

## СЛЕДЫ МОЩНОГО РЕЧНОГО СТОКА В ДОЛИНАХ РЕК БАССЕЙНА ВОЛГИ В ПОЗДНЕВАЛДАЙСКУЮ ЭПОХУ

© 2022 г. В. Ю. Украинцев<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

\*E-mail: [ukraintsev@igras.ru](mailto:ukraintsev@igras.ru)

Поступила в редакцию 29.06.2021 г.

После доработки 25.09.2021 г.

Принята к публикации 11.10.2021 г.

Большие палеоруслы – это геоморфологический феномен. Выполнен обзор ландшафтно-геоморфологических следов больших палеорусл на поймах рек бассейна Волги, рассмотрены закономерности их распространения, предложено усовершенствование методики анализа рельефа речных пойм по материалам дистанционного зондирования. На основе анализа спутниковых снимков высокого разрешения и цифровых моделей рельефа в речных долинах бассейна Волги закартировано более 1700 участков с большими палеоруслами. Морфология палеорусл отражает ландшафтно-климатические отличия северных и южных частей бассейна. Географическое распространение больших палеорусл свидетельствует, что на Восточно-Европейской равнине длительность и выраженность палеоклиматических эпизодов высокого речного стока была максимальной в полосе, занимаемой современными степями и лесостепями, а к северу и югу от этой полосы эпизоды высокого стока убывали и поэтому оставили меньше геоморфологических следов в речных долинах.

*Ключевые слова:* большие палеоруслы, Волга, палеоландшафты, позднеледниковье, макроизлучины

DOI: 10.31857/S0435428122010126

### ВВЕДЕНИЕ

Речные излучины являются характерной формой флювиального рельефа практически любой речной долины. При этом на поймах речных долин присутствуют не только современные излучины, формирующие русло, но и те, которые были оставлены рекой и ныне представляют собой староречья (палеоруслы), часто занятые озерами-старицами. Также часто сохраняются следы миграции русла по дну долины – пойменные гривы, меандровые цирки и т.д. В большинстве случаев старицы соразмерны современным излучинам. Однако иногда на поймах встречаются участки палеорусл, заметно превышающие по размеру современные аналоги. Такие староречья называют “большими палеоруслами” (large paleochannels), а если они имеют меандрирующую форму – большими меандрами, или макроизлучинами [1]. Большие палеоруслы наиболее часто встречаются в речных долинах на равнинах Северного полушария в перигляциальной зоне последнего оледенения [2–5]. Их крупный размер обычно объясняется формированием в эпохи повышенного стока рек [1, 5]. Макроизлучины хорошо выражены на космоснимках (рис. 1), цифровых моделях рельефа (ЦМР) высокого разрешения и топогра-

фических картах. Их свежий облик также говорит о том, что они сформировались сравнительно недавно – после максимума последнего оледенения. На Восточно-Европейской равнине следы высокого стока ранее изучены в бассейнах Дона [6, 7], Днепра [4, 8–10], Волги [11–13]. Из названных бассейнов именно водосбор р. Волги имеет особое значение в связи с тем, что с его историей увязывается целый ряд нерешенных палеогеографических проблем. Одна из таких проблем – позднечетвертичная история Каспийского моря, для понимания и объяснения которой ключевое значение имеют изменения стока Волги [14].

С момента выхода последних публикаций, посвященных палеопотамологии бассейна Волги, прошло более десяти лет, за которые произошел технологический скачок в дистанционных исследованиях и была усовершенствована методика палеопотамологических реконструкций [15]. Выполненные ранее исследования больших палеорусл в бассейне Волги базировались на изучении снимков проекта Landsat 7 с разрешением 30–60 м, что не позволяло уверенно дешифровать пойменный рельеф не только на малых, но и на средних реках. Результатом этого явилось представление о неравномерном покрытии бассейна форма-



**Рис. 1.** Типы больших палеорусел в бассейне Волги (снимки ESRI).

1 – унаследованные макроизлучины (верховья р. Вятки, восток Кировской области); 2 – макроизлучины-староречья (низовья р. Мокши, восток Рязанской области); 3 – меандровые цирки (низовья р. Танып, северо-запад Башкирии); 4 – прямолинейное (низовья р. Весляны, северо-запад Пермского края); 5 – системы крупных грев (низовья р. Б. Ирриз, север Саратовской области); 6 – разветвленные (низовья р. Чагоды, юго-запад Вологодской области).

ми палеоруслового рельефа, необходимыми для проведения последующих количественных реконструкций стока. Находки больших палеорусел в бассейнах Волги выше г. Плёс и верхней–средней Камы были единичны [11].

Целью данного исследования является обзор распространения геоморфологических следов повышенного речного стока в бассейне Волги, установление географических закономерностей их распространения, а также усовершенствование методических аспектов применения данных дистанционного зондирования в целях палеофлювиальных реконструкций.

