

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ДОЛИНЫ р. МОКШИ В КОНЦЕ ПОЗДНЕГО ПЛЕЙСТОЦЕНА

© 2021 г. Е. Ю. Матлахова^{1,2,*}, В. Ю. Украинцев^{2,3}, А. В. Панин^{2,3}

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

² *Институт водных проблем РАН, Москва, Россия*

³ *Институт географии РАН, Москва, Россия*

*E-mail: matlakhova_k@mail.ru

Поступила в редакцию 08.12.2020 г.

После доработки 28.01.2021 г.

Принята к публикации 09.04.2021 г.

Для реконструкции позднеплейстоценовой истории развития долины р. Мокши было проведено геоморфологическое изучение ключевого участка долины в нижнем течении реки (от впадения р. Цны до устья), выделены возрастные генерации поймы, проведено бурение в пределах палеорусел, методами радиоуглеродного (AMS) датирования установлен возраст различных аллювиальных толщ, слагающих дно долины. Анализ полученных данных позволил реконструировать основные этапы развития долины р. Мокши в конце позднего плейстоцена. В промежутке между 40 и 30 тыс. л. н. происходило врезание реки глубже современного уровня, обусловленное ростом водности, связанным с климатическими изменениями. Далее врезание сменилось заполнением долины, вызванным иссушением климата и падением величин стока, которое было наиболее сильным во время последнего ледникового максимума (LGM, 23–20 тыс. л. н.). Трансформации продольного профиля реки путем направленной аккумуляции способствовало значительное поступление наносов с водосбора в условиях разреженной растительности и криогенной активизации склоновых процессов. В позднеледниковье, начиная с 18,5 тыс. л. н., снова произошло значительное повышение водности, русло реки стало формировать крупные меандры – макроизлучины, миграция которых привела к разработке современного широкого дна долины. Для голоцена было характерно понижение водности, уменьшение параметров русла и сужение пояса меандрирования реки. Значительной аккумуляции в русле не происходило вследствие снижения поступления наносов за счет бассейновой эрозии в ландшафтно-климатической обстановке межледниковья.

Ключевые слова: позднеледниковье, большие палеорусла (макроизлучины), палеогеография плейстоцена, история развития речных долин, флювиальная геоморфология

DOI: 10.31857/S043542812103007X

ВВЕДЕНИЕ

В долинах рек Восточно-Европейской равнины широкое распространение имеют большие палеорусла (макроизлучины), расположенные на поймах и низких террасах [1–4]. Параметры макроизлучин в разы превышают характеристики современных рек и являются свидетельствами мощного речного стока, обычно датируемого на данной территории позднеледниковьем [5, 6]. Долина р. Мокши в этом отношении не является исключением. Вероятно, нижнее течение Мокши – от впадения р. Цны и до устья – наилучший с геоморфологической точки зрения участок для изучения макроизлучин во всем бассейне Оки: здесь хорошо сохранилось большое количество палеорусел, среди которых по размеру можно выделить две генерации – большие, по параметрам в

несколько раз превышающие современное русло, и малые, соответствующие его современным размерам. Датирование отложений, слагающих днище долины, а также заполняющих палеорусла, позволило реконструировать историю развития долины р. Мокши в позднем плейстоцене, а также оценить изменения водности реки в этот период.

ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Исследуемая территория располагается на тектонически стабильной древней Русской платформе. Формирование речной долины происходило в пределах четвертичного чехла, сложенного осадками различного генезиса: ледникового, водно-

Таблица 1. Датировки аллювия из заполнения долины р. Мокши

Лабораторный номер	Скважина	Глубина, м	¹⁴ C-дата*, тыс. л. н.	Кал. дата, тыс. л. н.
IGAN-7719	Мк-19-03	3.20–3.30	15075 ± 40	18460 ± 130
IGAN-7720	Мк-19-03	5.20–5.30	15410 ± 40	18740 ± 50
IGAN-7723	Мк-19-03	8.35–8.40	19320 ± 55	23280 ± 190
IGAN-7728	Мк-19-03	15.50–15.60	31630 ± 120	35980 ± 170
IGAN-7721	Мк-19-06	5.40–5.45	27950 ± 90	31860 ± 160
IGAN-7724	Мк-19-06	10.60–10.70	26690 ± 80	30980 ± 70
IGAN-7729	Мк-19-06	18.00–18.10	26660 ± 80	30970 ± 80
IGAN-7727	Мк-19-11	14.40–14.45	32320 ± 135	36630 ± 180

Примечание. * – все датировки сделаны по общему углероду (ТОС).

ледникового, озерно-ледникового, аллювиально-го и склонового. Ледниковые отложения представлены суглинками с галькой, гравием и валунами; водно- и озерно-ледниковые – песками, иногда с гравием и галькой, а также супесями, суглинками и глинами разной мощности. Аллювий – песками, часто с гравием и галькой, а также супесями, суглинками или глинами, нередко в виде прослоев или линз; склоновые отложения – преимущественно суглинками [7–9].

Под четвертичным чехлом залегают осадки различной литологии неогенового, мелового, юрского и каменноугольного возраста. Неогеновые отложения сохранились в основном в пределах междуречий и представлены преимущественно аллювиальными и озерными песками, алевритами и глинами. Меловые – морскими песками, алевритами, глинами и песчаниками, в отдельных случаях песками или песчаниками с фосфоритами; юрские – в основном глинами и песками, реже – песчаниками или алевритами, иногда встречаются конкреции фосфоритов или сидеритов. Морские отложения верхнего и среднего карбона – это известняки, доломиты, мергели и глины, реже встречаются прослои песчаников, песков или алевритов [9, 10].

Долина Мокши на рассматриваемом участке врезается в породы юры, и аллювий подстилают келловейские глины, алевриты и пески, реже – песчаники с конкрециями сидеритов и фосфоритов [10].

В геоморфологическом отношении исследуемая территория находится в пределах Окско-Донской низменности, перекрывавшейся в раннем неоплейстоцене донским ледником; более поздние оледенения территорию не затрагивали. Для региона в целом характерен равнинный террасированный зандрово-аллювиальный рельеф на погребенной аллювиально-морской равнине неогенового возраста. Аккумулятивных ледниковых форм рельефа на междуречьях не сохранилось, а эрозионная сеть отличается большой гу-

стотой и имеет древовидный в плане рисунок. Очертания форм рельефа обычно сглажены, что объясняется преобладанием песков и суглинков как среди четвертичных отложений, так и среди подстилающих их коренных пород. По данным геологической съемки, в долине Мокши выделяется до четырех надпойменных террас [8].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые работы в долине р. Мокши включали механическое бурение с помощью установки “Pride Mount 80” на шасси УАЗ 3310 усовершенствованным шнековым способом для изучения геологического строения палеорусел (12 скважин глубиной от 11.5 до 22.5 м, обычно 17.5–18.5 м), отбор образцов на радиоуглеродное датирование и гранулометрический анализ, геоморфологическое обследование и картографирование территории.

