УДК: 551.89; 551.435.11 DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.147

ДИНАМИКА ВРЕЗАНИЯ И АККУМУЛЯЦИИ В РЕЧНЫХ ДОЛИНАХ БАССЕЙНА ВОЛГИ В ПОЗДНЕВАЛДАЙСКУЮ ЭПОХУ

В.Ю. Украинцев[1,2], А.Л. Захаров[2]
[1]*Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия*
[2]*Институт географии РАН, г. Москва, Россия*

celerymors@gmail.com

Аннотация. Большие палеорусла – сохранившиеся в рельефе речных пойм древние речные русла, размеры которых значительно превышают размеры современных русел тех же рек. Их параметры и морфология указывают на то, что они формировались при увеличенном речном стоке. Большие палеорусла бассейна Волги могли играть ключевую роль в динамике береговой линии Каспийского моря. Произведено бурение и изучение строения больших палеорусел в разных частях бассейна Волги. Русловую фацию аллювия больших палеорусел подстилают мощные пачки отложений, заполняющих глубокие врезы. Датирование этих отложений показало, что в средневалдайскую эпоху реки были врезаны на значительную глубину, а в её конце и в первую половину поздневалдайского времени в речных долинах происходило заполнение этих врезов. По данным геодезической съёмки установлены отметки высоты кровли современного и поздневалдайского руслового аллювия. Хотя в течение эпохи формирования больших палеорусел реки бассейна должны были испытывать врезание вследствие роста стока воды, часто кровля руслового аллювия больших палеорусел расположена выше кровли современного руслового аллювия, формирующегося при более низком речном стоке. Это объясняется тем, что современные реки унаследовали профили дна долин от поздневалдайских; по окончании эпохи

DYNAMICS OF DOWNCUTTING AND ACCUMULATION IN RIVER VALLEYS OF THE VOLGA BASIN DURING THE LATE PLENIGLACIAL

Vadim Yu. Ukraintsev[1,2], Andrei L. Zakharov[2]
[1]*Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*
[2]*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*
celerymors@gmail.com

Abstract. Large paleochannels are ancient river channels preserved in the landscape of river floodplains, the dimensions of which significantly exceed the proportions of modern channels of the same rivers. Their parameters and morphology indicate that they were formed during periods of heightened water runoff. The large paleochannels of the Volga basin may have significant implications for the dynamics of the Caspian shoreline in past. This paper presents results of the drilling, dating, and study of the large paleochannels in different parts within the Volga basin. The channel alluvium of large paleochannels is underlain by thick units of sediments filling deep incisions. Dating of these deposits showed that in the Middle Weichselian time, river valleys were deep-incisioned, and at the end of this epoch and in the first half of the Late Weichselian time, these deep incisions were filled. According to geodetic survey data, the true altitude of modern and ancient alluvium tops was established. Although during the formation of large paleochannels, the rivers of the Volga basin must have incised due to increased runoff, often the top of the channel alluvium of large paleochannels is located above the top of the modern channel alluvium, which formed at the lower runoff volume. This is explained by the fact that modern rivers inherited the grade lines from the late Weichselian ones; at the end of the epoch with high fluvial activity, only a part of the rivers adapted their grade to decreased runoff.

Украинцев В.Ю., Захаров А.Л. Динамика врезания и аккумуляции в речных долинах бассейна Волги в поздневалдайскую эпоху // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2023. Т. 5. Вып. 2. С. 147–159. DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.147.

обильного стока лишь у части рек произошла адаптация продольных профилей к уменьшившимся величинам стока.

Ключевые слова: ранний дриас, пленигляциал, последняя ледниковая эпоха, большие палеорусла, макроизлучины.

Keywords: Oldest Dryas, Pleniglacial, Late Glacial Period, large paleochannel, macromeander.

Введение

Современные палеогеографические данные дают основания утверждать, что в поздневалдайскую эпоху сток многих рек, в частности Волги, был гораздо выше современного [Sidorchuk, Panin, Borisova, 2009]. Существуют противоречащие друг другу представления о роли изменений климата и подпитки талыми ледниковыми водами в изменениях стока реки в это время [Панин, Сидорчук, 2006; Vandenberghe, Sidorchuk, 2020], хотя в последнее время консенсус сводится к ландшафтно-климатическому решению этой проблемы (см. [Панин, Сидорчук, Украинцев, 2021]). Другим феноменом являются большие палеорусла, встречающиеся на поймах рек южной половины Восточно-Европейской равнины, в том числе в бассейне Волги [Панин, Сидорчук, Чернов, 1992; Sidorchuk, Panin, Borisova, 2009]. Причины их формирования в различных районах Восточно-Европейской равнины исследованы в разных аспектах — геологическом, климатическом, геоморфологическом. Однако опубликованные работы относятся в основном к западной части равнины (с единичными свидетельствами из восточной); на большую часть бассейна Волги эти результаты переносятся априори за неимением данных по этой территории [Панин, Сидорчук, 2006]. Имеется ряд крупных работ по изучению речных долин западной и центральной Европы [Pastre et al., 2003; Gębica et al., 2022 и др.], затрагивающих и проблему больших палеорусел. В целом большинство исследований речных долин посвящено геолого-геоморфологическим вопросам. Между тем, упомянутые аспекты тесно между собой связаны: гидрологические изменения отражались в развитии речных долин – их углублении или заполнении, а также в динамике и морфометрии речных русел, следы которых остались в рельефе дна речных долин [Сидорчук, Панин, Борисова, 2008]. Это показывает, что проблему больших палеорусел, их возраста и динамики развития следует изучать в комплексе геолого-геоморфологических и палеогидрологических аспектов. Кроме того, водосборная площадь Волги является крупнейшим речным бассейном Восточно-Европейской равнины, а также главным поставщиком воды и наносов для Каспийского моря, динамика береговой линии которого в позднем плейстоцене и голоцене была сильно выражена [Kurbanov et al., 2021]. В связи с этим намечаются два направления, по которым возможно продвижение в познании проблематики больших палеорусел — палеогидрологические реконструкции по их геометрическим параметрам (см. [Сидорчук, Украинцев, Панин, 2021]) и получение новых данных по ним в неизученных частях бассейна. Последнее направление включает в себя поиск неисследованных ранее следов больших палеорусел (см. [Украинцев, 2022]), датирование русловой фации аллювия больших палеорусел для установления возраста их формирования в разных частях бассейна Волги (см. [Gelfan et al., 2024; Украинцев и др., 2024]) и оценку направленности вертикальных русловых деформаций древних рек. Для получения дат необходимо производить бурение больших палеорусел, для получения величины вреза/аккумуляции – геодезическую съёмку.

