не просматриваются и выявляются лишь при бурении, так как полностью погребены пойменным аллювием. У левого борта долины между с. Уютное и с. Пески расположена заболоченная ложбина шириной около 1 км (рис. 4а). Буровой профиль, заложенный поперек этой ложбины, вскрыл погребенное понижение в кровле русловых песков (рис. 4б). По кровле русловых песков реконструируется поперечный профиль сложного строения. Можно предположить, что изначально палеоруслу имело асимметричный (треугольный) поперечный про-

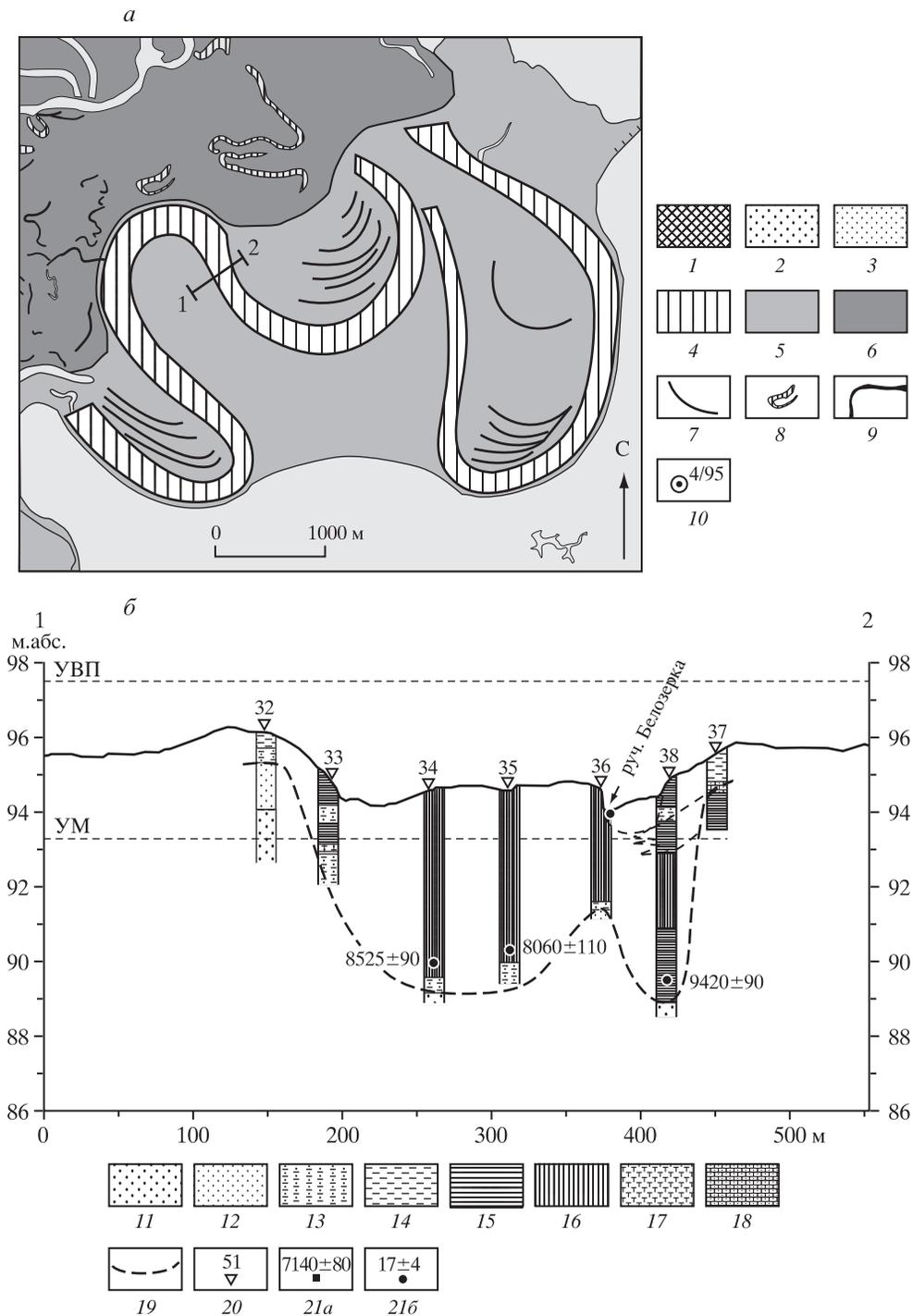


Рис. 3. Схема строения долины (*a*) и геологический профиль через палеоруслу (*б*) у с. Мазурка.

Обозначения к карте:

1 – эрозионные склоны; 2 – поздневалдайская 8–12-метровая терраса; 3 – 5–6-метровые песчаные террасы – аккумулятивные элементы макроизлучин; 4 – поздневалдайское палеоруслу; 5 – пойма, созданная в конце позднего валдая; 6 – пойма, созданная в голоцене; элементы рельефа: 7 – незатапливаемые поздневалдайские гривы; 8 – голоценовые палеоруслу; 9 – водоемы (русло Хопра, пойменные озера); 10 – скважины и разрезы за пределами профилей.