В Лаборатории радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии Института географии РАН (Москва) по образцам органики было выполнено радиоуглеродное масс-спектрометрическое (¹⁴C AMS) датирование. Полученные даты были калиброваны (приведены к астрономической шкале времени) с помощью онлайн версии программы OxCal 4.4 [11] на основе калибровочной кривой IntCal20 [12] (табл. 1).

На изученный участок долины р. Мокши составлена геоморфологическая карта поймы (рис. 1), отражающая расположение ее массивов различной морфологии и палеорусел с разными параметрами, а также положение скважин. Литологические колонки скважин представлены на рис. 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Морфология долины р. Мокши в нижнем течении. На рассматриваемом участке долины выражены два уровня надпойменных террас и обширная пойма. Высота поймы над современным межженным урезом реки – от 1 до 6 м, первой

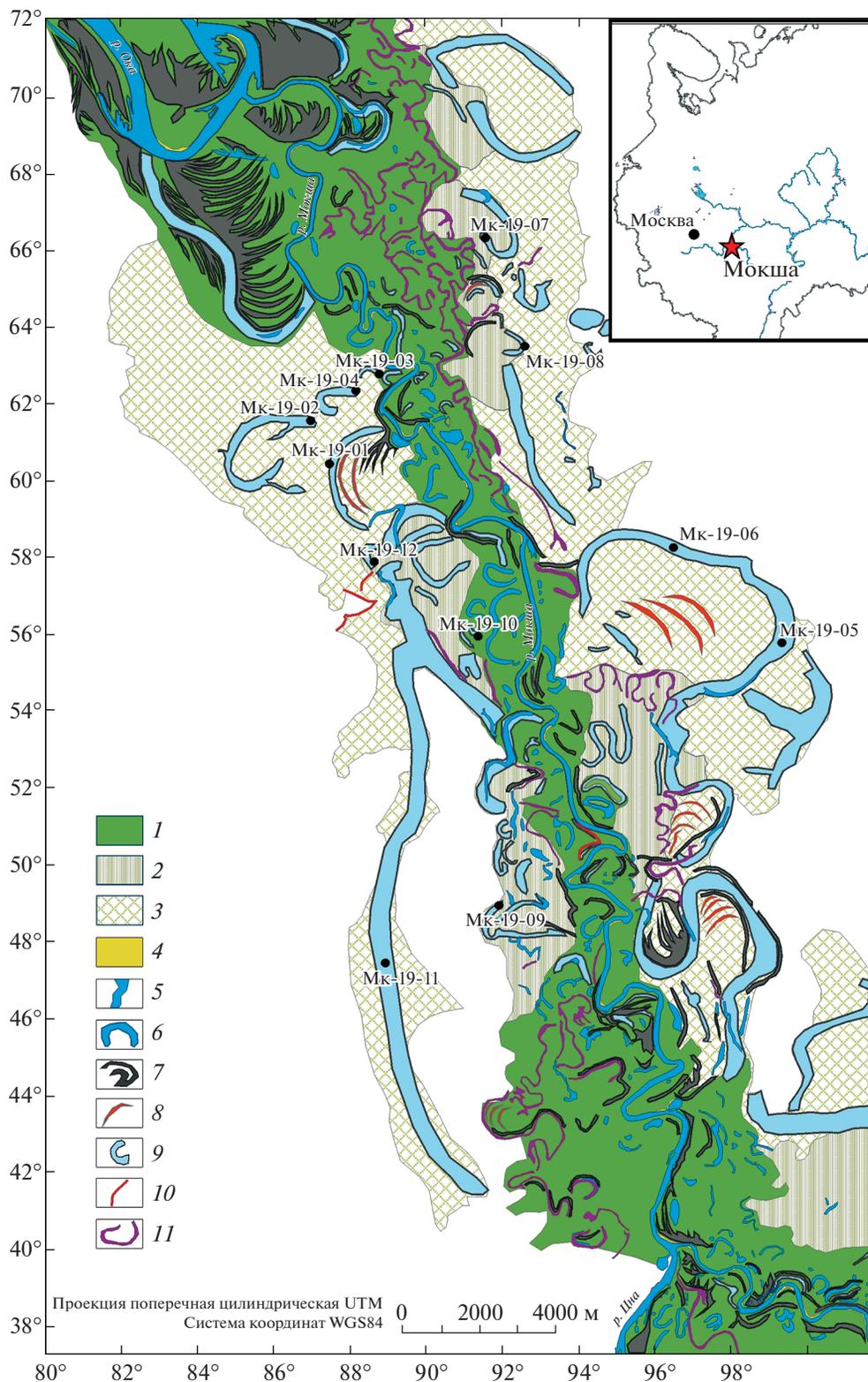


Рис. 1. Геоморфологическая карта ключевого участка поймы р. Мокши.

Морфологические комплексы рельефа. Пойма: 1 – позднеголоценовая сегментно-гривистая с хорошо сохранившимся первичным рельефом, 2 – раннеголоценовая сегментно-гривистая, 3 – позднелейстоценовая со слабо сохранившимся первичным рельефом; формы рельефа: 4 – прирусловые отмели, 5 – русло реки, 6 – старицы, 7 – прирусловые валы, 8 – гривы, 9 – палеорусла, 10 – эрозионные уступы, 11 – русла пойменных проток.