Остатки больших извилистых палеорусел являются типичной формой флювиального рельефа в современных речных долинах по всему земному шару, в особенности в умеренном поясе северного полушария. Их называют большими палеоруслами, поскольку они крупнее аналогичных форм рельефа современной реки. Большие палеорусла часто хорошо выражены в рельефе и пространственном облике ландшафта (например, урочищами с очертаниями русла и

Ukraintsev V.Yu., Zakharov A.L. Dynamics of downcutting and accumulation in river valleys of the Volga basin during the Late Pleniglacial. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2023, vol. 5, iss. 2, pp. 147–159. (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.147.

развитой влаголюбивой растительностью), отчётливо видны на аэро- и космоснимках или цифровых моделях рельефа. Это могут быть крупные старицы и серии грив, меандровые цирки; в ряде случаев большие палеорусла участками унаследованы современной рекой, однако шаг излучин которой на этих участках не соответствует среднестатистическому [Vandenberghe, Sidorchuk, 2020]. Большие палеорусла расположены на пойме реки, обычно за пределами современного пояса меандрирования, редко — на первой надпойменной террасе. Размер больших палеорусел и их расположение явно указывают на то, что они формировались не при современных гидрологических условиях, в то время как морфологическая выраженность указывает на их относительно молодой геологический возраст.

Бассейн Волги занимает южную половину Восточно-Европейской равнины. Почти вся территория бассейна расположена на Восточно-Европейском кратоне с относительно спокойной неотектонической обстановкой. Весь бассейн относится к умеренному климатическому поясу. Для большей части бассейна Волги характерен положительный коэффициент увлажнения. В бассейне Волги преобладает снеговое питание рек. Основная часть стока происходит весной, дата половодья смещается с ранней весны до поздней в направлении с юга на север [Чалов, Чернов, 1994].

В LGM (максимум последнего оледенения) бассейн Волги в основном находился в перигляциальной зоне. Средняя температура составляла около -6°C, климат был холодным и сухим, вся территория была зоной многолетней мерзлоты, либо непосредственно оледенения. Максимальной площади (до Рыбинского водохранилища) оледенение достигло примерно 20 тыс. лет назад (л.н.) [Rinterknecht et al., 2018]. В то же время на юге бассейна Волги прогрессировал раннехвалынский бассейн (первая стадия), затопляя территории дельтовой области Волги [Курбанов и др., 2023]. Вторая стадия трансгрессии начинается около 17 тыс. л.н., высота уровня раннехвалынского бассейна достигала +20 − +22 м [Kurbanov et al., 2021] и, возможно, даже больших высот. Около 16,5 тыс. лет назад покровное оледенение окончательно покидает территорию бассейна Волги [Astakhov et al., 2016; Hughes et al., 2016]. С окончанием пленигляциала климат стал контрастным, однако поначалу всё ещё довольно прохладным. Серьёзное потепление наступило только в бёллинг-аллерёдский интерстадиал. В это время интенсивно тает многолетняя мерзлота, а среднегодовые температуры достигают +1 − +2°C. В позднем дриасе происходит серьёзное похолодание; в то же время развивается енотаевская регрессия [Макшаев, Ткач, 2023]. В период времени с 17 до 14,5 тыс. л.н., согласно [Украинцев и др., 2024], происходило формирование больших палеорусел на территории Восточно-Европейской равнины и, следовательно, длилась эпоха обильного речного стока.

Методы

Методика исследования включала в себя полевые, лабораторные и дистанционные методы. Полевые методы включали в себя бурение и геодезическую съёмку. Точки бурения палеорусел выбирались заранее с использованием космоснимков. Само бурение осуществлялось буровой установкой «Pride Mount 80» на шасси УАЗ 3303 усовершенствованным шнековым способом. Производился отбор анализов на радиоуглеродное датирование. Помимо бурения производились также геодезические работы для определения превышения высот скважин над высотами реки и дальнейшего расчёта направленности вертикальных русловых деформаций. Использовался GNSS-приёмник EFT M4 в режиме RTK (real time kinematic) с точностью определения абсолютной высоты и координат до сантиметров [Елагин и др., 2020]. Уровень реки измерялся в позднеосеннюю или летнюю межень на ближайшем к скважине участке реки, либо выявлялся методом интерполяции при измерении высоты выше и ниже по течению. Лабораторные методы представлены датированием отобранных образцов, которое производилось в лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана СПбГУ, а также в центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (AMS-датирование; пробоподготовка

– в лаборатории радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии Института географии РАН). Калибровка возраста производилась в среде OxCal 4.4 Online [Ramsey, 2009] по калибровочной кривой IntCal20, выбиралось медианное значение возраста со стандартным отклонением [Reimer et al., 2020]. Расчленение разрезов осуществлялось с учётом представлений об ожидаемой последовательности фаций в палеорусле [Шанцер, 1951]: пойменная (как правило, суглинистая, маломощная, только в заполненных палеоруслах), старичная (гиттия, торф, суглинок), затем русловая (песок, гравий в зависимости от размерности современного аллювия реки). Пользуясь принципом актуализма, можно утверждать, что в поздневалдайскую эпоху схема формирования фаций аллювия в палеоруслах не менялась.

Дистанционные методы включали в себя получение некоторых геометрических параметров больших палеорусел и их водосборных бассейнов. Это помогло осуществить оценку врезания/аккумуляции древних рек, сформировавших больших палеорусла. Были взяты абсолютные высоты устий скважин и высоты зеркала современной реки в непосредственной близости к палеоруслу, полученные геодезической съёмкой. Затем, используя эмпирические зависимости Р. А. Нежиховского [Нежиховский, 1971] по отношению площади бассейна реки и ширины её русла в межень к его максимальной глубине (для однорукавных русел Восточно-Европейской равнины) определялась глубина реки и, соответственно, кровля русловой фации современного аллювия. Значения средней ширины современной реки, площади её бассейна и величины расходов воды (среднемаксимальные и среднегодовые) были выявлены во время реконструкции палеостока (см. методику в [Сидорчук, Украинцев, Панин, 2021]). На колонках скважин отмечалась кровля русловой фации аллювия палеорусла, а затем – зеркало русла и кровля современного руслового аллювия. По разнице высоты кровли руслового аллювия палеорусла и высоты дна современного русла (глубине реки) определялась величина вреза. Различия в высотах плюс-минус 1 метр находятся заведомо в пределах точности метода и поэтому трактуются как стабильное положение русла. Увеличение расходов воды сопровождается врезанием реки [Маккавеев, 1955], поэтому мы использовали среднемаксимальные и среднегодовые расходы воды древних и современных рек чтобы сравнить их с направленностью вертикальных русловых деформаций. Данные о расходах воды современных рек были получены из справочника «Основные гидрологические характеристики рек бассейна Волги» в трёх томах [Основные гидрологические…, 2015а; б; в].