Обозначения к профилю:

11 – песок средне- и крупнозернистый; 12 – песок мелкозернистый; 13 – супесь; 14 – суглинок; 15 – глина; 16 – гиттия, гумусированный суглинок; 17 – торф; 18 – слои карбонатных новообразований; 19 – предполагаемое дно палеоруслу; 20 – скважины и их номера; 21 – места пробоотбора и даты: а – радиоуглеродные, ^{14}C лет.; б – термолуминесцентные, тыс. лет. УМ, УВП – современный уровень межени и уровень высоких половодий (в прирусловой части)

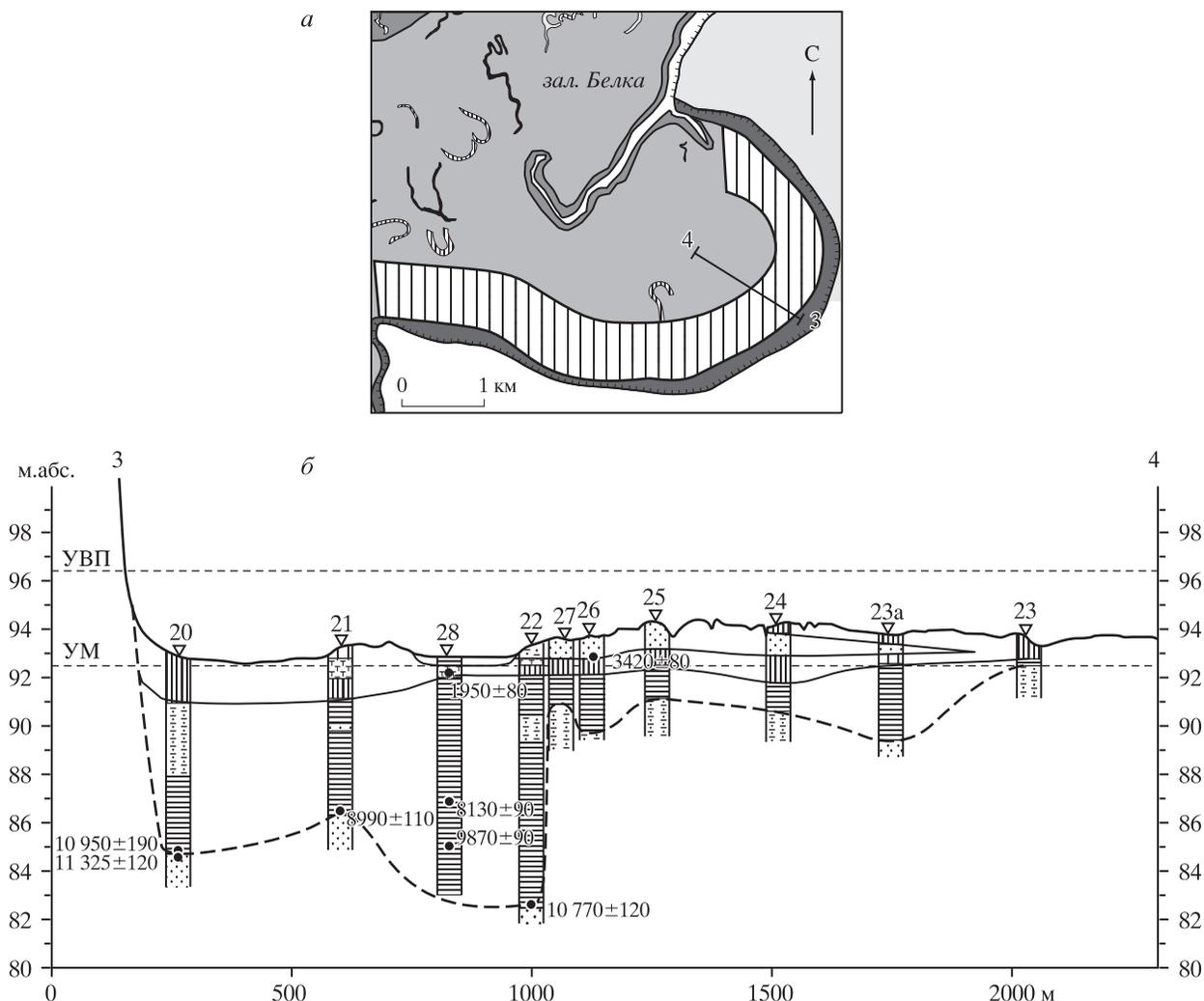


Рис. 4. Схема строения долины (а) и геологический профиль через палеоруслу (б) у с. Пески. Условные обозначения см. на рис. 3.

филь с максимальными глубинами в плесе у левого вогнутого берега. Здесь русловая фация аллювия – средне-крупнозернистые пески с редкой дресвой до 2 мм – вскрыты на глубине 8.2 м. В правой части располагалась прирусловая отмель, сложенная мелкозернистыми, местами заиленными песками, кровля которых вскрывается на глубинах 4–5 м. Старичная фация, выполняющая палеоруслу, представлена глинами, местами с прослоями заиленных песков. Даты по древесине в кровле русловых песков составили 11325±120 л.н. (Ki-7680), а по подошве старичных глин 10950±190 л.н. (Ki-7684).