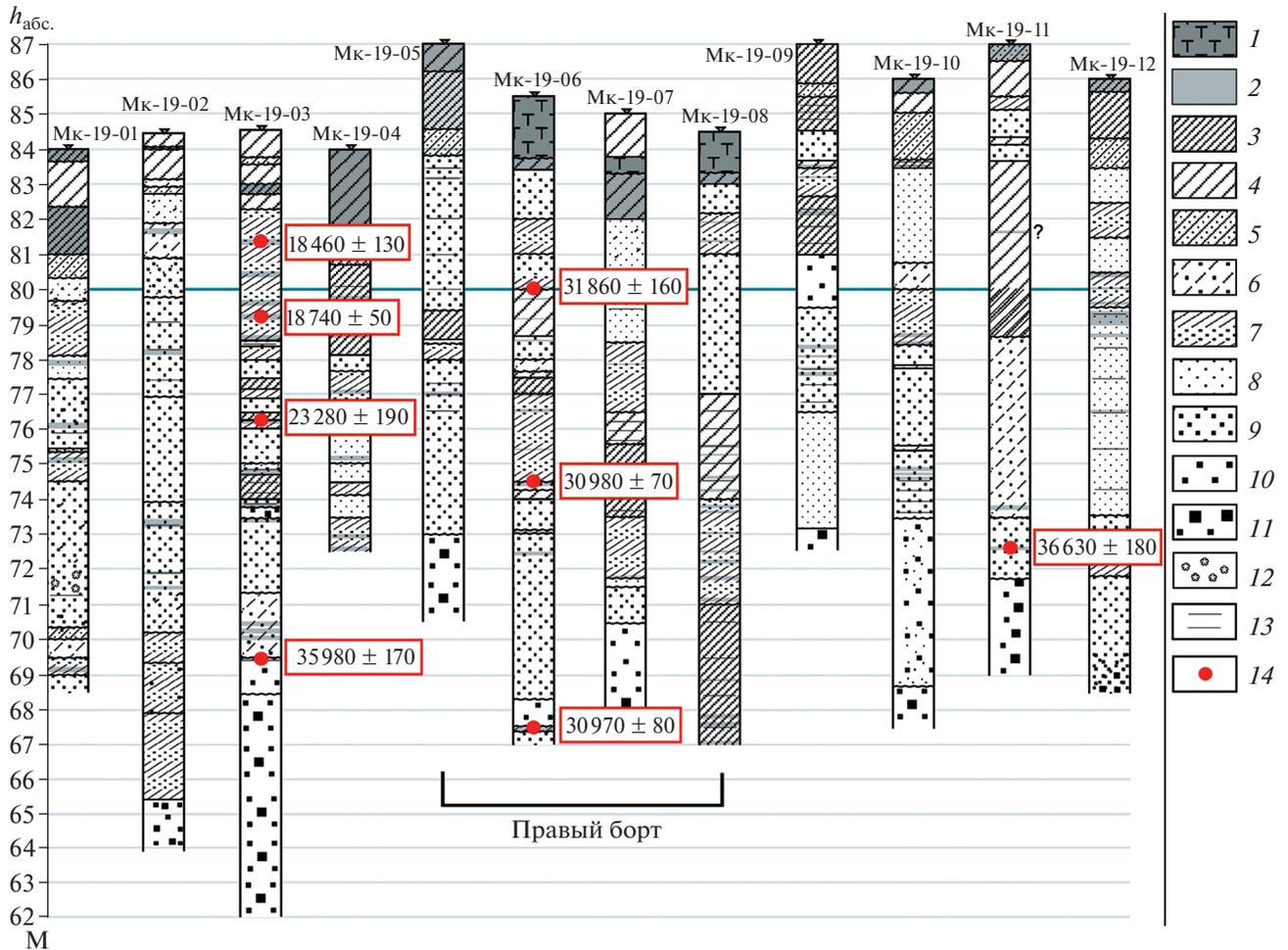


Рис. 2. Литологические колонки скважин в долине р. Мокши.

1 – торф; 2 – оторфованность, прослой, богатые органикой; суглинок: 3 – тяжелый, 4 – средний, легкий, 5 – опесчаненный; 6 – песок заиленный, супесь; 7 – переслаивание песка и суглинка; песок: 8 – тонкий, 9 – мелкий-средний, 10 – средний-крупный, 11 – крупный-грубый, с включениями гравия и гальки; 12 – крупные карбонатные конкреции; 13 – прослой песка в суглинке, суглинка в песке; 14 – радиоуглеродные даты (калиброванные).

надпойменной террасы – 9–11 м, второй – 18–22 м. Ширина долины по бровкам на рассматриваемом участке составляет в среднем 14–16 км, местами – 20–22 км и более. Из них большую часть занимает пойма, достигающая в ширину 12–14 км.

Пойма реки преимущественно сегментно-гривистая, осложнена многочисленными палеоруслуками разных размеров. Судя по характеру поверхности (ярко выраженный гривистый рельеф в шпорах современных излучин, прирусловые отмели на выпуклых берегах, затоны, большое количество стариц и т.д.), пойма была создана в ходе меандрирования реки, которое активно продолжается и сейчас, хотя параметры излучин с течением времени значительно менялись. Среди палеорусел по размеру отчетливо выделяются две генерации – большие палеоруслу (макромеандры), по своим размерам (ширина, шаг излучины) в несколько раз превышающие параметры совре-

менного русла, и малые палеоруслу, по размерам сопоставимые с современной рекой (рис. 1).

Ширина современного русла Мокши составляет на рассматриваемом участке в среднем от 100 до 150 м, на отдельных участках может быть несколько шире или уже. Шаг современных излучин от 300–400 до 600–700 м. Малые палеоруслу староречья на пойме имеют примерно такие же параметры. Большие же палеоруслу имеют ширину до 250–300 м, шаг излучин – около 1500–2000 м.

Геологическое строение палеорусел р. Мокши в нижнем течении. Заполнение палеорусел в долине Мокши представлено чередованием песков и суглинков, подстилаемых русловым аллювием, представленным хорошо отмытыми песками, обычно средне- или крупнозернистыми (рис. 2). Как правило, под этими песками руслового облика идет снова чередование суглинков и песков или супесей, и только потом – хорошо отмытый

крупнозернистый русловой аллювий. По-видимому, эти отложения представляют собой разные возрастные генерации аллювия (либо наследование одного палеоруслла другим, либо просто наложение на более древние аллювиальные фации).

Визуальная интерпретация строения скважин может затрудняться также песчаным характером подстилающих дочетвертичных отложений, не всегда четко отличимых от аллювия [10], т.е. переход к подстилающим морским осадкам в некоторых случаях может быть не очевиден.