Результаты и их обсуждение

Согласно полученным данным (подробно представлены в статье [Gelfan et al., 2024]), русловую фацию больших палеорусел часто подстилают довольно мощные пачки древнего аллювия, имеющего возраст от 45 и до 19 тыс. л.н., а также (в некоторых случаях) морские и озёрные отложения. Поскольку большинство дат имеют пограничные для радиоуглеродного метода значения (более 35 тыс. лет назад), начало и временной интервал формирования этого аллювия нам неизвестны.

Что касается оценки направленности вертикальных русловых деформаций поздневалдайских больших палеорусел, то наши результаты показали, что кровля русловой фации, по которой производилась оценка, находится систематически выше в древних руслах, а не в современных (меньших по размеру), несмотря на увеличенные показатели реконструированных среднемаксимальных и среднегодовых расходов воды (таблица 1). Исключение составили лишь реки предгорной и самой южной части бассейна, а также данные по отдельным скважинам.

При увеличении расходов воды в реках происходит адаптация формы продольного профиля к новым условиям и реки врезаются, особенно глубоко в среднем течении (Маккавеев, 1955). Повышенные расходы воды при формировании больших палеорусел должны были вызвать врезание рек. Полученный результат, что в большинстве случаев дно палеорусел находится выше дна современных русел, на первый взгляд, противоречит этому положению: при поверхностном рассмотрении этот факт можно трактовать как признак врезания рек уже после эпохи обильного стока и формирования больших палеорусел. Однако это

не так. Наиболее чётко это видно на примере

Таблица 1. Сопоставление величин вреза и расходов воды у древних рек и их преемников.
Table 1. Comparison of incision and discharge values of ancient rivers and their successors.

Река (местоположение), число скважин, по которым проводились высотные определения	**Разница высот дна современных и древних русел (м)**	**Расходы воды, м³/с**			
		среднемаксимальные		**среднегодовые**	
		современные	**древние**	**современные**	**древние**
Дубна (Минино), 8	-0,5÷+3,3		-		-
Которосль (Бакланово), 1	0		-		-
Унжа (Мантурово), 1	-1,8	1150	8080	140	325
Мокша (Пителино), 16	0÷-3,8	-		-	
Тёша (Красный Бор), 2	-1,2÷-1,6		-		-
Ветлуга (Ветлужский), 1	-4	-		-	
Пьяна (Тарталей), 2	-1,5÷-1,8	505	2470	29	70
Сура (Шумерля), 2	-3,2÷-7	2130	5790	210	435
Свияга (Свияжский), 2	-2,5÷-2,8	300	1050	20	40
Кама (Афанасьево), 1	-2,5	-	-	-	-
Лолог (Коса), 3	0÷-2,4	-	-	-	-
Язьва (Нижняя Язьва), 2	-6÷-8,5	850	3510	95	95
Ашкадар (Стерлитамак), 2	+1÷+2,1	-	-	-	-
Инзер (Ирныкши), 2	0÷-1,1	-	-	-	-
Уршак (Стуколкино), 1	-4,8		-		-
Танып (Тангатарово), 2	+0,3÷+0,6	-		-	
Дёма (ср.–ниж. теч.), 10	-1,2÷+1,7	490	3410	60	140
Ик (Тюково), 3	0÷+2,5	-		-	
Иж (Агрыз), 2	-0,7÷+0,2	-		-	
Кильмезь (Малые Сюмси), 1	+1,9		-		-
Шешма (Горшково), 2	-1,2÷+2,4	-		-	
Мёша (Нармонка), 1	-0,2	500	1670	17	40
Большой Черемшан (Бригадировка), 2	-3,7÷-7,8	520	2190	30	80
Кондурча (Коммунарский), 2	-4,6÷-4,8	270	1180	20	30
Сок (Красный Яр), 5	-0,2÷-2,5	-		-	
Самара (ср.–ниж. теч.), 8	-0,6÷-5,2	-		-	
Ток (Яблоневый), 4	-2,4÷-3,2	295	1770	15	50
Бузулук (Перевозинка), 5	-1,9÷-3,8	250	1355	7	35
Бол. Кинель (Тургеневка), 6	-2,8÷-7	-		-	
Камелик (Муравли), 4	-9,6÷+0,7	-		-	
Большой Иргиз (Малоперекопное), 1	-6	585	1945	20	95
Терешка (Студеновка), 2	+1	335	1125	20	40
Еруслан (Полтавка), 2	+2,5÷+6,8	135	350	-	10
М. Узень (Малый Узень), 1	+1,2	-	-	-	-
Б. Узень (Крепость Узень), 3	+1÷-1,5	-	-	-	-
Б. Узень (Старухин), 1	+1,5	-	-	-	-

Примечание: красный цвет означает более низкое положение дна больших палеорусел по сравнению с современным руслом (после окончания формирования этих палеорусел в реке происходила направленная аккумуляция); зелёный цвет – наоборот, дно больших палеорусел расположено выше дна современных, после их формирования происходило врезание, оранжевый — нет разницы; «-» — нет данных.

унаследованных макроизлучин, которые не были спрямлены современным руслом.

При формировании унаследованных макроизлучин Большого Иргиза происходило врезание реки, на которое указывают как лестницы террас в шпоре изгиба, так и последовательное понижение кровли руслового аллювия от основания к вершине макроизлучины (рисунок 1, скв. 1066−1068). Современное русло наследует этот изгиб и уровни поймы, а голоценовые староречья не обнаруживают признаков направленного врезания или аккумуляции, т.е. современное русло наследует то вертикальное положение, которые было задано углублением большого палеорусла в конце эпохи обильного стока. Дно макроизлучины-староречья в тыловой части поймы (скв. 1065) находится выше дна современного русла, поскольку староречье древнее унаследованных макроизлучин и в ходе его формирования врезание реки только началось или продолжалось, но было ещё далеко от завершения. Развитие серии врезанных макроизлучин в верхнем течении Волги в районе г. Ржева, судя по ОСЛ-датам аллювия из лестницы террас одной из них, происходило в позднеледниковье с 16−17 до 11,5 тыс. л.н., когда река врезалась и одновременно размывала берега с увеличением стрелы прогиба излучин (Panin et al., 2018). После этого как врезание, так и искривление макроизлучин прекратилось. Продолжение врезания вплоть до начала голоцена объясняется местными факторами – откликом реки на гляциоизостатическую адаптацию земной коры (поднятие приледникового прогиба).