Позднее в макроизлучине произошло усложнение поперечного профиля русла – плесовая ложина сместилась к правому борту палерусла, здесь фиксируется максимальная его глубина – дно русла на отметке 82.5 м.абс. Начало заполнения этой вторичной плесовой ложины датируется

10770±120 л.н. (Ki-7682). С учетом широких интервалов неопределенности, еще более увеличивающихся при калибровке радиоуглеродных дат, все три даты можно считать неразличимыми и датировать время отмирания палеорусла рубежом аллереда и позднего дриаса.

Из нижней части старичного заполнения в интервале высотных отметок 85–87 м.абс. получены раннеголоценовые даты: 9870±90 (Ki-7688); 8130±90 (Ki-7687) и 8990±110 (Ki-7681). Положение датированных слоев ниже дна уже отмерших к этому времени палеорусел следующей генерации (ср. рис. 3б) показывает, что в раннем голоцене в палеорусле у с.Уютное располагался глубокий старичный водоем.

К палеоруслам второго этапа привязаны устья крупных оврагов, которые врзались в левобережные террасы Хопра на 10–12 м. Дно оврагов

в устьевой части было привязано, очевидно, к меженному уровню воды в реке. О его положении можно судить по подошве пролювиальных отложений в разрезе 9/95 в устье оврага (ныне балки) Хопрец, расположенном на уровне 88.0 м. абс. (глубина в разрезе 7.0 м). Из основания пролювия получена дата, соответствующая времени функционирования второй генерации палеорусел – 11900 ± 120 (Ki-5305, древесина). Заполнение оврага продолжалось и в самом начале голоцена: с глубины 3.5 м получена дата 9600 ± 80 (Ki-5306, древесина). Высотное положение датированного образца (91.0 м. абс.) может указывать на положение меженного уровня реки в конце функционирования палеорусел следующей (третьей) пойменной генерации. Вскоре накопление пролювия в районе разреза 9/95 прекратилось, сменившись накоплением пойменного аллювия. Таким образом, к окончанию формирования макроизлучин второй генерации русло Хопра было врезано относительно современного приблизительно на 5 м (современный меженный урез – 93 м.абс.), и с конца позднеледниковья происходила направленная аккумуляция, закончившаяся к середине голоцена (высотное положение староречий этого времени не отличается от современного русла).

К первой генерации поймы относятся обширные затопляемые участки вдоль правого борта долины в районе с. Третьяки, Танцырей и дер. Петровское (рис. 2). В морфологии поверхности читаются дугообразные гривисто-ложбинные системы в виде полос шириной 1.5–2 км. Эти полосы на значительном протяжении ограничены высокими берегами и образуют крупные петлеобразные изгибы с шагом 2.5–3.5 км. Вогнутые берега этих изгибов – плавно обтекаемые крутые уступы террас. В выпуклых берегах располагаются возвышения, местами поднимающиеся над уровнем затопления и переработанные эоловыми процессами, местами с кулисообразным рисунком грив и ложбин, характерным для вееров блуждания меандров. Характерная морфология позволяет предположить, что эти изгибающиеся пойменные полосы наследуют русла гигантских излучин, созданные когда-то мощным речным потоком.

Буровой профиль заложен у правого борта долины, у с. Танцырей, на перегибе между соседними макроизлучинами – там, где у излучин обычно находится пережат (рис. 5а). Скважины вскрыли сложную толщу легких/средних суглинков, местами опесчаненных, мощностью 2.5–3.5 м. Местами мощность заполнения минимальна, экспонируется дно палеорусла. В основании разреза всюду залегают обводненные мелкозернистые, а

с глубины 5–6 м – средне-крупнозернистые пески русловой фации аллювия (рис. 5б). В средней части профиля кровля русловой фации образует возвышение, которое делит профиль на два погребенных понижения. Погребенное понижение в правой части профиля шириной порядка 550 м – меженное палеорусло, понижение в левой части профиля – затонская часть побочня, располагающегося выше по течению у выпуклого левого берега макроизлучины. Повышение кровли русловой фации в центре профиля представляет собой косу, отходящую от этого побочня.

Время активного действия палеорусла характеризуется AMS датой 20040 ± 70 (GdA-1922), полученной по общей органике слегка заиленных песков с глубины 5.3–6.0 м. Из песков, слагающих древнюю косу, имеется термолюминесцентная дата 17 ± 4 тыс. л.н. (РТЛ-808, О.А. Куликов, лаборатория МГУ, 1995 г.), что соответствует примерно 14 ± 3 тыс. л.н. по радиоуглеродной шкале. С противоположной стороны террасового массива в скважине Тк-03 в верхней части того же палеорусла из основания суглинистого заполнения (глубина 2.5–3.0 м) по общей органике получена AMS дата 14470 ± 40 (GdA-1923). Местами осадки заполнения палеорусла оторфованы, из образца этих отложений с глубины 2.3–2.4 м получена дата 7140 ± 80 (Ki-7695).