В связи с вышесказанным была выработана следующая стратегия датирования, позволяющая получить материал для достоверной хроностратиграфической интерпретации разрезов в рамках имеющихся ресурсов. Вместо анализа единичных образцов в каждой скважине было решено продатировать по всей глубине две скважины — одну в крупном палеорусле (макроизлучине) (скв. Мк-19-06), другую — в малом (скв. Мк-19-03). Предполагалось, что результаты позволят определить, до какой глубины нижняя часть разрезов представлена относительно древним заполнением долины и какой мощности слой песчаного аллювия отвечает миграции меандрирующих палеорусел, выражающихся в рельефе поймы. Кроме того, был продатирован образец из скв. Мк-19-11 в крупной ложбине, тянущейся по поверхности левобережной низкой террасы параллельно пойменному комплексу Мокши.

Геохронология аллювия заполнения долины р. Мокши в нижнем течении. Скважина Мк-19-03 расположена в пределах малого палеоруслла (рис. 1), отвечающего современным параметрам реки. Однако, судя по всему, заполнение этого малого палеоруслла мощностью менее 3 м продатировано не было (в верхней части разреза подходящего органического материала не обнаружено); до глубины 2.3 м заполнение представлено преимущественно сулинными отложениями, ниже — переслаиванием песка и суглинка.

Отложения с глубины 3.2–3.3 м имеют позднеледниковый возраст — 18460 ± 130 тыс. л. н. (здесь и далее в тексте приводятся калиброванные даты; радиоуглеродные — см. в табл. 1), с глубины 5.2–5.3 м — 18740 ± 50 тыс. л. н. (рис. 2) и относятся к предшествующей стадии развития долины. Обе эти даты выполнены по общей органике; датированная толща (до глубины 5.9 м) представляет собой хорошо отмытый мелкозернистый песок с прослоями суглинка.

Ниже 5.9 м идут преимущественно хорошо отмытые среднезернистые пески с прослоями суглинка, глубже 10.5 м песок становится крупнозернистым, количество глинистых прослоев сильно уменьшается. На глубинах 8.4 и 15.5 м возраст аллювия составляет 23280 ± 190 и 35980 ± 170 тыс. л. н. соответственно.

Скв. Мк-19-06 расположена в пределах большого палеоруслла (макроизлучины) на правобережье Мокши. Верхние 1.7 м вскрытых отложений представлены торфом, далее до глубины 5.1 м следует заполнение палеоруслла: пески средне- и мелко-среднезернистые с прослоями суглинка. Однако собственно заполнение большого палеоруслла, по всей видимости, продатировано не было из-за отсутствия в верхних 5 м органического материала (за исключением торфа в самой верхней части, явно более позднего по отношению ко времени функционирования макроизлучины).

Ниже 5.1 м начинается следующая аллювиальная пачка, представленная суглинками с прослоями песка, реже супесью; вниз по разрезу мощность песчаных прослоев увеличивается и ниже 11 м преобладают мелкозернистые пески, крупность которых постепенно возрастает до песка среднезернистого и даже средне-крупнозернистого на глубине около 17 м. Были продатированы отложения с глубин: 5.4, 10.6 и 18 м. Все они показали близкие даты: 31860 ± 160 , 30980 ± 70 и 30970 ± 80 тыс. л. н. соответственно.

Судя по морфологии долины на изученном участке, скв. Мк-19-11 расположена либо в пределах палеоруслла Мокши, с двух сторон ограниченного фрагментами надпойменных террас, либо, что более вероятно, в пределах древней долины левого притока Мокши — р. Цны, в настоящее время впадающей в Мокшу выше по течению. В пользу второй интерпретации говорит значительная ширина ложбины, заметно превышающая параметры макроизлучин Мокши, и ее прямолинейные очертания, не характерные для активно меандрировавшей во все времена Мокши.

Пробуренная в днище этой палеодолины скважина вскрыла следующее строение. С поверхности до глубины 3.3 м идет переслаивание супесей, суглинка и мелкозернистого песка. С 3.3 м до 8.3 м залегает мощный слой суглинка среднего, вниз по разрезу до тяжелого; с 8.3 м начинается песок мелкозернистый, с 13.5 м — среднезернистый, с 15.2 м — крупно-грубозернистый с включениями дресвы (базальная фация аллювия?). Отложения на глубине 14.4 м имеют возраст 36630 ± 180 тыс. л. н. С глубины 17 м и до забоя скважины (18 м) вскрыт суглинок с песком, дресвой и щебнем крупным, по всей видимости, представляющий собой подстилающие аллювий коренные породы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные по строению и возрасту аллювиальных толщ, слагающих днище долины р. Мокши на изученном участке, позволяют провести следующие обобщения.

Аллювиальные отложения возраста 30–35 (40) тыс. л. н. (конец МИС 3) встречены на глубинах от 5.5 до 18 м во всех трех датированных скважинах, что позволяет предположить, что в этот период река врезалась до глубины более 10–12 м ниже современного уреза; ближе к концу этой эпохи (30 тыс. л. н. и позднее) началось постепенное заполнение долины, продолжавшееся в МИС 2 и захватившее время последнего ледникового максимума LGM (23–20 тыс. л. н.). Отложения возраста около 23–23.5 тыс. л. н. из скв. Мк–19–03 (с глубины 8.4 м) отвечают как раз времени заполнения долины. Во время LGM, как показывают данные по другим долинам рек центра Восточно-Европейской равнины [13 и др.], происходила интенсивная аккумуляция материала, на речных террасах формировались эоловые покровы и шлейфы. Однако в долине Мокши таких покровов пока обнаружено не было.

Следующая группа дат в скв. Мк-19-03 относится ко времени позднего плейстоцена 19–18 тыс. л. н. Датированные отложения, очевидно, относятся к вееру блуждания макроизлучин (рис. 1), верхняя часть которого в дальнейшем была переработана руслом реки в голоцене (с чем и связано наличие малого палеорула поверх этих отложений).

Схожие данные о циклах врезания – аккумуляции в валдайское время были получены по долине р. Оки. Здесь по данным [14] в молодого-шекснинское время (МИС 3) происходило переуглубление долины Оки, и сформировалось проточное озеро (в этом отличие от долины Мокши, где озерного водоема не было). Об этом свидетельствует повсеместное распространение в долине р. Оки под аллювием позднего валдая – голоцена суглинистых озерных отложений, которые, по данным радиоуглеродного датирования, имеют молодого-шекснинский возраст [14] (ранее [15–17] предполагалось, что их возраст более древний). Затем в осташковское время (МИС 2) происходило заполнение долины, сменившееся новым врезанием, хоть и менее глубоким, чем в МИС 3 [14]. Аналогично в долине р. Мокши врезание после последнего ледникового максимума было не столь глубоким, как в конце МИС 3 около 30–35(40) тыс. л. н.