### БАССЕЙН ВОЛГИ В ПОЗДНЕВАЛДАЙСКУЮ ЭПОХУ

Во время максимума последнего оледенения покровное оледенение занимало всю северо-западную часть бассейна Волги вплоть до середины нынешнего Рыбинского водохранилища [16], хотя ледниковый сток был незначительным [17]. Также оледенением были покрыты верховья Волги в пределах Валдайской гряды [18]. На СЗ бассейна (до озера Белого) ледник существовал вплоть до 17 тыс. л. н., после чего отступил и более

в бассейн Волги не возвращался [16]. Примерно в это же время, в раннем дриасе, начинается раннехвалынская трансгрессия на юге, длившаяся до позднего дриаса, воды Каспия проникали в бассейн Волги вплоть до Балакова (Саратовская область) [19]. В это же время отмечаются высокий речной сток и формирование больших палеорусел [20]. Уже тогда существовали явные широтные ландшафтно-климатические различия [21]. По этой причине имеющиеся реконструкции стока поздневалдайских рек Восточно-Европейской равнины [4] отражают увеличение слоя стока с юга на север подобно тому, как он изменяется и в современную эпоху. Следует отметить, что происходило плавное потепление в раннем дриасе с оптимумом в бёллинг-аллерёде, а затем резкое похолодание в позднем дриасе, продолжавшееся до конца плейстоцена. В течение всей поздневалдайской эпохи бассейн Волги почти полностью относился к зоне многолетней мерзлоты [21].

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Бассейн Волги разделяется на пять соразмерных подбассейнов: верхней Волги до впадения Оки, Оки, средней Волги между впадением Оки и

Камы, Камы, нижней Волги после слияния с Камой. Распознавание элементов палеофлювиального рельефа на речных поймах проводилось по спутниковым снимкам и цифровым моделям рельефа (ЦМР). В первую очередь использовались детальные снимки (с разрешением до первых метров) компаний *ESRI* и *Yandex*, в меньшей степени — *Google* и *Bing*, а также ЦМР *ALOS 3D* с разрешением 30 м от *JAXA*. Для работы применялись геоинформационные системы *SAS Planet*, где производился поиск больших палеорусел, и *Arcmap 10.3*, где выполнялись обзор ЦМР и создание рисунков, а также систематизировались данные. Выведение итоговых значений количества участков, их анализ и построение диаграмм происходило в программе *Microsoft Office Excel*.

Сначала были выделены границы бассейна, для чего были выгружены все листы ЦМР, затрагивающие бассейн Волги (около 270 штук). Также из базы данных работы [22] были выгружены в векторном виде имеющиеся речные микробассейны для всей Восточно-Европейской равнины, имеющие довольно высокую точность границ. Площади микробассейнов были сравнены с данными из справочника “Основные гидрологические характеристики рек бассейна Волги”, что облегчило выделение границ. Затем были выполнены проверка и отрисовка общих границ.

Поиск больших палеорусел проводился начиная с верховий Волги и далее вниз по течению в каждом локальном бассейне с различной на снимках поймой. Для облегчения поиска использовалась ЦМР, где сразу видно ширину днища долины, а также размер речного бассейна. Была принята классификация больших палеорусел из работы [6] с цифровой кодировкой: унаследованные (1), старицы (2), меандровые цирки (3), прямолинейные (4), системы крупных глив (5) и разветвленные (6) (см. рис. 1). Следы высокого стока привязывались к гидрологически однородным участкам (одна точка на карте — один участок), в каждом из которых должно быть несколько (не менее трех–четырёх) больших палеорусел. Все участки были систематизированы в соответствии с принятой классификацией. Чтобы избежать ошибок в идентификации макроизлучин, которые могут иметь геологическую природу или не иметь очевидных морфометрических отличий от крупных голоценовых излучин [1], выделялись только участки, где макроизлучины располагаются сериями, имеют четкую обтекаемую форму и не менее чем полутора–двукратно больший (по сравнению с современными излучинами на том же участке реки) размер. В неоднозначных случаях шаг потенциальных макроизлучин сравнивался с шириной современного русла: шаг современных излучин превышает ширину русла в среднем в 5.7 раза [23]; для макроизлучин шаг должен быть больше современной ширины не менее чем в

10 раз [1]. Также не учитывались врезанные макроизлучины, у которых шпора имеет нефлювиальное происхождение (у речных шпор высота обычно не превышает 8–10 м, поскольку больший врез был маловероятен за промежуток времени позднеледниковье–голоцен).