Таким образом, макроизлучины первой генерации были активны вплоть до времени 14 тыс. ¹⁴C л.н. и заполнялись наносами на протяжении голоцена. Возможно, при формировании макроизлучин второй или третьей генерации произошло усложнение формы макроизлучин первой генерации, они стали сундучными.

Незатопляемые песчаные массивы относительно высотой 5–6 м формировались в шпорах макроизлучин в процессе искривления русла, то есть они одновозрастны макроизлучинам. Уже после отмирания макроизлучин пески в их шпорах были перевеяны на значительную глубину, чем и объясняются относительно молодые РТЛ и ¹⁴C даты в скважинах 15 и 50 (рис. 5б).

От поздневалдайской 8–12-метровой террасы дно макроизлучин всюду отделяется крутым уступом, т.е. макроизлучины врезаны в эту террасу и образовались уже после ее формирования. На участке Третьяки-Поворино эта терраса сохранилась лишь фрагментами и сильно переработана эоловыми процессами. Ниже Поворино первая терраса занимает места большую часть ширины долины реки, на ее поверхности хорошо виден криогенный рельеф: степные блюдца, ориентированные озера. Однако русловой рельеф на

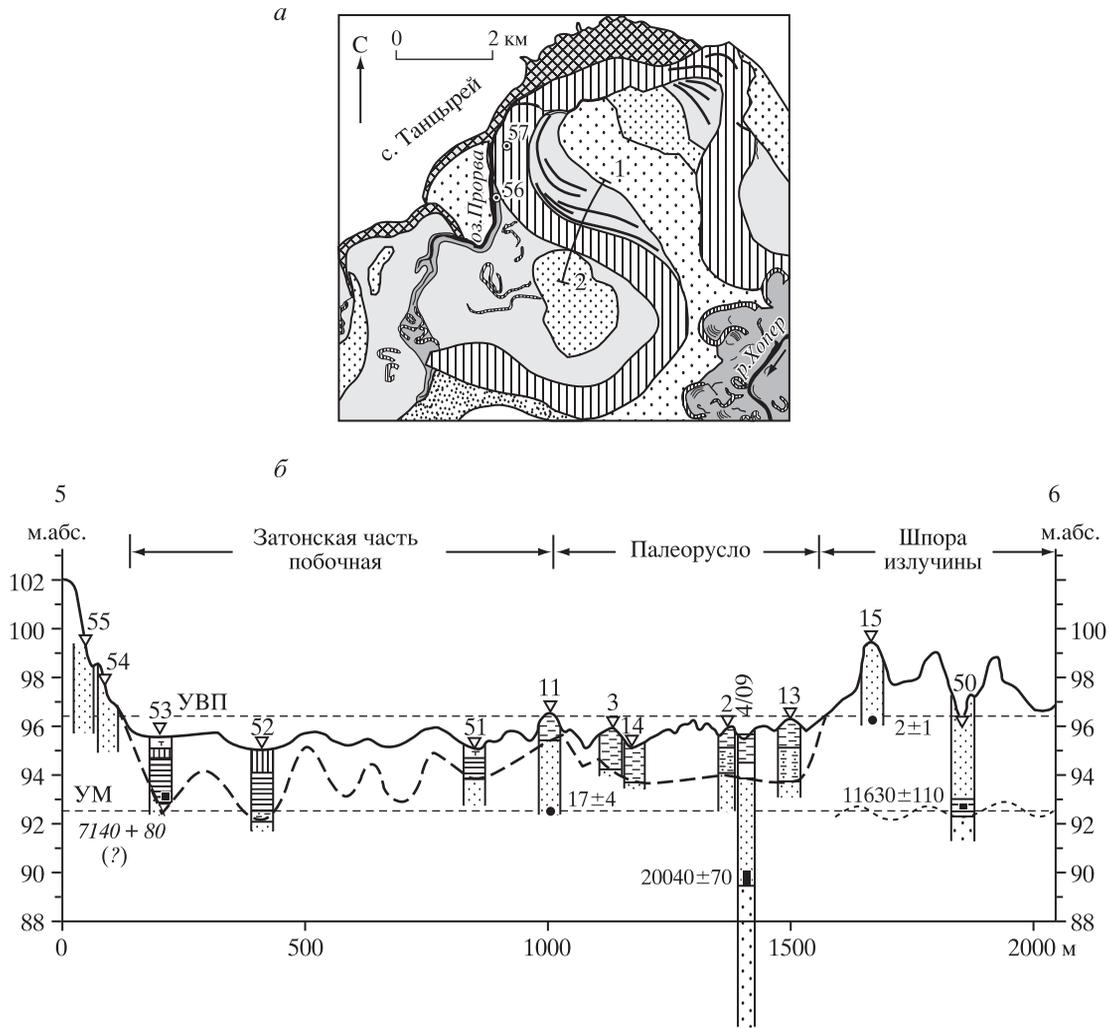


Рис. 5. Схема строения долины (а) и геологический профиль через палеорусло (б) у с.Танцырей. Условные обозначения см. на рис. 3.

ее поверхности не сохранился. Сложена терраса среднезернистыми хорошо промытыми песками мощностью более 10 м, лишена покрова лессов. О морфологии русла и режиме реки, которая сформировала эту террасу, в настоящее время судить сложно.