Наличие макроизлучин в долинах рек умеренного климатического пояса является ярким палеогидрологическим феноменом, в последние полстолетия активно изучающимся во всем мире [6, 18–22 и др.]. Согласно имеющимся представлениям, формирование макроизлучин происходило в областях распространения многолетней мерзлоты в перигляциальной зоне последней оледенения и было обусловлено экстремально высокими (по сравнению с современными) значениями стока во время половодий. Размеры

позднеплейстоценовых русел в несколько раз превышали современные параметры, что объясняется особенностями гидрологического режима рек того времени. Считается, что сток был крайне неравномерным в течение года. Преобладание зимних осадков определяло высокое весеннее половодье, а многолетняя мерзлота препятствовала фильтрации воды и способствовала увеличению поверхностного стока. Формировались большие русла рек, размеры которых соответствовали максимальным расходам периода половодья [21].

Таким образом, большие палеорула р. Мокши имеют поздневалдайский возраст и отражают период высокой водности, выделяемый во многих регионах Восточно-Европейской равнины в позднеледниковье [5]. Малые же палеорула, по своим параметрам отвечающие размерам современного русла, формировались в голоцене и накладывались на ранее созданный рельеф поймы (в том числе на более древние макроизлучины).

История развития долины р. Мокши в позднем плейстоцене. Полученные данные позволили заполнить следующие реконструкции.

Между 40 и 30 тыс. л. н. происходило врезание реки глубже современного уровня, о чем свидетельствуют датировки аллювия из заполнения речной долины. Тектоническая обстановка в регионе в рассматриваемый промежуток времени была стабильной, что позволяет связывать врезание рек чисто с климатическими изменениями, приводящими к увеличению водности.

Затем врезание сменилось заполнением долины, вызванным падением водности и иссушением климата, максимум которого приходился на период последнего ледникового максимума (23–20 тыс. л. н.). Проведенные ранее исследования в долинах рек центра Восточно-Европейской равнины [13 и др.] показывают, что в долинах региона в это время активно развивались эоловые процессы, на речных террасах формировались эоловые покровы и шлейфы.

Начиная со времени около 18.5 тыс. л. н. снова произошло значительное увеличение водности, приведшее к формированию макроизлучин, работавших широкое днище долины. Следы больших палеорусел сохранились в рельефе речной долины на рассматриваемом участке. Подобные макроизлучины широко распространены на поймах и низких террасах речных долин Восточно-Европейской равнины [1–4] и датируются в ее пределах позднеледниковьем [5, 6]. Данные, это подтверждающие, были получены нами и для долины р. Мокши.

Для голоцена были характерны понижение водности, уменьшение параметров русла (ширина, шаг излучины) и сужение пояса меандрирования реки. Несмотря на это, в настоящее время река продолжает активно меандрировать, о чем

свидетельствуют ярко выраженный гравистый рельеф в шпорах современных излучин, прирусловые отмели на выпуклых берегах, большое количество стариц на пойме.

По своему строению долина Мокши является типичной для бассейнов Оки и средней Волги, составляющих существенную часть водосборного бассейна Каспийского моря. Фиксируемые в рельефе долины крупномасштабные палеогидрологические изменения означают, что во второй половине позднего плейстоцена значительно менялся и приток речных вод в Каспий. Это имеет большое значение для понимания дискутируемых в литературе климатических механизмов формирования его регрессивно-трансгрессивных ритмов [23, 24]. Установленные в настоящей работе этапы развития долины хорошо соответствуют последним геохронологическим данным по динамике уровня Каспийского моря.

Углубление долины Мокши около 40–30 тыс. л. н. (конец МИС 3), обусловленное увеличением роста стока воды, соответствует установленной в буровых скважинах на шельфе Северного Каспия наиболее ранней фазе ранневалдайской трансгрессии с датами по ^{14}C 37–33 тыс. л. н. (кал.) [25], последовавшей за длительной ательской регрессией, продолжавшейся в течение МИС 4 и первой половины МИС 3 [26]. Ранее глубокий врез в конце МИС 3 был установлен и в бассейне среднего Днепра [27]. Последующая направленная аккумуляция в долине Мокши в первую половину МИС 2, включая последний ледниковый максимум LGM, говорящая о маловодности в эпоху внутривалдайского снижения уровня Каспия. На шельфе оно идентифицировано по песчаному слою с датами по ^{14}C в интервале от 30 до 23 тыс. л. н. (кал.) [25, 26], в Прикаспии — по накоплению лессов, датированных оптико-люминесцентным (ОСЛ) методом в интервале 32–19 тыс. л. н. [28]. Накопление шоколадных глин — общепринятого литологостратиграфического индикатора ранневалдайской трансгрессии — датировано по ОСЛ периодом 17–13 тыс. л. н. [28], что хорошо соответствует установленному ранее интервалу встречаемости больших палеорусел в центре Русской равнины — 18–13 тыс. л. н. [4, 6, 27, 29–31]. В долине Мокши их формирование началось даже несколько ранее — около 18.5 тыс. л. н.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы.

- В конце позднего плейстоцена в долине р. Мокши происходило чередование этапов высокой и низкой водности, приводившее к смене периодов врезания и аккумуляции в долине.

- Повышенная водность была характерна для периодов 40–30 тыс. л. н. и 18.5–12 тыс. л. н. От второго из этих этапов (позднеледникового) в рельефе высокой поймы сохранились крупные палеорусл-макроизлучины, доказывающие факт значительного роста расходов воды относительно голоценовых и современных.