Данные по долинам, где были пробурены большие серии скважин, также указывают на врезание рек в ходе эпохи обильного стока: положение дна разных макроизлучин может изменяться в достаточно широких пределах выше и ниже современных русел. Например, в долине р. Мокши, Дубны часть больших палеорусел находится на уровне современного русла (рисунок 1, скв. 20949), но другие – ниже его уровня (скв. 20950). Первые формировались в начале эпохи обильного стока, когда врезание только началось, вторые – в конце, когда врезание закончилось. Река врезалась глубже современной и при уменьшении стока произошло выравнивание продольного профиля путём небольшой аккумуляции (скв. 20951). В долинах Сока, Самары, Бузулука и других рек у части пробуренных макроизлучин дно находится на 3–5 м выше, у других – на уровне дна современных русел, что можно интерпретировать как постепенное углубление (врезание) рек в течение эпохи обильного стока. Последовательное углубление наглядно иллюстрируется сопоставлением положения дна палеорусла в макроизлучинах разных возрастных генераций, выделяемых по их взаимным соотношениям (одна подрезает другую), например, скважины 1042 и 1041 в долине Самары, 1052 и 1053 в долине Сока. Дно самых низких макроизлучин в обеих этих долинах находится на уровне или ниже дна современного русла, что говорит об отсутствии аккумуляции после падения стока, т.е. адаптации продольного профиля к новым, пониженным величинам стока не происходило, современная река (точнее, дно долины) унаследовала продольный профиль, сформированный в эпоху обильного стока. В бассейнах других рек Восточно-Европейской равнины – Дона, Днепра – древний врез эпохи обильного стока был значительно больше, чем в бассейне Волги – до 7–8 м ниже современных русел (Панин, Матлахова, 2013; Starkel et al., 2015; Panin et al., 2017; Матлахова и др., 2019). Это может быть связано с более благоприятными условиями для адаптации продольных профилей рек к изменяющимся расходам воды – врезом в слабоустойчивые аллювиальные отложения, отсутствием влияния базиса эрозии (в бассейне Волги серьёзное влияние на это имели трансгрессии и регрессии Каспия). В предгорной части бассейна Камы в долинах отсутствуют переуглубления, и реки вынуждены врезаться в устойчивые к размыву коренные породы. В бассейне нижней Волги врезание сдерживалось высоким уровнем Каспия, поскольку именно в эпоху обильного стока в бассейне Волги происходила раннехвалынская трансгрессия; водами этого обильного речного стока и заполнялся в значительно степени хвалынский Каспий (Sidorchuk et al., 2009; Панин, Сидорчук, Украинцев, 2021; Сидорчук, Украинцев, Панин, 2021). Кроме того, можно предполагать, что