Относительные значения обилия больших палеорусел по природным зонам были получены путем приведения абсолютного их количества к площади, которую занимает природная зона в бассейне Волги. Для этого границы современных природных зон в бассейне Волги (по [24–26]) были оцифрованы, что помогло установить их реальную площадь. Получившиеся полигоны были искусственно уравнены, как если бы все природные зоны в бассейне Волги занимали одинаковые площади, равной 230517 км<sup>2</sup>, а количества участков — пересчитаны с приведением к этой искусственной площади, а затем просуммированы. Абсолютное значение новой суммы было принято за 100%, а пересчитанное количество участков определенного типа в природных зонах с одинаковыми площадями — за относительное значение (вес, занимаемый в природной зоне).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С использованием космоснимков и ЦМР в бассейне Волги удалось выявить более 1700 участков со следами высокого стока — большими палеоруслу типа 1, реже — типов 2 и 3, меньше всего — типов 4, 5 и 6 (табл. 1, рис. 2). В целом встречаемость падает от унаследованных палеорусел (встречаются чаще всего) до разветвленных, которые редки. Результаты были обобщены на рис. 3, (а), где представлено количество тех или иных типов больших палеорусел в каждом подбассейне. Распределение больших палеорусел по природным зонам показано в абсолютном (табл. 2) и относительном (рис. 3, б) выражении.

Больше всего палеорусел обнаруживается в южной части бассейна Волги, причем прослеживается корреляция между географической широтой и частотой их встречаемости. На рис. 3, (а) видно, что встречаемость увеличивается от средней тайги до степи, а затем, в полупустыне, снова падает. Это может быть объяснено несколькими причинами. Во-первых, в позднеледниковье произошло смещение гидрологических условий. Вероятно, в то время область, имеющая наивысший речной сток, располагалась южнее (из-за трансформации климата, а также многолетнего промерзания грунтов), в том числе на широтах нынешней степи (что косвенно подтверждается картой 2 из работы [27]). Соответственно, к югу и к северу показатели речного стока падали. Во-вторых, реки северной части бассейна расположены в зоне распространения плейстоценовых оледенений. Обычно они имеют относительно узкие



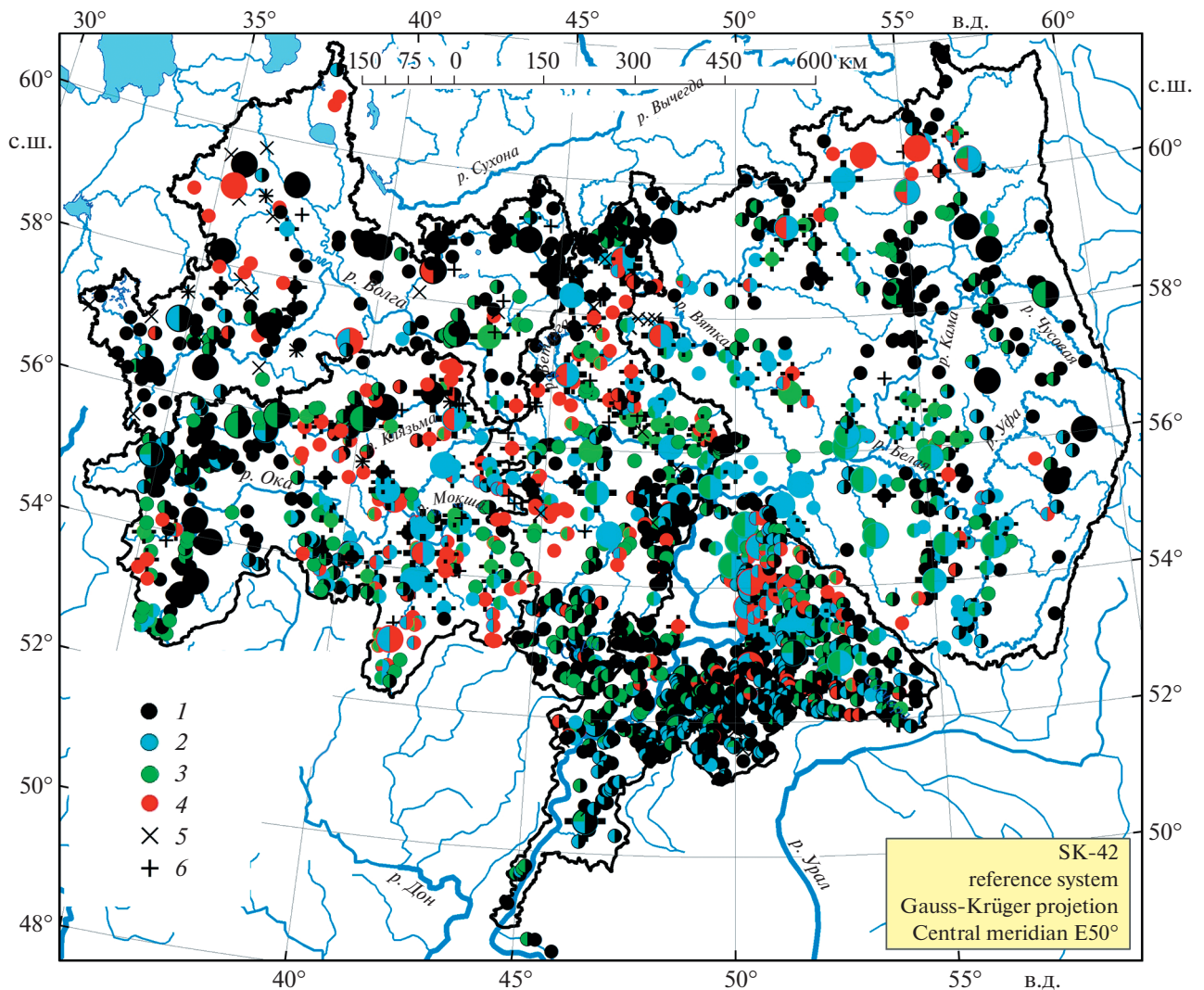
**Таблица 1.** Распределение участков с большими палеоруслуями по подбассейнам (цифровые обозначения 1–6 см. в тексте)