Оценка стока воды. В практике гидрологических и русловых исследований широко применяются гидролого-морфологические зависимости, связывающие параметры плановой геометрии речных русел (ширину, шаг и радиус кривизны излучин) с характерными расходами воды. Такой способ, основанный на характеристиках плановой геометрии палеорусел, разработан ранее [12, 13]. Усовершенствование по сравнению с предыдущими попытками палеогидрологических реконструкций по гидравлично-морфометрическим зависимостям [7, 15, 16, 23, 24] состоит в применении принципа палеогеографической аналогии

[20], позволяющего учесть трансформацию водного режима в прошлом по сравнению с современностью.

Кратко суть метода состоит в следующем. Для современных рек из разных природных зон Русской равнины и Западной Сибири получена эмпирическая зависимость, связывающая среднегодовой расход воды Q_{mean} м³/с и ширину речных русел в бровках поймы W_{bf} м:

$$Q_{mean} = 0,012 y^{0.73} W_{bf}^{1.36}. \quad (1)$$

Здесь $y = 100 (Q_{mean}/Q_{max})$, где Q_{max} – среднемаксимальный расход воды (м³/с). Параметр y характеризует внутригодовую изменчивость стока (чем меньше y , тем больше неравномерность стока). Эта изменчивость связана с величиной водосборной площади F км²:

$$y = a F^{0.125}, \quad (2)$$

т.е. чем крупнее водосбор, тем равномернее сток. Эта формула применима для рек с площадью водосбора более 5000 км². Параметр a различается для разных природных зон, то есть определяется ландшафтно-климатическими условиями. Для палеореконструкций следует использовать его значения, соответствующие природным обстановкам прошлого. Для этого по палинологическим данным определяется состав палеофлоры и методом ареалограмм [4] определяется современный район-аналог, где встречаются все или большинство элементов данной палеофлоры. Для этого района определяются параметры a и u , и далее по приведенным выше формулам рассчитываются Q_{mean} и Q_{max} . Среднеквадратическая ошибка вычисляемых таким способом палеорасходов оценивается примерно в 30% [13].

Описанная процедура реконструкций была применена к палеоруслу Хопра. Формула (1) наиболее эффективна для рек со слабозатапливаемой поймой, когда морфология русла наиболее полно отражает гидрологические характеристики. Этим условиям соответствуют макроизлучины Хопра 1 и 2 генераций, а также самые большие макроизлучины 3 генерации. Ширина палеорусел оценивалась по данным бурения и по космическим изображениям, шаг палеоизлучин измерялся по космическому снимку. Практика измерений показала, что границы палеорусел не всегда идентифицируются уверенно, и измерения их ширины могут содержать значительные погрешности, выходящие за рамки естественной изменчивости. Более надежно измеряется шаг палеоизлучин. Его величина определяется шириной русла [17], и это дает возможность уточнить измерения ширины, введя в расчетную формулу “эффективную ширину”, рассчитанную через шаг излучин:

$$W_{bf}^* = (W_{bf} + L_m/K_L)/2, \quad (3)$$

где W_{bf} – ширина палеорусел, измеренная по картам, L_m/K_L – ширина, рассчитанная через средний шаг излучин, для коэффициента K_L на основании массовых измерений принимается значение 5.7 [13].

Для условий сурового климата времени формирования макроизлучин первой (до древнейшего дриаса) и третьей (молодой дриас) генераций в центральных районах Русской равнины в качестве региона-аналога берется тундровая зона северо-востока Русской равнины, для которой параметр a в уравнении (2) равен 2.25 [13]. Для периода формирования макроизлучин второй генерации регион-аналог подобрать сложно, для этих палеорусел вычисления не проводились. При формировании малых макроизлучин третьей

генерации пойма затапливалась на значительную глубину и сток половодья не полностью отражался в размерах макроизлучин, для этих палеорусел вычисления палеостока также не проводились. Рассчитанные значения среднемноголетних и среднемаксимальных палеорасходов воды (таблица) превышают современные для времени 13–16 тыс. ¹⁴C л.н. (функционирование макроизлучин первой генерации) – в 4.3 и 3.8 раза и для времени 10.5 тыс. ¹⁴C л.н. (макроизлучины третьей генерации) – в 1.8 и 1.6 раза соответственно. Для макроизлучин второй генерации расчеты не проводились ввиду неопределенности их морфологических параметров (погребенное состояние, выявленная бурением значительная перестройка поперечного сечения).

Восстановление ширины палеорусел по буровым данным возможно лишь в единичных случаях. Для массовых реконструкций приходится ограничиваться измерениями по картам и снимкам. В долинах донского бассейна большие палеоруслу распространены как одиночно, так и группами, что дает достаточный статистический материал для определения средних параметров палеорусел на относительно бесприточных участках рек. По этим параметрам с помощью описанной выше процедуры рассчитаны значения среднегодовых палеорасходов воды и слоя годового стока для времени формирования палеорусел первой генерации, как наиболее часто выраженных в рельефе. Расчеты проводились для участков рек с площадью бассейна более 5000 км².