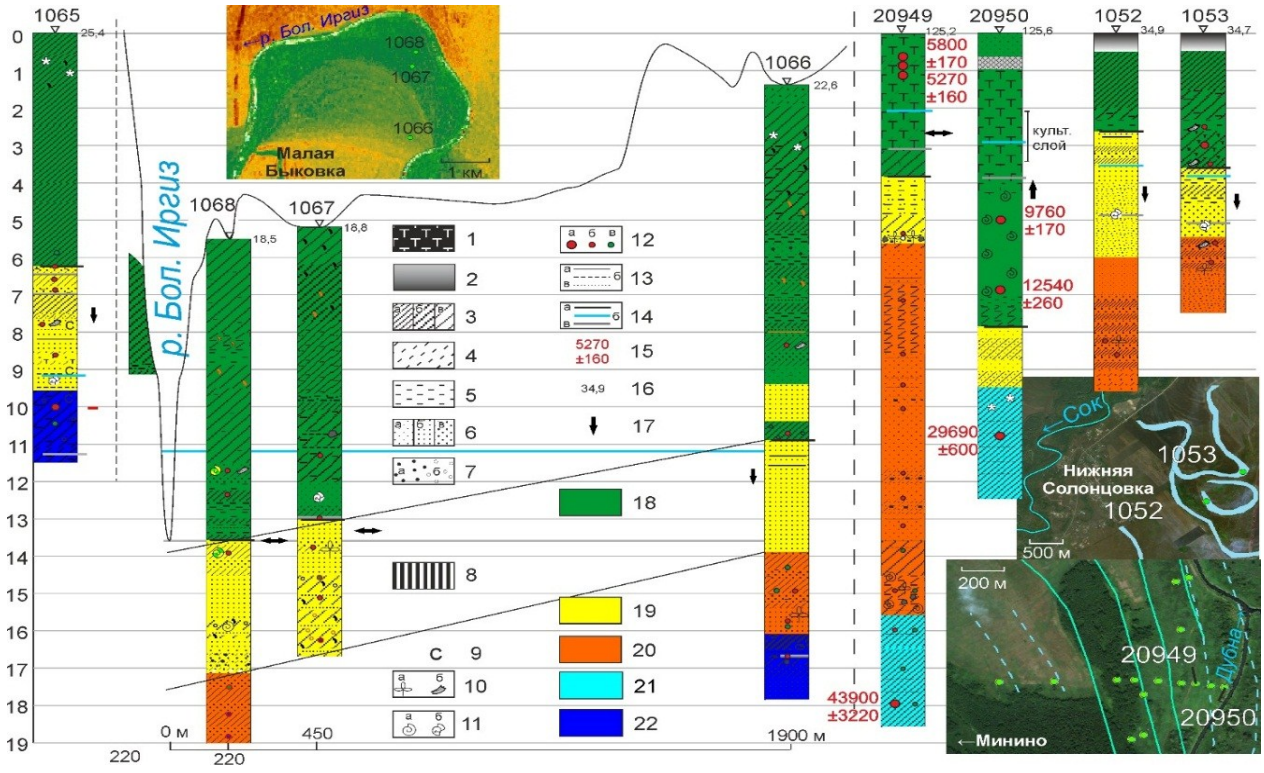


Рисунок 1. Свидетельства врезания поздневаллайских рек на примере профиля через шпору унаследованной макроизлучины в сравнении со строением старицы-макроизлучины в тыловой части террасы (р. Большой Иргиз), а также на примере строения подрезаемых и подрезающих стариц-макроизлучин рек Дубна и Сок. 1 – торф, оторфованность; 2 – почва, органо-минеральный грунт; 3 – суглинок (а – тяжёлый, б – средний, в – лёгкий); 4 – оглиненность; 5 – алеврит, алевритистость; 6 – песок (а – тонкий, б – мелкий-средний, в – крупный-грубый), опесчаненность; 7 – гравий (а – обломки соотв. цвета, б – глинистый); 8 – глины; 9 – дополнительное обозначение для слоистости; 10 – органика (а – растительная, б – древесная, в – уголь), 11 – ракуша (а – цельная, б – обломки; результаты малакофаунистического анализа: зелёный цвет – застойные условия; жёлтый – проточные); 12 – образцы на датирование (радиоуглеродное: а – общее сцинтиляционное, б – AMS; в – ОСЛ); 13 – прослои (а – суглинка, б – алеврита, в – песка); 14 – уровни (а – кровля русловой фации больших палеорусел, б – меженный уровень современной реки, в – дно современного русла); 15 – даты; 16 – абсолютная высота скважины, м; 17 – направленность вертикальных русловых деформаций после формирования больших палеорусел (стрелка вверх – аккумуляция, стрелка вниз – врезание, горизонтальная стрелка – стабильное положение); генезис отложений: аллювий: 18 – фация заиления, пойменные, 19 – русловая фация, 20 – древний (МИС 2/МИС 3 и старше); 21 – озёрные, 22 – морские.

Figure 1. Evidence of incision of Late Weichselian rivers: profile through the spur of an inherited macromeander (boreholes 1066−1068) in comparison with the structure of a large oxbow in the rear part of the river terrace (BH 1065; Bolshoy Irgiz River); structure of the younger and older macromeanders of the Dubna (BH 20949, 20950) and Sok (BH 1052, 1053) rivers. 1 – peat, peaty material; 2 – soil, organo-mineral material; 3 – loam (a – heavy, b – medium, c – light); 4 – loamy material; 5 – silt, silty material; 6 – sand (a – very fine, b – fine-medium, c – coarse-very coarse), sandy material; 7 – gravel (a – fragments with the corresponding color, b – clayey); 8 – clay; 9 – additional designation for layering; 10 – organic (a – vegetable, b – wood, c – coal), 11 – shell (a – whole, b – fragments; results of malacofaunal analysis: green color – stagnant conditions; yellow – flow-through); 12 – samples for dating (radiocarbon: a – beta counting, b – AMS; c – OSL); 13 – interlayers (a – loam, b – silt, c – sand); 14 – surfaces (a – top of the channel alluvium in the large paleochannels, b – river, c – top of the modern channel alluvium); 15 – dates; 16 – height of the borehole, m a.s.l., 17 – direction of vertical channel deformations; sediments: alluvium: 18 – paleochannel filling, 19 – channel alluvium, 20 – ancient (MIS 3 or older); 21 – lacustrine, 22 – marine.

врезанию ряда рек бассейна препятствовал высокий твёрдый сток. В пользу этой гипотезы говорит обилие эоловых форм рельефа в днищах речных долин и на междуречьях (р. Сура, Мокша, Еруслан и т.д.), а также сведения о высокой эоловой активности в пленигляциале (Спасская, 2009). О высоком твёрдом стоке также говорит обвалованность некоторых русел (р. Которосль, Бол. Узень).

По буровым колонкам русловую фацию больших палеорусел подстилают иногда довольно мощные пачки древнего аллювия, имеющего возраст от 36 и ранее до 19 тыс. лет назад. Такая мощность аллювия с возрастом МИС3 (морская изотопная стадия) − первая половина МИС2 говорит о том, что он выполняет более древние врезы рек, гораздо более глубокие, чем последующие поздневалдайские. Из-за возрастов, соседствующих с границей применения радиоуглеродного метода, мы не можем судить даже о дате начала заполнения, и тем более о дате этого врезания. В литературе есть сведения о врезании европейских рек 50−40 тыс. л.н. (Cserkész-Nagy, Sztanó, 2016). В южной половине бассейна врез был более существенным (9−15 и более метров ниже уровня современной поймы — у рек Мокша, Сок, Бузулук), в то время как у северных рек он составлял 8−9 м (Ветлуга, Лолог, Язьва, Дубна).

Выводы

В средневалдайскую эпоху в равнинной внеледниковой части бассейна Волги реки были врезаны на значительную глубину. Во второй половине МИС 3 и первой половине МИС 2, до 18−19 тыс. лет назад, в речных долинах происходило заполнение этих врезов. В течение эпохи формирования больших палеорусел реки бассейна испытывали врезание вследствие роста водного стока. По окончании эпохи обильного стока у части рек произошла адаптация продольных профилей к уменьшившимся величинам стока, другие реки унаследовали профили дна долины от сформированных к концу эпохи обильного стока.

Источники финансирования

Исследование проведено при поддержке Российского научного фонда, проект № 19-17-00215п.

Funding

This study was supported by the Russian Science Foundation, project no. 19-17-00215p.

Литература

Борисова О.К. Ландшафтно-климатические условия в центральной части Восточно-Европейской равнины в последние 22 тысячи лет (реконструкция по палеоботаническим данным) // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 6. С. 664−675. DOI: 10.31857/S0321059621060031.

Елагин А.В., Зайцев М.В., Прохоров Д.А., Шендрик Н.К. Оценка точности определения координат спутниковыми приемниками EFT M3 GNSS и EFT M4 GNSS в режиме RTK // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2020. Т. 25. № 3. С. 26−33. DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-3-26-33.

Курбанов Р.Н., Беляев В.Р., Свистунов М.И., Бутузова Е.А., Солодовников Д.А., Таратунина Н.А., Янина Т.А. Новые данные о возрасте раннехвалынской трансгрессии Каспийского моря // Известия Российской академии наук.

References

Astakhov V., Shkatova V., Zastrozhnov A., Chuyko, M. Glaciomorphological map of the Russian Federation. *Quaternary International*, 2016, vol. 420, pp. 4−14. DOI: 10.1016/j.quaint.2015.09.024.

Borisova O.K. Landscape and Climatic Conditions in the Central East European Plain in the last 22 Thousand Years: Reconstruction based on Paleobotanical Data. *Water Resources*, 2021, vol. 48, pp. 886−896. DOI: 10.1134/S0097807821060038.