Тип	Верхняя Волга	Ока	Средняя Волга	Кама	Нижняя Волга	Всего
1	115	136	178	168	508	1105
2	15	95	64	111	238	523
3	25	119	99	109	155	507
4	19	94	64	31	85	293
5	27	75	67	52	52	273
6	23	8	17	4	34	86
Всего	164	309	326	295	618	1712

долины и поймы, а борта русел часто сложены плотными моренными суглинками. Это ограничивало возможности для горизонтальных русловых деформаций, а узость пойм препятствовала сохранности геоморфологических следов деятельности древних рек. В то же время реки в южной части бассейна обычно имеют хорошо разра-

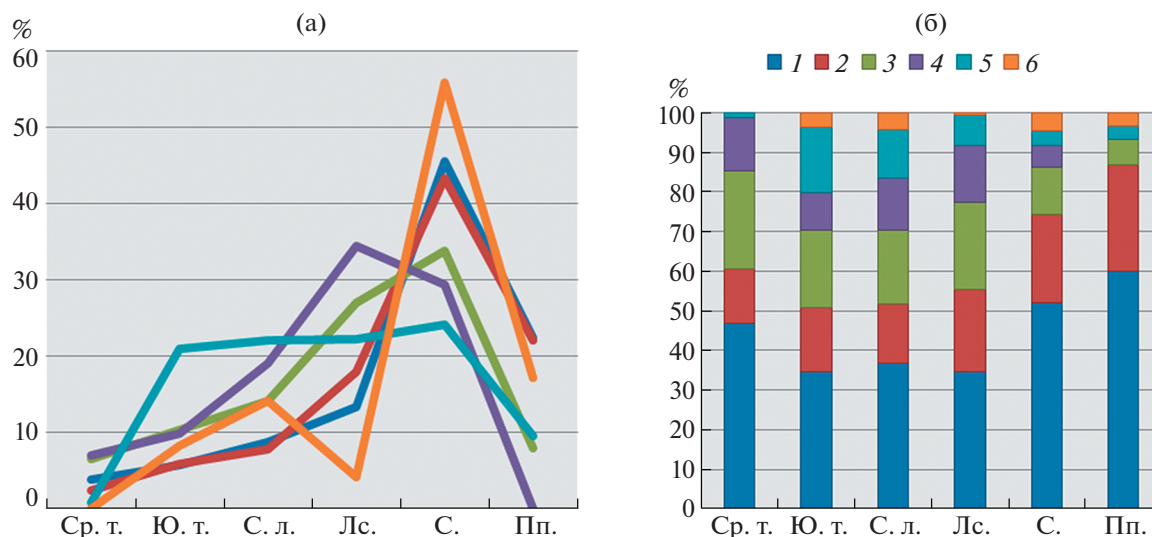
ботанные древние долины с широкими поймами, в пределах которых могли как формироваться, так и сохраняться следы миграции речных русел за длительный промежуток времени.

Типы больших палеорусел также зависят от географического положения реки, что видно из рис. 3, (б). Унаследованные макроизлучины до-



**Рис. 2.** Распространение участков с большими палеоруслуями разных типов в бассейне Волги. Усл. обозначения 1–6 см. рис. 1.





**Рис. 3.** Встречаемость разных типов больших палеорусел по природным зонам: (а) – общее число выявленных участков, (б) – относительная встречаемость.

Ср. т. – средняя тайга, Ю. т. – южная тайга, С. л. – смешанные леса, Лс. – лесостепь, С. – степь, Пп. – полупустыня. Усл. обозначения 1–6 см. рис. 1.