Значения слоя палеостока достаточно вариabельны в пространстве, что можно отнести за счет неизбежных ошибок реконструкции. Для сглаживания этой вариabельности проведено пространственное осреднение методом скользящего окна. Размер окна 3°×5° (в среднем 333×350 км). Осреднение проводилось с перекрытием 50% как в широтном, так и в долготном направлениях. Для бассейнов, геометрический центр которых попадает внутрь окна, вычислялось среднее арифметическое значение слоя палеостока и относилось к центру окна. Полученные сглаженные значения позволяют провести изолинии палеостока (рис. 6). Как в осреднении, так и в проведении изолиний участвовали данные, полученные ранее по соседним бассейнам – волжскому [21] и днепровскому [22].

Реконструированный палеосток демонстрирует черты зональности, близкие к современным: как и в настоящее время, в позднем валдае слой стока уменьшался в юго-восточном направлении (рис. 6). В верховьях донского бассейна он дости-

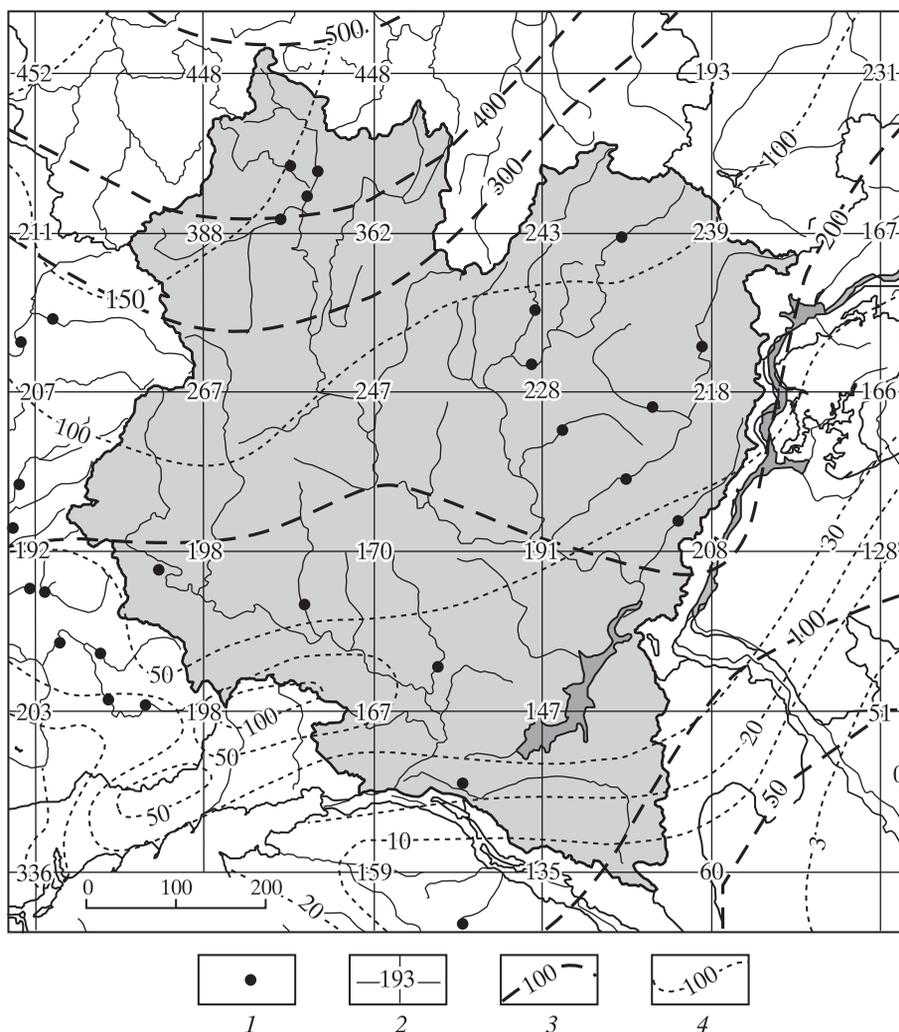


Рис. 6. Карта годового слоя речного стока в позднем валдае.

1 – замыкающие створы расчетных бассейнов площадью >5000 км²; 2 – значения стока, осредненные по трапециям $3^{\circ} \times 5^{\circ}$ и отнесенные к их центрам; 3 – изолинии стока, проведенные по осредненным значениям; 4 – изолинии современного стока (по [3])

гал 500 мм/г, в низовьях падал до 100 мм/г. Согласно [3], в настоящее время годовой слой стока в верховьях Дона составляет 150 мм, а в бассейне Сала – левого притока нижнего Дона – лишь 10–20 мм, т.е. значительно меньше, чем в поздневалдайское время. Средневзвешенный по площади годовой слой стока в позднем валдае оценивается в 235 мм. Это эквивалентно годовому объему стока в замыкающем створе 90 км³, что в 3.1 раза больше современного (29 км³). Близкая оценка – 110 км³ – была получена ранее [22]. Различие, которое следует признать вполне приемлемым, объясняется изменением фактической базы расчетов (добавлено несколько бассейнов) и изменением процедуры проведения изолиний стока (введение площадного осреднения).