Chalov R.S., Chernov A.V. Geologo-geomorfologicheskiye usloviya; Rasprostraneniye tipov rusel [Geological and geomorphological conditions; Distribution of channel types]. In Chalov R.S. (ed.), *Ruslovoy rezhim rek Severnoy Yevrazii (v predelakh byvshego SSSR) [Channel operation of Northern Eurasia rivers (within the former USSR)]*.

Серия географическая. 2023. Т. 87. №. 3. С. 403−419. DOI: 10.31857/S2587556623030081.

Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в её бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 355 с.

Макшаев Р.Р., Ткач Н.Т. Хронология хвалынского этапа развития Каспия по данным радиоуглеродного датирования. Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54. № 1. С. 37−54. DOI: 10.31857/S2949178923010103.

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

Нежиховский Р.А. Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды (Метод. основы и практика прогнозов паводочного стока рек). Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 476 с.

Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги. *Под ред. Георгиевского В.Ю.* Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2015а. 467 с.

Основные гидрологические характеристики рек бассейна Камы. *Под ред. Георгиевского В.Ю*. Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2015б. 373 с.

Основные гидрологические характеристики рек бассейна Нижней Волги. *Под ред. Георгиевского В.Ю.* Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2015в. 228 с.

Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Чернов А.В. Макроизлучины рек ЕТС и проблемы палеогидрологических реконструкций // Водные ресурсы. 1992. Т. 19. № 4. С. 93−96.

Панин А.В., Сидорчук А.Ю. Макроизлучины («большие меандры»): проблемы происхождения и интерпретации // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2006. № 6. С. 14−22.

Панин А.В., Матлахова Е.Ю. Периодические проявления мощного речного стока в центре Русской равнины в валдайскую холодную эпоху // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 370. С. 168−174.

Moscow, Publ. Moscow University Press, 1994, pp. 20−26; 56−65. (in Russian).

Cserkész-Nagy Á., Sztanó O. Millennial-scale climatic fluctuation in the fluvial record during MIS3: Very high-resolution seismic images from NE Hungary. *Geomorphology*, 2016, vol. 274, pp. 116−128. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.09.016.

Elagin A.V., Zaytsev M.V., Prokhorov D.A., Shendrik N.K. Otsenka tochnosti opredeleniya koordinat sputnikovymi priyemnikami EFT M3 GNSS i EFT M4 GNSS v rezhime RTK [Estimation of coordinates accuracy determination by EFT M3 GNSS and EFT M4 GNSS satellite receivers in RTK mode]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologiy [Bulletin of the Siberian State University of Geosystems and Technologies]*. 2020, vol. 25, no. 3, pp. 26−33 (in Russian; abstract in English). DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-3-26-33.

Gębica P., Michno A., Sobucki M., Wacnik A., Superson S. Chronology and dynamics of fluvial style changes in the Younger Dryas and Early Holocene in Central Europe (lower San River, SE Poland). *Science of The Total Environment*, 2022, vol. 830, pp. 154700. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.154700.

Gelfan A., Panin A., Kalugin A., Morozova P., Semenov V., Sidorchuk A., Ukraintsev V., Ushakov K. Hydroclimatic processes as the primary drivers of the Early Khvalynian transgression of the Caspian Sea: new developments // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2024. V. 28. № 1. P. 241−259. DOI: 10.5194/hess-28-241-2024

Hughes A., Gyllencreutz R., Lohne Ø., Mangerud J., Svendsen J. The last Eurasian ice sheets–a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1. *Boreas*, 2016, vol. 45, no. 1, pp. 1−45. DOI: 10.1111/bor.12142.

Kurbanov R., Taratunina N., Murray A.S., Yanina T. First reliable chronology for the Early Khvalynian Caspian Sea transgression in the Lower Volga River valley. *Boreas*, 2021, vol. 50, no. 1, pp. 134−146. DOI: 10.1111/bor.12478.

Kurbanov R.N., Belyaev V.R., Svistunov M.I., Butuzova E.A., Solodovnikov D.A., Taratunina N.A., Yanina T.A. Novyye dannyye o vozraste rannekhvalynskoy transgressii Kaspiyskogo morya [New data on the age of the early Khvalynian

Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Украинцев В.Ю. Вклад талых ледниковых вод в формирование стока Волги в последнюю ледниковую эпоху // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 6. С. 656–663. DOI: 10.31857/S0321059621060146.

Панин А.В., Сорокин А.Н., Бричева С.С., Матасов В.М., Морозов В.В., Смирнов А.Л., Солодков Н.Н., Успенская О.Н. История формирования ландшафтов Заболотского торфяника в контексте инициального заселения Дубнинской низины (бассейн верхней Волги) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2022. Т. 57. № 2. С. 85−100. DOI: 10.20874/2071-0437-2022-57-2-7.

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. DOI: 10.1134%2FS0097807808040027.

Сидорчук А.Ю., Украинцев В.Ю., Панин А.В. Оценка годового стока Волги в позднеледниковье по данным о размерах палеорусел // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 6. С. 643−655. DOI: 10.31857/S0321059621060171.

Украинцев В.Ю. Следы мощного речного стока в долинах рек бассейна Волги в поздневалдайскую эпоху // Геоморфология. 2022. № 1. С. 26−34. DOI: 10.31857/S0435428122010126.

Украинцев В.Ю., Зазовская Э.П., Захаров А.Л., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю. О времени проявления эпохи обильного речного стока в бассейне Волги // Водные ресурсы. 2024 (в печати).

Спасская И.И. Экзогенный морфогенез // Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Под ред. профессора А.А. Величко. М.: ГЕОС, 2009. С. 64−70.

Чалов Р.С., Чернов А.В. Геолого-геоморфологические условия; распространение типов русел // Русловой режим рек Северной Евразии (в пределах бывшего СССР). Под ред. Р. С. Чалова. М.: Издательство Московского университета, 1994. — С. 20−26; 56−65.

transgression of the Caspian Sea]. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya geograficheskaya [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical series],* 2023, vol. 87, no. 3, pp. 403−419 (in Russian; abstract in English). DOI: 10.31857/S2587556623030081.

Makkaveev N.I. *Ruslo reki i eroziya v yeyo basseyne [River bed and erosion in its basin]*. Moscow, Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1955, 355 p. (in Russian).

Makshaev R., Tkach N. Chronology of Khvalynian Stage of the Caspian Sea According to Radiocarbon Dating. *Doklady Earth Sciences*, 2022, vol. 507, suppl, 1, pp. S51−S60. DOI: 10.1134/S1028334X22601341.