минируют во всех зонах. Меандровые цирки занимают второе место по встречаемости в лесной зоне, к югу они уступают макроизлучинам-старицам. По всей видимости, в лесной зоне из-за более узких пойм чаще происходило размывание бортов долин и формирование цирков, в то время как на юге ширина пойм не ограничивала меандрирование. Тип 4 также чаще распространен в лесной зоне, что, вероятно, говорит о более низком росте стока (по сравнению со степями) во время позднеледниковья. То есть в ряде случаев рост стока не доводил до трансформации типа русловых процессов из прямолинейного в меандрирующий, либо меандрирование не было устойчивым. Большая встречаемость макроизлучин типа 5 в лесной зоне, видимо, говорит о том, что голоценовый сток рек, который там был выше,

чем на юге, способствовал формированию более широкого пояса меандрирования и частичному уничтожению стариц, но сохранению следов крупных грив. Разветвленных палеорусел больше всего в пределах границ последнего оледенения и хвалынской трансгрессии, что может говорить о том, что они сформировались в первом случае под действием талых ледниковых вод, а во втором – устьевых процессов. Все это говорит о том, что морфология палеорусел отражает ландшафтно-климатические отличия (неоднородность) северных и южных частей бассейна.

При рассмотрении самих участков порой заметны различия в возрасте излучин – как по их форме и ландшафтным особенностям (например, по наличию и оттенкам растительности заметна степень заполненности стариц пойменным аллю-

**Таблица 2.** Распределение участков с большими палеоруслами по природным зонам

Тип	Средняя тайга	Южная тайга	Смешанные леса	Лесостепь	Степь	Полупустыня	Всего
1	38	258	163	267	360	18	1104
2	11	121	66	162	155	8	523
3	20	144	83	168	84	2	501
4	11	72	58	112	38		291
5	1	123	54	58	25	1	262
6		27	19	6	32	1	85
Всего	60	488	280	459	406	19	1712
S, км <sup>2</sup>	131641	608080	253490	271013	107926	10949	1383099
S, %	10%	44%	18%	20%	8%	1%	

вием), так и по степени близости к современному руслу и расположению в том или ином поясе меандрирования, которые также различимы. Также на реках с большим количеством найденных участков (например, на р. Самаре) нередко можно отметить изменение типов больших палеорусел при движении вверх по долине — в верховьях рек, где поймы узки, преобладает тип 1; ниже по течению появляются типы 2 и 3 (при этом тип 1 может сохраняться или исчезать) и, наконец, в среднем и нижнем течении появляются типы 4 и 5.

Наиболее надежные с точки зрения оценки возраста начала формирования типы больших палеорусел — 2, 4 и 5 — имеют наиболее выраженный микрорельеф, указывающий на формирование макроизлучин в относительно недавнем прошлом, в отличие от других типов, которые могли начать формироваться и раньше. Первые также встречаются чаще всего на юге и несколько меньше — в центре бассейна Волги. Стоит отметить, что крупные гривистые системы иногда можно увидеть в пределах современного пояса меандрирования, чаще в северной части бассейна. Они возникают в ходе роста аномально крупных современных излучин, которые иногда появляются при переформировании серий голоценовых излучин. Врезанные макроизлучины типа 1 и 3 (последние чаще всего расположены далеко от современного русла), наоборот, обычно не несут в себе выраженных геоморфологических следов блуждания реки, и потому могут иметь более древний возраст начала формирования.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большие палеоруслы и следы их формирования широко распространены во всех частях бассейна Волги. Встречаемость больших палеорусел в целом и отдельных их типов имеют черты широтной зональности. Больше всего больших палеорусел в степной зоне; по направлению на север и юг их встречаемость падает. Это связано с различиями в строении долин северной и южной частей бассейна, что обусловило и разные условия для образования и сохранности геоморфологических следов палеоруслевой динамики. Второй фактор — палеоклиматический: географическое распространение больших палеорусел свидетельствует, по-видимому, что на Восточно-Европейской равнине общее число и суммарная длительность палеоклиматических эпизодов высокого речного стока были максимальные в полосе, занимаемой современными степями и лесостепями. К северу и югу от этой полосы эпизоды высокого стока убывали и поэтому оставили меньше геоморфологических следов в речных долинах. Выделение больших палеорусел, имеющих, по литературным данным, поздневалдайский возраст, и их отчленение от более древних

должно происходить по определенным критериям — ландшафтно-морфологическим, т.е. степени выраженности вееров блуждания (гривистых систем, самих палеорусел) и характеру распространения влаголюбивой растительности, и морфометрическим (превышение высоты шпоры унаследованных макроизлучин над руслом).

### БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования проводились при поддержке Российского научного фонда (морфометрические исследования — проект № 17-17-01289, палеогидрологические реконструкции — проект № 19-17-00215) и Программы фундаментальных исследований РАН (тема госзадания № 0148-2019-0005).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панин А.В., Сидорчук А.Ю. Макроизлучины (“большие меандры”): проблемы происхождения и интерпретации // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2006. № 6. С. 14–22.
2. Сидорчук А.Ю., Борисова О.К., Панин А.В. Поздневалдайские палеоруслы рек Русской равнины // Изв. РАН. Сер. геогр. 2000. № 6. С. 73–78.
3. Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Борисова О.К. Позднеледниковые палеоруслы рек Западной Сибири // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 2. С. 67–75.
4. Sidorchuk A. Yu., Panin A. V., and Borisova O. K. Surface runoff to the Black Sea from the East European Plain during Last Glacial Maximum–Late Glacial time // Spec. Pap. Geol. Soc. Am. 2011. T. 473. C. 1–25. [https://doi.org/10.1130/2011.2473\(01\)](https://doi.org/10.1130/2011.2473(01))
5. Vandenberghe J. and Sidorchuk A. Large palaeomeanders in Europe: Distribution, formation process, age, environments and significance // Palaeohydrology. Springer, Cham, 2020. P. 169–186. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23315-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23315-0_9)
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. Матлахова Е.Ю., Панин А.В., Беляев В.Р., Борисова О.К. Развитие долины Верхнего Дона в конце позднего плейстоцена // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2019. № 3. С. 83–92.
8. 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. T. 66. No. 1–2. C. 53–73. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.07.010>
9. Panin A. V., Adamiec G., Arslanov K. A., Bronnikova M. A., Filippov V. V., Sheremetskaya E. D., Zaretskaya N. E., and Zazovskaya E. P. Absolute chronology of fluvial events in the upper Dnieper river system and its palaeogeographic implications // Geochronometria. 2014. T. 41. No. 3. C. 278–293. <https://doi.org/10.2478/s13386-013-0154-1>
10. Panin A., Adamiec G., Buylaert J.-P., Matlakhova E., Moska P., and Novenko E. Two Late Pleistocene cli-

- mate-driven incision/aggradation rhythms in the middle Dnieper River basin, west-central Russian Plain // *Quaternary Science Reviews*. 2017. Т. 166. С. 266–288. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.12.002>
11. *Sidorchuk A. Yu., Panin A. V., and Borisova O. K.* Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East European Plain) during the Late Glacial period // *Geomorphology*. 2009. Т. 113. No. 3–4. С. 137–157. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.03.007>
  12. *Брылев В.А., Мозжерин В.В., Панин А.В., Сидорчук А.Ю.* Палеопотамология речной системы Волги // Эрозионные и русловые процессы. 2010. С. 116–147.
  13. *Чернов А.В.* Морфология и история развития долины реки Москвы в позднеледниковье и голоцене // *Геоморфология*. 2021. Т. 52. № 4. С. 79–96.
  14. *Kislov A. V., Panin A., and Toropov P.* Current status and palaeostages of the Caspian Sea as a potential evaluation tool for climate model simulations // *Quaternary International*. 2014. Т. 345. С. 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.05.014>
  15. *Sidorchuk A. Yu., Ukraintsev V. Yu., and Panin A. V.* Estimating Annual Volga Runoff in the Late Glacial Epoch from the Size of River Paleochannels // *Water Resources*. 2021. Vol. 48. No. 6. P. 864–876. <https://doi.org/10.1134/S0097807821060178>
  16. *Astakhov V., Shkatova V., Zastrozhnov A., and Chuyko M.* Glaciomorphological map of the Russian Federation // *Quaternary International*. 2016. Т. 420. С. 4–14. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.024>
  17. *Panin A. V., Sidorchuk A. Yu., and Ukraintsev V. Yu.* The Contribution of Glacial Melt Water to Annual Runoff of River Volga in the Last Glacial Epoch // *Water Resources*. 2021. Vol. 48. No. 6. P. 877–885. <https://doi.org/10.1134/S0097807821060142>
  18. *Маккавеев А.Н., Фаустова М.А., Карпущина Н.В.* Максимальная граница Скандинавского ледникового покрова в валдайскую (вислинскую) эпоху и особенности рельефа его периферической зоны // *Геоморфология*. 2020. № 3. С. 3–19. <https://doi.org/10.31857/S0435428120030098>
  19. *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 (1). P. 134–146. <https://doi.org/10.1111/bor.12478>
  20. *Panin A. and Matlakhova E.* Fluvial chronology in the East European Plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications // *Catena*. 2015. Т. 130. С. 46–61. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.08.016>
  21. Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария // Атлас-монография. Карты / Под ред. А.А. Величко. М.: ГЕОС, 2009. 120 с.
  22. *Yermolaev O. P., Mukharamova S. S., Maltsev K. A., Ivanov M. A., Ermolaeva P. O., Gayazov A. I., Mozhherin V. V., Kharchenko S. V., Marinina O. A., and Lisetskii F. N.* Geographic Information System and Geoportal “River basins of the European Russia” // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. 2018. Т. 107. No. 1. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/107/1/012108>
  23. *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.
  24. *Раковская Э.М.* Физическая география России. Часть 1: Общий обзор, Европейская часть и островная Арктика. М.: Академия, 2013. 288 с.
  25. *Макунина А.А.* Физическая география СССР. М.: Изд-во МГУ, 1985. 296 с.
  26. *Мильков Ф.Н., Гвоздецкий Н.А.* Физическая география СССР. Общий обзор. Европейская часть СССР. Кавказ. М.: Высш. шк., 1976. 376 с.
  27. *Величко А.А., Фаустова М.А., Писарева В.В., Карпущина Н.В.* История Скандинавского ледникового покрова и окружающих ландшафтов в валдайскую ледниковую эпоху и начале голоцена // *Лед и Снег*. 2017. Т. 57. № 3. С. 391–416. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-3-391-416>