- Пониженная водность была характерна для эпохи ~30–18.5 тыс. л. н., разделявшей два этих периода высокой водности. Максимумы паводка стока и аккумуляции в долине приходились на время LGM (23–20 тыс. л. н.). Также понижение параметров стока (относительно предшествующего позднеледникового этапа) присуще голоцену. Водность в голоцене тоже не была однородной, но в целом она была ниже, чем в позднеледниковье. Более детальная реконструкция колебаний параметров стока реки в голоцене является отдельной задачей, требующей дополнительного изучения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-17-00215 “Исследование и моделирование возможных сценариев формирования экстремальных палеогидрологических явлений в бассейне Каспия в позднеледниковье”). При обработке полевых материалов использовалась инфраструктура Института географии РАН в рамках темы госзадания 0148-2019-0005 и кафедры геоморфологии и палеогеографии МГУ в рамках темы госзадания “Эволюция природной среды в кайнозой, динамика рельефа, геоморфологические опасности и риски природопользования”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Чернов А.В. Макроизлучины русел ЕТС и проблемы палеогидрологических реконструкций // Водные ресурсы. 1992. № 4. С. 93–96.
2. Panin A. V., Sidorchuk A. Yu. and Chernov A. V. Historical background to floodplain morphology: examples from the East European Plain // Floodplains: Interdisciplinary Approaches. Geological Society, London, Special Publications. 1999. No. 163. P. 217–229.
3. Сидорчук А.Ю., Борисова О.К., Панин А.В. Поздневалдайские палеоруслы рек Русской равнины // Изв. РАН. Сер. геогр. 2000. № 6. С. 73–78.
4. Sidorchuk A., Panin A., and Borisova O. Surface runoff to the Black Sea from the East European Plain during Last Glacial Maximum–Late Glacial time // Geological Society of America Special Paper. 2011. Vol. 473. P. 1–25. [https://doi.org/10.1130/2011.2473\(01\)](https://doi.org/10.1130/2011.2473(01))
5. Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Баслеров С.В., Борисова О.К., Ковалюх Н.Н., Шеремецкая Е.Д. 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.
6. *Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Власов М.В.* Мощный поздневалдайский речной сток в бассейне Дона // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 1. С. 118–129. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-118-129>
 7. Палеогеографические закономерности развития морфолитосистем Русской равнины. Районирование. Стратиграфия. Геоэкология / Под ред. Н.Г. Судаковой, С.С. Фаустова. М.: Геофак МГУ, 2013. 95 с.
 8. Геологическая карта четвертичных отложений Рязанской области. Масштаб 1 : 500 000 / Гл. ред. Н.И. Сычкин. Министерство природных ресурсов РФ. 1998. 6 л.
 9. Геология СССР. Т. 4. Центр Европейской части СССР. Геологическое описание. М.: Недра, 1971. 742 с.
 10. Геологическая карта дочетвертичных отложений Рязанской области. Масштаб 1 : 500 000 / Гл. ред. Н.И. Сычкин. Министерство природных ресурсов РФ. 1998. 6 л.
 11. Bronk Ramsey C. Bayesian analysis of radiocarbon dates // Radiocarbon. 2009. No. 51 (1). P. 337–360.
 12. *Reimer P., Austin W., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kromer B., Manning S.W., Muscheler R., Palmer J.G., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Turney C.S.M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., and Talamo S.* The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP) // Radiocarbon. 2020. No. 62 (4). P. 725–757.
 13. *Матлахова Е.Ю., Панин А.В.* Роль эоловых процессов в развитии речных долин центра Восточно-Европейской равнины в позднем валдае // Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике / Сб. материалов Всерос. конф. “VII Шукинские Чтения”. М.: МАКС Пресс, 2015. С. 459–462.
 14. *Кривцов В.А., Воробьев А.Ю., Водорезов А.В., Зазовская Э.П.* Особенности формирования поймы реки Оки в ее среднем течении (на примере Спасского расширения) // Геоморфология. 2020. № 3. С. 56–71. <https://doi.org/10.31857/S0435428120030050>
 15. *Кривцов В.А., Водорезов А.В., Воробьев А.Ю., Тобратов С.А.* Особенности строения и формирования поймы реки Оки в ее Спасском расширении // Вестник Рязанского гос. ун-та. 2014. № 4/49. С. 153–172.
 16. *Кривцов В.А., Воробьев А.Ю., Комаров М.М.* Река Ока и некоторые особенности развития рельефа южной части Мещерской низменности в четвертичное время // Вестник Рязанского гос. ун-та. 2016. № 2/51. С. 180–196.
 17. *Воробьев А.Ю., Кадыров А.С., Зайцев Д.Г.* Морфологические особенности рельефа поймы реки Оки в ее Константиновском сужении // Вестник Рязанского гос. ун-та. 2019. № 2/63. С. 109–125.
 18. *Dury G.H.* General theory of meandering valleys // US Geol. Surv. Prof. Paper. 1964. Vol. 452-A. 67 p.
 19. *Starkel L.* The place of the Vistula river valley in the late Vistulian – early Holocene evolution of the European valleys // European River Activity and Climatic Change During the Lateglacial and Early Holocene. Palaoklimaforschung / Palaeoclimate Research. 1995. Vol. 14. P. 75–88.
 20. *Vandenbergh J.* The relation between climate and river processes, landforms and deposits during the Quaternary // Quaternary International. 2002. Vol. 91. P. 17–23.
 21. *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. Т. 35. № 4. С. 406–416.
 22. *Vandenbergh J. and Sidorchuk A.* Large Palaeomeanders in Europe: Distribution, Formation Process, Age, Environments and Significance // Palaeohydrology. Geography of the Physical Environment. Springer Cham. 2020. P. 169–186.
 23. *Кислов А.В., Панин А.В., Торопов П.А.* Современные изменения и палеодинамика уровня Каспийского моря как эталон для верификации данных климатического моделирования // Метеорология и гидрология. 2014. № 5. С. 65–73.
 24. *Kislov A.V., Panin A.V., and Toropov P.* Current status and palaeostages of the Caspian Sea as a potential evaluation tool for climate model simulations // Quaternary International. 2014. Vol. 345. P. 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.05.014>
 25. *Yanina T., Sorokin V., Bezrodnykh Yu., and Romanyuk B.* Late Pleistocene climatic events reflected in the Caspian Sea geological history (based on drilling data) // Quaternary International. 2018. Vol. 465A. P. 130–141. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.08.003>
 26. *Yanina T., Bolikhovskaya N., Sorokin V., Romanyuk B., Berdnikova A., and Tkach N.* Paleogeography of the Atelian regression in the Caspian Sea (based on drilling data) // Quaternary International. 2021. Vol. 590. P. 73–84. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.07.023>
 27. *Panin A., Adamiec G., Buylaert J.-P., Matlakhova E., Moska P., and Novenko E.* Two Late Pleistocene climate-driven incision/aggradation rhythms in the middle Dnieper River basin, west-central Russian Plain // Quaternary Science Reviews. 2017. Vol. 166. P. 266–288. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.12.002>
 28. *Kurbanov R., Murray A., Thompson W., Svistunov M., Taratunina N., and Yanina T.* First reliable chronology for the Early Khvalynian Caspian Sea transgression in the Lower Volga River valley // Boreas. Vol. 50. Iss. 1. 2021. P. 134–146. <https://doi.org/10.1111/bor.12478>
 29. *Borisova O., Sidorchuk A., and Panin A.* Palaeohydrology of the Seim River basin, Mid-Russian Upland, based on palaeochannel morphology and palynological data // Catena. 2006. Vol. 66. P. 53–73. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.07.010>