Matlakhova E.Yu., Panin A.V., Belyaev V.R., Borisova O.K. Razvitie doliny Verkhnego Dona v kontse pozdnego pleistotsena [The Upper Don river valley evolution in the End of the Late Pleistocene]. *Vestnik Moskovskogo Unviersiteta. Seriya 5. Geografiya [Lomonosov Geography Journal],* 2019, no. 3, pp. 83–92. (in Russian; abstract in English).

Nezhikhovskiy R.A. *Ruslovaya set' basseyna i protsess formirovaniya stoka vody (Metod. osnovy i praktika prognozov pavodochnogo stoka rek) [The channel network of the basin and the formation process of water runoff (Methodological bases and practice for forecasting the rivers flood runoff)]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1971, 476 p. (in Russian).

Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki rek basseyna Verkhney Volgi [The main hydrological characteristics of the rivers of the Upper Volga basin]. Ed. Georgievsky V.Y. Livny, 2015a, Publ. Mukhametov G.V., 467 p. (in Russian).

Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki rek basseyna Kamy [The main hydrological characteristics of the rivers of the Kama basin]. Ed. Georgievsky V.Y. Livny, 2015b, Publ. Mukhametov G.V., 373 p. (in Russian).

Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki rek basseyna Nizhnei Volgi [The main hydrological characteristics of the rivers of the Lower Volga basin]. Ed. Georgievsky V.Y. Livny, 2015v, Publ. Mukhametov G.V., 228 p. (in Russian).

Шанцер Е.В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит // Тр. ин-та геол. наук АН СССР. 1951. № 135. 274 с.

Astakhov V., Shkatova V., Zastrozhnov A., Chuyko, M. Glaciomorphological map of the Russian Federation // Quaternary International. 2016. V. 420. P. 4−14. DOI: 10.1016/j.quaint.2015.09.024.

Cserkész-Nagy Á., Sztanó O. Millennial-scale climatic fluctuation in the fluvial record during MIS3: Very high-resolution seismic images from NE Hungary // Geomorphology. 2016. Vol. 274. P. 116−128. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.09.016.

Gębica P., Michno A., Sobucki M., Wacnik A., Superson S. Chronology and dynamics of fluvial style changes in the Younger Dryas and Early Holocene in Central Europe (lower San River, SE Poland) // Science of The Total Environment. 2022. V. 830. P. 154700. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.154700.

Gelfan A., Panin A., Kalugin A., Morozova P., Semenov V., Sidorchuk A., Ukraintsev V., Ushakov K. Hydroclimatic processes as the primary drivers of the Early Khvalynian transgression of the Caspian Sea: new developments // Hydrology and Earth System Sciences. 2024. V. 28. № 1. P. 241−259. DOI: 10.5194/hess-28-241-2024.

Hughes A., Gyllencreutz R., Lohne Ø., Mangerud J., Svendsen J. The last Eurasian ice sheets–a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1 // Boreas. 2016. V. 45. № 1. P. 1−45. DOI: 10.1111/bor.12142.

Kurbanov R., Taratunina N., Murray A.S., Yanina T. First reliable chronology for the Early Khvalynian Caspian Sea transgression in the Lower Volga River valley // Boreas. 2021. V. 50. № 1. P. 134−146. DOI: 10.1111/bor.12478.

Panin A., Adamiec G., Buylaert J., Matlakhova E., Moska P., Novenko E. Two Late Pleistocene climate-driven incision/aggradation rhythms in the middle Dnieper River basin, west-central Russian Plain // Quaternary Science Reviews. 2017. V. 166. P. 266−288. DOI: 10.1016/j.quascirev.2016.12.002.

Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Chernov A.V. Makroizluchiny rek ETS i problemy paleogidrologicheskikh rekonstruktsiy [Macromeanders of the rivers in the European Part of Russia and problems of paleohydrological reconstructions]. *Vodnye resursy [Water resources],* 1992, vol. 19, no. 4, pp. 93−96. (in Russian).

Panin A.V., Sidorchuk A.Yu. Makroizluchiny («bol'shie meandry»): problemy proiskhozhdeniya i interpretatsii [Macromeanders («large meanders»): problems of origin and interpretation]. *Vestnik Moskovskogo Unviersiteta. Seriya 5. Geografiya [Lomonosov Geography Journal]*, 2006, no. 6, pp. 14–22. (in Russian; abstract in English).

Panin A.V., Matlakhova E.Yu. Periodicheskiye proyavleniya moshchnogo rechnogo stoka v tsentre Russkoy ravniny v valdayskuyu kholodnuyu epokhu [Periodic instances of a powerful river runoff in the center of the Russian Plain during the Valdai Cold Epoch]. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Unviersiteta [Bulletin of the Tomsk State University],* 2013, no. 370, pp. 168−174. (in Russian).

Panin A., Adamiec G., Buylaert J., Matlakhova E., Moska P., 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, pp. 266−288. DOI: 10.1016/j.quascirev.2016.12.002.

Panin A., Baranov D., Moska P. Rates of postglacial incision of the upper Volga river estimated by luminescence dating of the terrace staircase. *Practical Geography and XXI Century Challenges (Moscow, 04-06 june 2018)*. Moscow, Institute of Geography RAS Publ., 2018, pp. 569−574. DOI: 10.15356/IGRAS100CONF_V1.

Panin A., Sidorchuk A., Ukraintsev V. The Contribution of Glacial Melt Water to Annual Runoff of River Volga in the Last Glacial Epoch. *Water Resources*, 2021, vol. 48, no. 6, pp. 877−885. DOI: 10.1134/S0097807821060142.

Panin A.V., Sorokin A.N., Bricheva S.S., Matasov V.M., Morozov V.V., Smirnov A.L., Solodkov N.N., Uspenskaya O.N. Istoriya formirovaniya landshaftov Zabolotskogo torfyanika v kontekste initsial'nogo zaseleniya Dubninskoy niziny (basseyn verkhney Volgi) [Landscape development history of the

Panin A., Baranov D., Moska P. Rates of postglacial incision of the upper Volga river estimated by luminescence dating of the terrace staircase // Practical Geography and XXI Century Challenges (Moscow, 04-06 june 2018). Moscow: Institute of Geography RAS Publ., 2018. P. 569–574. DOI: 10.15356/IGRAS100CONF_V1.

Pastre J., Limondin-Lozouet N., Leroyer C., Ponel P., Fontugne M. River system evolution and environmental changes during the Lateglacial in the Paris Basin (France) // Quaternary Science Reviews. 2003. V. 22. № 20. P. 2177−2188. DOI: 10.1016/S0277-3791(03)00147-1.

