

УДК 551.435.1+551.8:556.5



КЛИМАТИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЧНОГО СТОКА НА РАВНИНАХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ В ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЕ И ГОЛОЦЕНЕ

© 2008 г. А. Ю. Сидорчук*, А. В. Панин*, О. К. Борисова**

**Московский государственный университет*

119991 Москва, ГСП-1, Ленинские горы

***Институт географии Российской академии наук*

119017 Москва, Старомонетный пер., 29

Поступила в редакцию 05.09.2007

На поймах и низких террасах рек Русской и Западно-Сибирской равнин повсеместно встречаются староречья (большие палеоруслы, большие меандры), до 10–15 раз превышающие по размерам русла современных рек. На ключевых участках большие палеоруслы датированы временем 11–16 тысяч радиоуглеродных лет назад (позднеледниковье). На основе гидравлично-морфометрических зависимостей для современных рек и метода палеогеографической аналогии выполнена количественная реконструкция речного стока по морфометрическим параметрам больших палеорусел. Речной сток в позднеледниковье превышал современный: на северном мегасклоне Русской равнины (бассейны Северной Двины, Мезени, Печоры) – в 1.4 раза, на южном мегасклоне (бассейны Волги, Дона, Днепра) – в 2.3, в Западной Сибири (бассейн Оби) – в 2.0 раза. Большой объем стока объясняется ландшафтно-климатической обстановкой позднеледниковья – высокими коэффициентами стока в условиях вечной мерзлоты, ростом доли (и, возможно, количества) твердых атмосферных осадков с соответствующим ростом мощности весенних половодий. Для рек современной зоны вечной мерзлоты трансформация больших рек позднеледниковья при потеплении климата на рубеже голоцена представляет возможный сценарий развития при продолжении антропогенного

потепления климата. Общее уменьшение стока и его более равномерное распределение внутри года приведет к уменьшению размеров рек средней Сибири, Якутии и северо-востока России.

Антропогенные изменения климата Земли быстро сказываются на речном стоке воды, в том числе на территории Северной Евразии. Теплые и снежные зимы в Восточной Европе привели здесь к существенному увеличению стока воды во время межени [21]. Потепление на территории северного Кавказа вызвало череду паводков, селей и подвижек ледников в бассейнах Кубани и Терека, в том числе приведших к катастрофическим последствиям в низовьях рек [1]. Это явление требует изучения различными методами, в том числе методами палеогеографии, основанными на принципе актуализма [3]. Гидрологические события прошлого оставляют следы в ландшафте и геологическом сложении, расшифровка этих следов дает информацию для понимания как прошлых, так и современных гидрологических процессов. Такими следами являются русловой рельеф и аллювиальные отложения древних рек. Размеры палеорула и его аллювий несут информацию о водоносности древних рек, что является основой морфо-гидрологического метода реконструкции палеостока [22].

Одним из наиболее ярких палеогидрологических феноменов являются непропорционально большие палеорула в речных долинах (рис. 1). Они описаны в Северной Америке [22], на Британских островах [22], на Среднедунайской [23] и Великопольской низменностях [27], на Русской равнине [16, 18], в Западной Сибири и северном Казахстане [5]. Выявляется циркумполярный пояс формирования больших палеорек в зоне развития древней вечной мерзлоты северного полушария Земли [25]. Большой диапазон изменения размеров речных русел в периоды активизации и деградации больших палеорек (до 10–15 раз) свидетельствует о значительных изменениях стока воды на этой огромной территории. Представляет интерес оценка возможности подобных изменений стока на территориях с современной вечной мерзлотой в прогнозируемых климатических условиях.