## Evidences of the high river runoff in the river valleys of the Volga basin during the Late glacial

V. Yu. Ukraintsev<sup>a,b,#</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

<sup>b</sup>*Water Problems Institute of RAS, Moscow, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: ukraintsev@igras.ru*

Large paleochannels are considered to be a geomorphological phenomena. The review of landscape-geomorphological traces of large paleochannels on the floodplains of the Volga Rivers basin is carried out, the regularities of their distribution are considered, the improvement of the method of analyzing the topography of river floodplains based on remote sensing data is proposed. Based on the analysis of high-resolution satellite images and digital elevation models of the Volga basin river valleys, more than 1700 sites with large paleochannels have been mapped. The morphology of paleochannels reflects the landscape and climatic differences between the northern and southern parts of the basin. The distribution of large paleochannels in the Volga basin apparently indicates that the duration and severity of paleoclimatic episodes of high river runoff on the East European Plain was maximum in the area that occupied by modern steppes and forest-steppe. To the



north and south of this area there were fewer episodes of high runoff and therefore not too many geomorphological traces have been left in the river valleys.

*Keywords:* large paleochannels, Volga, paleolandscapes, Late Glacial, large meanders

#### ACKNOWLEDGMENTS

Research was supported by the Russian Science Foundation (morphometric studies – project No. 17-17-01289, paleohydrological reconstructions – project No. 19-17-00215), and Russian Academy of Sciences Fundamental Research Program (State Task No. 0148-2019-0005).