Ramsey C.B. Bayesian analysis of radiocarbon dates // Radiocarbon. 2009. V. 51. № 1. P. 337−360. DOI: 10.1017/S0033822200033865.

Reimer P.J., Austin W.E., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Ramsey C.B., Butzin M., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P., Guilderson T., Hajdas I., Heaton T., Hogg A., Hughen A., Kromer B., Manning S., Muscheler P., Palmer J., Pearson C., Plicht J., Reimer R., Richards D., Scott E., Southon J., Turney C., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP) // Radiocarbon. 2020. V. 62. № 4. P. 725−757. DOI: 10.1017/RDC.2020.41.

Rinterknecht V., Hang T., Gorlach A., Kohv M., Kalla K., Kalm V., Subetto D., Bourlès D., Léanni L., Guillou V., Aster Team. The Last Glacial Maximum extent of the Scandinavian Ice Sheet in the Valday Heights, western Russia: Evidence from cosmogenic surface exposure dating using 10Be // Quaternary Science Reviews. 2018. V. 200. P. 106−113. DOI: 10.1016/j.quascirev.2018.09.032.

Sidorchuk A., Panin A., Borisova O. Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East European Plain) during the Late Glacial period // Geomorphology. 2009. V. 113. P. 137–157. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.03.007.

Starkel L., Michczyńska D., Gębica P., Kiss T., Panin A., Perşoiu I. Climatic fluctuations reflected in the evolution of fluvial systems of Central-Eastern Zabolotsky peat bog in the context of initial settlement of the Dubna River lowland (Upper Volga basin)]. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii [Bulletin of Archeology, Anthropology and Ethnography]*, 2022, no. 2, pp. 85−100. (in Russian; abstract in English). DOI: 10.20874/2071-0437-2022-57-2-7.

Pastre J., Limondin-Lozouet N., Leroyer C., Ponel P., Fontugne M. River system evolution and environmental changes during the Lateglacial in the Paris Basin (France). *Quaternary Science Reviews*, 2003, vol. 22, no. 20, pp. 2177−2188. DOI: 10.1016/S0277-3791(03)00147-1.

Ramsey C.B. Bayesian analysis of radiocarbon dates // *Radiocarbon*, 2009, vol. 51, no. 1, pp. 337−360. DOI: 10.1017/S0033822200033865.

Reimer P.J., Austin W.E., Bard E., Bayliss A., Blackwell P. G., Ramsey C. B., Butzin M., Cheng H., Edwards R. L., Friedrich M., Grootes P., Guilderson T., Hajdas I., Heaton T., Hogg A., Hughen A., Kromer B., Manning S., Muscheler P., Palmer J., Pearson C., Plicht J., Reimer R., Richards D., Scott E., Southon J., Turney C., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 2020, vol. 62, no. 4, pp. 725−757. DOI: 10.1017/RDC.2020.41.

Rinterknecht V., Hang T., Gorlach A., Kohv M., Kalla K., Kalm V., Subetto D., Bourlès D., Léanni L., Guillou V., Aster Team. The Last Glacial Maximum extent of the Scandinavian Ice Sheet in the Valday Heights, western Russia: Evidence from cosmogenic surface exposure dating using 10Be. *Quaternary Science Reviews*, 2018, vol. 200, pp. 106−113. DOI: 10.1016/j.quascirev.2018.09.032.

Shantser E.V. Allyuviy ravninnykh rek umerennogo poyasa i yego znacheniye dlya poznaniya zakonomernostey stroyeniya i formirovaniya allyuvial'nykh svit [Alluvium of temperate climate lowland rivers and its significance for understanding the structure patterns and the formation of alluvial series]. *Tr. in-ta geol. nauk AN SSSR [Collected Scientific Works of the Institute of Geological Sciences of the USSR Academy of Science]*, 1951, no. 135, 274 p. (in Russian).

Europe (60–8 ka cal BP) // Quaternary International. 2015. V. 388. pp. 97−118. DOI: 10.1016/j.quaint.2015.04.017.

Vandenberghe J., Sidorchuk A. Large Palaeomeanders in Europe: Distribution, Formation Process, Age, Environments and Significance // Palaeohydrology. Springer Cham, 2020. P. 169−186. DOI: 10.1007/978-3-030-23315-0_9.

Sidorchuk A., Panin A., Borisova O. Climate-induced changes in surface runoff on the North-Eurasian plains during the late glacial and Holocene. *Water Resources*, 2008, vol. 35, no. 4, pp. 386–396. DOI: 10.1134/S0097807808040027.

Sidorchuk A., Panin A., 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, no. 3−4, pp. 137–157. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.03.007.

Sidorchuk A., Ukraintsev V., Panin A. Estimating Annual Volga Runoff in the Late Glacial Epoch from the Size of River Paleochannels. *Water Resources*, 2021, vol. 48, no. 6, pp. 864−876. DOI: 10.1134/S0097807821060178.

Spasskaya I.I. Ekzogennyy morfogenez [Exogenous morphogenesis]. In Velichko A.A. (ed.), *Paleoklimaty i paleolandshafty vnetropicheskogo prostranstva Severnogo polushariya [Paleoclimates and paleolandscapes of the extratropical space of the Northern Hemisphere]*. Moscow, Publ. GEOS, 2009, pp. 64−70. (in Russian).

Starkel L., Michczyńska D., Gębica P., Kiss T., Panin A., Perşoiu I. Climatic fluctuations reflected in the evolution of fluvial systems of Central-Eastern Europe (60–8 ka cal BP). *Quaternary International*, 2015, vol. 388, pp. 97−118. DOI: 10.1016/j.quaint.2015.04.017.

Ukraintsev V. Y. Geomorphological Evidence of High River Runoff in the Volga Basin during the Late Glacial. *Doklady Earth Sciences*, 2022, vol. 506, suppl. 1, pp. S1-S6. DOI: 10.1134/S1028334X2260030X.

Ukraintsev V., Zazovskaya E., Zakharov A., Maksimov F., Petrov A. On the timing of the epoch of abundant river flow in the Volga basin. *Water Resources*, 2024 (in press).

Vandenberghe J., Sidorchuk A. Large Palaeomeanders in Europe: Distribution, Formation Process, Age, Environments and Significance. *Palaeohydrology*, Springer Cham, 2020, pp. 169−186. DOI:10.1007/978-3-030-23315-0_9.