Обсуждение результатов. Анализ космических изображений показывает, что на равнинах

Северной Евразии на поймах и низких террасах рек обычно выделяются большие палеоруслы только одной генерации. Следы многоэтапного изменения морфологии палеорусел были выявлены лишь в нескольких случаях: на Хопре, на Сейме и на Мокше. В остальных случаях выделяется одна система больших палеорусел. В настоящее время возраст больших палеорек равнин Северной Евразии определен в небольшом числе речных долин по данным радиоуглеродного и пыльцевого анализов старичных отложений (см. табл. 1 в [13]). Палеоизлучины на пойме р. Сейм у Льгова и р. Свапы у ее устья были отшнурованы от основного русла около 14 тыс. ¹⁴C лет назад [8]. В долине Протвы у Боровска отмирание большого палеоруслы относится к 12–13 тыс. ¹⁴C лет назад. Палеоруслы р. Бердь и р. Самары были заброшены около 13 тыс. ¹⁴C лет

Таблица. Оценки палеорасходов и современные расходы воды р. Хопра

Объекты	Время, тыс. ¹⁴ C лет назад	Время, тыс. кал. лет назад	Параметры плановой геометрии палеорусел		Палеорасходы воды, м ³ /с	
			Средняя ширина, м	Средний шаг палеоизлучин, м	Средне-многолетний	Средне-максимальный
1-я генерация макроизлучин (Танцырей)	13–16	17–18	600	3000	295	3800
3-я генерация макроизлучин (Мазурка)	10–10.5	11.5–12.5	300	1600	120	1550
Современная река			60	300	67.8	991

назад. Большая излучина р. Москвы у д. Остров была отчленена от реки более 15 тыс. ¹⁴C лет назад. Все эти палеореки характеризуются хорошо развитыми меандрами, часто омеговидными. Их формирование продолжалось не менее 1–2 тыс. лет. Поэтому образование больших рек равнин Северной Евразии можно отнести к периоду 13–16 тыс. ¹⁴C лет назад, т.е. к концу пленигляциала и позднеледниковью. С этими макроизлучинами, по-видимому, коррелируют по возрасту наиболее древние макроизлучины Хопра – серия, расположенная у с. Танцырей. Поэтому приведенные на рис. 6 величины палеостока можно отнести ко времени перед ранним дриасом.

Возрастной аналог более молодых макроизлучин Хопра у с. Уютное, имеющих возраст 11–12 (и ранее) тыс. ¹⁴C л.н., в других долинах Восточно-Европейской равнины достоверно пока не обнаружен. Возможно, к этому времени относится формирование унаследовавших макроизлучины поясов меандрирования некоторых рек, в частности, Сейма [8]. Макроизлучины, которые отмирали в бёллинге-аллерёде (11–13 тыс. ¹⁴C л.н.), широко представлены в центральной Европе [18]. Напротив, датированных макроизлучин с возрастом 14 тыс. ¹⁴C лет и более в Европе нет, есть лишь косвенные указания на возможное присутствие макроизлучин древнее бёллинга – перекрытия больших палеорусел эоловыми дюнами, формирование которых относится, возможно, к раннему дриасу [18]. Это не означает, что европейские реки того времени были маловодны. Они не меандрировали, а разветвлялись на рукава [19], и причиной этого, скорее всего, служила перегрузка наносами. Напротив, в период 11–12 тыс. ¹⁴C л.н. на европейских реках повсеместно отмечается формирование “больших меандров”: разветвленные русла трансформировались в меандрирующие.

В центре Восточно-Европейской равнины выявляется, таким образом, несколько достоверных периодов повышенного речного стока с формированием в долинах рек макроизлучин (“больших меандров”): 13–16, 11–12, 10–10.5 тыс. ¹⁴C л.н. Не исключено, что наличие трех интервалов времени является следствием недостатка числа датированных объектов, и все они относятся к единому периоду высокого (но уменьшающегося во времени) стока 16–10 тыс. ¹⁴C л.н. Рост числа датированных палеорусел позволит уточнить хронологические рамки и внутреннюю структуру периода высокого речного стока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов Б.Н., Завадский А.С., Ковалёв С.Н., Крыленко И.В. и др. Руслые и эрозионные процессы в долине р. Хопра у г. Балашова // Эрозия почв и руслые процессы. 2005. Вып. 15. С. 68–101.
2. Волков И. А. К истории речных долин юга Западно-Сибирской низменности // Четвертичная геология и геоморфология Сибири. Новосибирск: Наука, 1962. С. 34–47.
3. Воскресенский К.П., Ельцова Г.А., Стародубцева Г.Г. Европа. Средний годовой сток // Атлас мирового водного баланса. М.–Л: Гидрометеиздат, 1974. Карта 11.
4. Гричук В.П. Опыт реконструкции некоторых элементов климата Северного полушария в атлантический период голоцена // Голоцен. М.: Наука, 1969.
5. Докучаев В.В. Способы образования речных долин Европейской России. СПб.: Типография В. Демакова, 1878. 221 с.
6. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в её бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 346 с.
7. Маккавеев Н.И., Хмелева Н.В., Гунн Го-юань. Свободные меандры // Экспериментальная геомор-