30. Sidorchuk A., Panin A., and Borisova O. Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East European Plain) during the Late Glacial period // *Geomorphology*. 2009. Vol. 113. P. 137–157. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.03.007>
31. Panin A. and Matlakhova E. Fluvial chronology in the East European Plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications // *Catena*. 2015. Vol. 130. P. 46–61. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.08.016>

The history of the Moksha River valley development in the end of the Late Pleistocene

E. Yu. Matlakhova^{a,b,#}, V. Yu. Ukraintsev^{b,c}, and A. V. Panin^{b,c}

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

^b Institute of Water Problems RAS, Moscow, Russia

^c Institute of Geography RAS, Moscow, Russia

[#]E-mail: matlakhova_k@mail.ru

Late Pleistocene reconstruction of the lower part of the Moksha River valley (between the mouth of the Tsna River and the mouth of the Moksha River) was completed using mechanical coring and radiocarbon (AMS) dating of alluvium in the river valley bottom. Results revealed that between 40–30 ka BP, the river incised deeper than the present level, due to the increase of the river runoff associated with climatic changes. Later the incision was replaced by the valley infill caused by the drying up of the climate and a lowering of the river runoff, that was more significant during the last glacial maximum (LGM, 23–20 ka BP). Sediments derived from scarcely vegetated slopes activated by cryogenic processes from drainage area caused changes of river's longitudinal profile due to sediment accumulation. In the Late Glacial time starting from 18.5 ka BP a significant increase in river runoff led to the formation of macromeanders and widening of the valley bottom. The Holocene was characterized by a decrease in runoff and channel parameters, and narrowing of the meander belt of the river. During interglacial, sediment accumulation in the channel was negligible because of decreased sediment supply from the eroding basin.

Keywords: Late Glacial, macromeanders (large paleochannels), Pleistocene paleogeography, the history of river valleys development, fluvial geomorphology

ACKNOWLEDGMENTS

This study is supported by Russian Science Foundation (Project № 19-17-00215 “Research and modeling of possible scenarios for the formation of extreme paleohydrological phenomena in the Caspian basin after the Last Glacial Maximum”). Field data processing was performed under the facilities of the Institute of Geography RAS, taskforce 0148-2019-0005, and the Department of Geomorphology and Paleogeography of Moscow State University, taskforce “Cenozoic evolution of the environment, the dynamics of the relief, geomorphological hazards and risks of land-use”.

REFERENCES

- Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., and Chernov A.V. *Makroizluchiny rusel rek ETS i problemy paleogidrologicheskikh rekonstruktsii*. (River macromeanders in the European part of Russia and problems of paleohydrological reconstructions). *Vodnye resursy* (Water resources). 1992. No. 4. P. 93–96. (in Russ.)
- Panin A.V., Sidorchuk A.Ju. and Chernov A.V. Historical background to floodplain morphology: examples from the East European Plain. *Floodplains: Interdisciplinary Approaches*. Geological Society, London, Special Publications. 1999. No. 163. P. 217–229.
- Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K., and Panin A.V. *Pozdnevaldaiskie paleorusla rek Russkoi ravniny* (Large paleochannels of Late Weichselian age in the Russian Plain). *Izv. RAN. Ser. geogr.* 2000. No. 6. P. 73–78. (in Russ.)
- Sidorchuk A., Panin A., and Borisova O. Surface runoff to the Black Sea from the East European Plain during Last Glacial Maximum–Late Glacial time // *Geological Society of America Special Paper*. 2011. Vol. 473. P. 1–25. [https://doi.org/10.1130/2011.2473\(01\)](https://doi.org/10.1130/2011.2473(01)).
- Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Baslerov S.V., Borisova O.K., Kovalyukh N.N., and Sheremetskaya E.D. *Osnovnye etapy istorii rechnykh dolin isentra Russkoi ravniny v pozdnem valdae i golotsene: rezul'taty issledovaniy v srednem techenii r. Seim* (Main events in the history of river valleys in the central Russian Plain in the Late Weichselian and Holocene: the middle Sejm River case study). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2001. No. 2. P. 19–34. (in Russ.)
- Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., and Vlasov M.V. *Moshchnyi pozdnevaldaiskii rechnoi stok v basseine Dona* (High Late Valdai runoff in the Don river basin). *Izv. RAN. Ser. geogr.* 2013. No. 1. P. 118–129. (in Russ.) <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-118-129>.
- Paleogeograficheskie zakonomernosti razvitiya morfolitosistem Russkoi ravniny. Raionirovanie. Stratigrafiya. Geoekologiya* (Paleogeographic patterns of development of the morpholithosystems of the Russian Plain. Zoning. Stratigraphy. Geoecology). N.G. Sudakova,