#### REFERENCES

- Panin A.V. and Sidorchuk A.Yu. *Makroizluchiny ("bol'shie meandry"): problemy proiskhozhdeniya i interpretatsii* (Macromeanders ("large paleochannels"): problems of origin and interpretation). *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2006. No. 6. P. 14–22. (in Russ.)
- Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K., and Panin A.V. *Pozdnevaldaiskie paleorusla rek Russkoi ravniny* (Late Valdai paleochannels of the Russian Plain rivers). *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*. 2000. No. 6. P. 73–78. (in Russ.)
- Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., and Borisova O.K. *Pozdnelednikovye paleorusla rek Zapadnoi Sibiri* (Late Glacial paleochannels of the Western Siberia rivers). *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*. 2008. No. 2. P. 67–75 (in Russ.)
- Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., and Borisova O.K. Surface runoff to the Black Sea from the East European Plain during Last Glacial Maximum–Late Glacial time. *Spec Pap Geol Soc Am*. 2011. Vol. 473. P. 1–25. [https://doi.org/10.1130/2011.2473\(01\)](https://doi.org/10.1130/2011.2473(01))
- Vandenbergh J. and Sidorchuk A. Large palaeomeanders in Europe: Distribution, formation process, age, environments and significance. *Palaeohydrology*. Springer. Cham. 2020. P. 169–186. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23315-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23315-0_9)
- 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). *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*. 2013. No. 1. P. 118–129. (in Russ.) <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-118-129>
- Matlakhova E.Yu., Panin A.V., Belyaev V.R., and Borisova O.K. *Razvitiye doliny Verkhnego Dona v kontse pozdnego pleistotsena* (Development of the Upper Don Valley at the End of the Late Pleistocene). *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2019. No. 3. P. 83–92. (in Russ.)
- 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. No. 1–2. P. 53–73. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.07.010>
- Panin A.V., Adamiec G., Arslanov K.A., Bronnikova M.A., Filippov V.V., Sheremetskaya E.D., Zaretskaya N.E., and Zazovskaya E.P. Absolute chronology of fluvial events in the upper Dnieper river system and its palaeogeographic implications. *Geochronometria*. 2014. Vol. 41. No. 3. P. 278–293. <https://doi.org/10.2478/s13386-013-0154-1>
- 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>
- Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., and Borisova O.K. 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. P. 137–157. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.03.007>
- Brylev V.A., Mozhherin V.V., Panin A.V., and Sidorchuk A.Yu. *Paleopotamologiya rechnoi sistemy Volgi* (Paleopotamology of the Volga river system). *Eroziionnye i ruslovyye protsessy*. 2010. P. 116–147. (in Russ.)
- Chernov A.V. *Morfologiya i istoriya razvitiya doliny reki Moskvy v pozdnelednikov'e i golotsene* (Morphology and history of the Moskva valley development in the Late Valdai and Holocene). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2021. Vol. 52. No. 4. P. 79–96. (in Russ.)
- Kislov A.V., Panin A., 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>
- Sidorchuk A.Yu., Ukraintsev V.Yu., and Panin A.V. Estimating Annual Volga Runoff in the Late Glacial Epoch from the Size of River Paleochannels. *Water Resources*. 2021. Vol. 48. No. 6. P. 864–876. <https://doi.org/10.1134/S0097807821060178>
- Astakhov V., Shkatova V., Zastrozhnov A., and Chuyko M. Glaciomorphological map of the Russian Federation. *Quaternary International*. 2016. Vol. 420. P. 4–14. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.024>
- Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., and Ukraintsev V.Yu. The Contribution of Glacial Melt Water to Annual Runoff of River Volga in the Last Glacial Epoch. *Water Resources*. 2021. Vol. 48. No. 6. P. 877–885. <https://doi.org/10.1134/S0097807821060142>
- Makkaveev A.N., Faustova M.A., and Karpukhina N.V. *Maksimal'naya granitsa Skandinavskogo lednikovogo pokrova v valdaiskuyu (vislinskuyu) epokhu i osobennosti rel'efa ego perifericheskoi zony* (The maximum boundary of the Scandinavian ice sheet in the Vislin epoch and features of landscapes on its peripheral zone). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2020. No. 3. P. 3–19 (in Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0435428120030098>
- 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 (1). P. 134–146. <https://doi.org/10.1111/bor.12478>
20. 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>
  21. *Paleoklimaty i paleolandshafty vnetropicheskogo prostranstva Severnogo polushariya* (Paleoclimates and paleolandscapes at the extratropical zone of the Northern Hemisphere). Atlas-monografiya. Maps. A.A. Velichko (Ed.). Moscow: GEOS (Publ.), 2009. 120 p. (in Russ.)
  22. Yermolaev O.P., Mukharamova S.S., Maltsev K.A., Ivanov M.A., Ermolaeva P.O., Gayazov A.I., Mozzherin V.V., Kharchenko S.V., Marinina O.A., and Lisetskii F.N. Geographic Information System and Geoportal “River basins of the European Russia”. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2018. Vol. 107. No. 1. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/107/1/012108>
  23. Sidorchuk A.Yu., Panin A.V., and Borisova O.K. *Klimaticheski obuslovlennyye izmeneniya rechnogo stoka na ravninakh severnoi Evrazii v pozdnelednikov’e i golotsene* (Climatically caused changes of river runoff at the plains of northern Eurasia in the Late Glacial and Holocene). *Vodnye resursy (Water Resources)*. 2008. Vol. 35. No. 4. P. 406–416. (in Russ.)
  24. Rakovskaya E.M. *Fizicheskaya geografiya Rossii. Chast’ I: Obshchii obzor, Evropeiskaya chast’ i ostrovnaya Arktika* (Physical geography of Russia. Part 1: General overview, European part and insular Arctic). M.: Akademiya (Publ.), 2013. 288 p. (in Russ.)
  25. Makunina A.A. *Fizicheskaya geografiya SSSR* (Physical geography of the USSR). M.: Izdatel’stvo Moskovskogo universiteta (Publ.), 1985. 296 p. (in Russ.)
  26. Mil’kov F.N. and Gvozdetskii N.A. *Fizicheskaya geografiya SSSR. Obshchii obzor. Evropeiskaya chast’ SSSR. Kavkaz* (Physical geography of the USSR. General review. European part of the USSR. Caucasus). M.: Vysshaya shkola (Publ.), 1976. 376 p. (in Russ.)
  27. Velichko A.A., Faustova M.A., Pisareva V.V., and Karpukhina N.V. *Istoriya Skandinavskogo lednikovogo pokrova i okruzhayushchikh landshaftov v valdaiskuyu lednikovuyu epokhu i nachale golotsena* (History of the Scandinavian ice sheet and surrounding landscapes in the Valdai Ice Age and the beginning of the Holocene). *Led i Sneg*. 2017. Vol. 57. No. 3. P. 391–416. (in Russ.) <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-3-391-416>