- фология. Вып.2. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1969. С. 25–62.
8. *Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Баслеров С.В., Борисова О.К. и др.* Основные этапы истории речных долин центра Русской равнины в позднем валдае и голоцене: результаты исследований в среднем течении р. Сейм // Геоморфология. 2001. № 2. С. 19–34.
 9. *Панин А.В.* Флювиальные процессы и формы рельефа // География, общество и окружающая среда. Т. 1. Структура, динамика и эволюция природных геосистем / Под ред. В.Н.Конищева и Г.А.Сафьянова. М.: Изд. дом “Городец”, 2004. С. 74–107.
 10. *Панин А.В., Сидорчук А.Ю.* Макроизлучины (“большие меандры”): проблемы происхождения и интерпретации // Вестн. МГУ. Сер. 5. Геогр. 2006. № 6. С.14–22.
 11. *Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Чернов А.В.* Макроизлучины рек ЕТС и проблемы палеогеографических реконструкций // Водные ресурсы. 1992. № 4. С. 93–96.
 12. *Сидорчук А.Ю., Борисова О.К., Панин А.В.* Поздневалдайские палеоруслы рек Русской равнины // Изв. РАН. Сер. геогр. 2000. № 6. С. 73–78
 13. *Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К.* Климатически обусловленные изменения речного стока на равнинах северной Евразии в позднеледниковье и голоцене // Водные ресурсы. 2008. № 4. С. 406–416.
 14. *Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В.* Речные излучины. М.: Географ. фак-тет МГУ, 2004. 370 с.
 15. *Dury, G.H.* Principles of underfit streams // US Geol. Surv. Prof. Pap. 452-A, 1964a. 67 p.
 16. *Dury G.H.* Subsurface exploration and chronology of underfit streams // US Geol. Surv. Prof. Pap. 452-B, 1964b. 56 p.
 17. *Leopold L.B., Wolman M.G.* River Meanders // Geological Soc. Amer. Bul. 1960. V. 71. P. 769–794.
 18. *Schumanski A.* Paleochannels of large meanders in the river valleys of the Polish Lowland // Quaternary Stud. Poland. 1983. № 4. P.207–216.
 19. *Schirmer W.* Valley bottoms in the late Quaternary // Z. Geomorph. N.F. Suppl.-Bd. 100. 1995. P.27–51.
 20. *Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K.* Method of paleogeographical analogues in paleohydrological reconstructions // Quaternary Int. 2000. 72 (1). P. 95–106.
 21. *Sidorchuk A., Panin A., Borisova O.* Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East Eur. Plain) during the Late Glacial period // Geomorphology. 2009. 113. P. 137–157.
 22. *Sidorchuk A., Panin A., Borisova O.* Surface runoff to the Black Sea from the East European Plain during Last Glacial Maximum–Late Glacial time // Geolog. Geoarchaeol. Black Sea Region: Beyond Flood Hypothesis: Geolog. Soc. Amer. Special Paper / Eds. Buynevich I., Yanko-Hombach V., Gilbert A.S. and Martin R.E. № 473. 2011. P.1–25.
 23. *Starkel L., Kalicki T., Soja R., Gebica P.* Analysis of paleochannels in the valleys of the upper Vistula and the Wisloka // Evolut. Vistula River Valley during Last 15.000 Years. P. VI. Continuo / Eds. Istarkel L. Wroclaw, 1996. P. 30–35.
 24. *Williams G.P.* Paleofluvial estimates from dimensions of former channels and meanders // Flood Geomorphology / Ed. V.R. Baker, R.C. Kochel, P.C. Patton. 1988 John Wiley and Sons, Ltd. P. 321–334.

HIGH LATE VALDAI (VISTULIAN) RUNOFF IN THE DON RIVER BASIN

A.V. Panin*, A.Yu. Sidorchuk*, M.V. Vlasov**

*Faculty of Geography, Moscow State University

**Frecom Ltd.

Geomorphic evidences of a higher than today river runoff are found widely on river floodplains and low terraces over the Don River basin, including inherited macromeanders (anomalously big bends of modern river channels), big paleochannels including relic macromeanders (paleomeanders several-fold larger in size than are modern meanders), systems of anomalously large curved levees and meander scars at valley and terrace edges. Three age generations of big meandering paleochannels in the Khoher River middle course are detected for the first time on space images and then explored in the field. They had been forming during 13–16 (20?), 11–12 and 10–10.5 kyr BP (uncalibrated). Planimetric parameters of the first and third paleomeander generations provided estimations of runoff: mean annual paleodischarges were 4.3 and 1.8 times, and mean maximum paleodischarges were 3.8 and 1.6 times more than present-day discharges. By the end of formation of the second macromeander generation, the channel had incised approximately 5 m below its present level. After that progressive aggradation began because of reduction of river discharge. Estimation of the Late Valdai runoff was completed for number of basins which are more than 5000 km² in area. Within the Don basin, runoff layer decreased southwards from 500 mm to 100 mm. Total annual runoff from the Don basin in the Late Valdai is estimated at 90 km³, which is 3.1 times greater than at present.