- S.S. Faustov (Eds.). Moscow: MGU (Publ.), 2013. 95 p. (in Russ.)
8. *Geologicheskaya karta chetvertichnykh otlozhenii Ryazanskoi oblasti. Masshtab 1:500000* (Geological map of the Quaternary deposits of the Ryazan region. Scale 1 : 500000). N.I. Sychkin (Ed.). *Ministerstvo prirodnikh resursov Rossiiskoi federatsii*. 1998. 6 sheets. (in Russ.)
 9. *Geologiya SSSR. Tom IV. Tsentral'naya Evropeiskoi chasti SSSR. Geologicheskoe opisaniye* (Geology of USSR. Vol. 4. Center of European part of USSR. Geological description). M.: Nedra (Publ.), 1971. 742 p. (in Russ.)
 10. *Geologicheskaya karta dochetvertichnykh otlozhenii Ryazanskoi oblasti. Masshtab 1:500000*. (Geological map of pre-Quaternary deposits of the Ryazan region. Scale 1:500000). N.I. Sychkin (Ed.). *Ministerstvo prirodnikh resursov Rossiiskoi federatsii*. 1998. 6 sheets. (in Russ.)
 11. Bronk Ramsey C. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*. 2009. No. 51(1). P. 337–360.
 12. Reimer P., Austin W., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kromer B., Manning S.W., Muscheler R., Palmer J.G., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Turney C.S.M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., and Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*. 2020. No. 62 (4). P. 725–757.
 13. Matlakhova E.Yu. and Panin A.V. *Rol' eolovykh protsessov v razvitiy rechnykh dolin tsentra Vostochno-Evropeiskoi ravniny v pozdnem valdae* (The role of aeolian processes in the development of the river valleys in the central of the East European Plain in the Late Valdai). *Geomorfologicheskie resursy i geomorfologicheskaya bezopasnost': ot teorii k praktike. Sb. materialov Vseros. konf. "VII Shchukinskie Chteniya"* (Geomorphological resources and geomorphological safety: from theory to practice. Sat. materials Vseros. Conf. "VII Shchukin Readings"). M.: MAKSS Press (Publ.), 2015. P. 459–462. (in Russ.)
 14. Krivtsov V.A., Vorob'ev A.Yu., Vodorezov A.V., and Zazovskaya E.P. *Osobennosti formirovaniya poimny reki Oki v ee srednem techenii (na primere Spasskogo rasshireniya)* (Features of the floodplain formation of the Oka River in its middle flow: the case study of the "Spasskoe" local widening). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2020. No. 3. P. 56–71. <https://doi.org/10.31857/S0435428120030050>. (in Russ.)
 15. Krivtsov V.A., Vodorezov A.V., Vorob'ev A.Yu., and Tokratov S.A. *Osobennosti stroeniya i formirovaniya poimny reki Oki v ee Spasskom rasshirenii* (Features of the structure and formation of the floodplain of the Oka River in its Spassky expansion). *Vestnik Ryazanskogo gosuniversiteta*. 2014. No. 4/49. P. 153–172. (in Russ.)
 16. Krivtsov V.A., Vorob'ev A.Yu., and Komarov M.M. *Reka Oka i nekotoryye osobennosti razvitiya rel'efa yuzhnoi chasti Meshcherskoi nizmennosti v chetvertichnoye vremya* (The Oka river and the evolution of relief in the southern part of the Meschera lowland in the Quaternary period). *Vestnik Ryazanskogo gosuniversiteta*. 2016. No. 2/51. P. 180–196. (in Russ.)
 17. Vorob'ev A.Ju., Kadyrov A.S., and Zaitsev D.G. *Morfologicheskie osobennosti rel'efa poimny reki Oki v ee Konstantinovskom suzhenii* (Morphological characteristics of the Oka floodplain in its narrow part near the village of Konstantinovo). *Vestnik Ryazanskogo gosuniversiteta*. 2019. No. 2/63. P. 109–125. (in Russ.)
 18. Dury G.H. General theory of meandering valleys. *US Geol. Surv. Prof. Paper*. 1964. Vol. 452-A. 67 p.
 19. Starkel L. The place of the Vistula river valley in the late Vistulian – early Holocene evolution of the European valleys. European River Activity and Climatic Change During the Lateglacial and Early Holocene. *Palaoklimaforschung. Palaeoclimate Research*. 1995. Vol. 14. P. 75–88.
 20. Vandenberghe J. The relation between climate and river processes, landforms and deposits during the Quaternary. *Quaternary International*. Vol. 91. 2002. P. 17–23.
 21. Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., and Borisova O.K. *Klimaticheskiy obuslovlennyye izmeneniya rechnogo stoka na ravninakh severnoi Evrazii v pozdnelednikov'e i golotsene* (Climate-induced changes in surface runoff on the North-Eurasian plains during the Late Glacial and Holocene). *Vodnye resursy (Water Resources)*. 2008. Vol. 35. P. 386–396. (in Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0097807808040027>.
 22. Vandenberghe J., and Sidorchuk A. Large Palaeomeanders in Europe: Distribution, Formation Process, Age, Environments and Significance. *Palaeohydrology. Geography of the Physical Environment. Springer Cham*. 2020. P. 169–186.
 23. Kislov A.V., Panin A.V., and Toropov P.A. *Sovremennyye izmeneniya i paleodinamika urovnya Kaspiiskogo morya kak etalon dlya verifikatsii dannykh klimaticheskogo modelirovaniya* (Present-day variations and paleodynamics of the Caspian Sea level as a standard for climate modeling data verification). *Meteorologiya i gidrologiya (Russian Meteorology and Hydrology)*. 2014. No. 39 (5). P. 328–334. (in Russ.) <https://doi.org/10.3103/S1068373914050069>.
 24. Kislov A.V., Panin A.V., and Toropov P. Current status and palaeostages of the Caspian Sea as a potential evaluation tool for climate model simulations. *Quaternary International*. 2014. Vol. 345. P. 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.05.014>.
 25. Yanina T., Sorokin V., Bezrodnykh Yu., and Romanyuk B. Late Pleistocene climatic events reflected in the Caspian Sea geological history (based on drilling data). *Quaternary International*. 2018. Vol. 465A. P. 130–141. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.08.003>.
 26. Yanina T., Bolikhovskaya N., Sorokin V., Romanyuk B., Berdnikova A., and Tkach N. Paleogeography of the Atelian regression in the Caspian Sea (based on drilling data). *Quaternary International*. 2021. Vol. 590. P. 73–84. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.07.023>.
 27. Panin A., Adamiec G., Buylaert J.-P., Matlakhova E., Moska P., and Novenko E. Two Late Pleistocene climate-driven incision/aggradation rhythms in the middle Dnieper River basin, west-central Russian Plain.

- Quaternary Science Reviews*. 2017. Vol. 166. P. 266–288.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.12.002>.
28. Kurbanov R., Murray A., Thompson W., Svistunov M., Taratunina N. and Yanina T. First reliable chronology for the Early Khvalynian Caspian Sea transgression in the Lower Volga River valley. *Boreas*. 2021. Vol. 50. Iss. 1. P. 134–146.
<https://doi.org/10.1111/bor.12478>.
29. Borisova O., Sidorchuk A., and Panin A. Palaeohydrology of the Seim River basin, Mid-Russian Upland, based on palaeochannel morphology and palynological data. *Catena*. 2006. Vol. 66. P. 53–73.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.07.010>.
30. Sidorchuk A., Panin A., and Borisova O. Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East European Plain) during the Late Glacial period. *Geomorphology*. 2009. Vol. 113. P. 137–157.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.03.007>.
31. Panin A. and Matlakhova E. Fluvial chronology in the East European Plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications. *Catena*. 2015. Vol. 130. P. 46–61.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.08.016>.