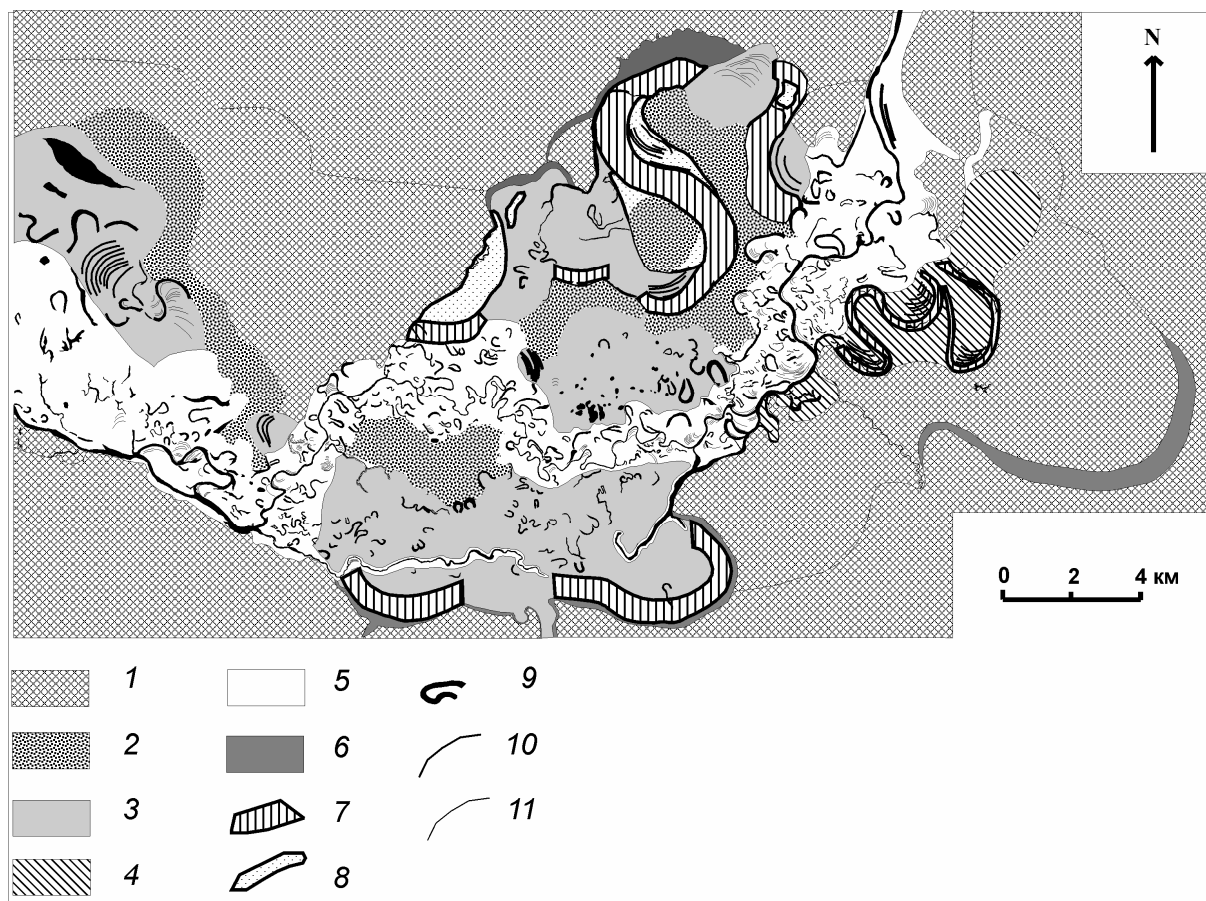


Рис. 1. Большое поздневалдайское палеорусло р. Хопер у пос. Поворино. 1 – высокие террасы Хопра; 2 – 1 терраса; 3 – пойма и побочни палеорусла 1 генерации; 4 – пойма и побочни палеорусла 2 генерации; 5 – пойма современной реки; 6 – крутые борта долины; 7 – большие палеорусла; 8 – побочни больших палеорусел; 9 – современное русло Хопра; 10 – прирусловые валы больших палеорусел; 11 – прирусловые валы современного русла.

БОЛЬШИЕ ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЫЕ ПАЛЕОРУСЛА НА РАВНИНАХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Долины равнинных рек наиболее перспективны для реконструкций палеостока, так как здесь относительно мало влияние ограничивающих факторов на размеры русел и выше вероятность применимости гидравлико-морфометрических связей. Использование космических изображений Ландсат-7 высокого разрешения (15 м пиксель) позволило установить около 200 хорошо выраженных в рельефе и фототоне фрагментов больших меандрирующих

палеорусел на Русской равнине, в Западной Сибири и северном Казахстане (рис. 2).

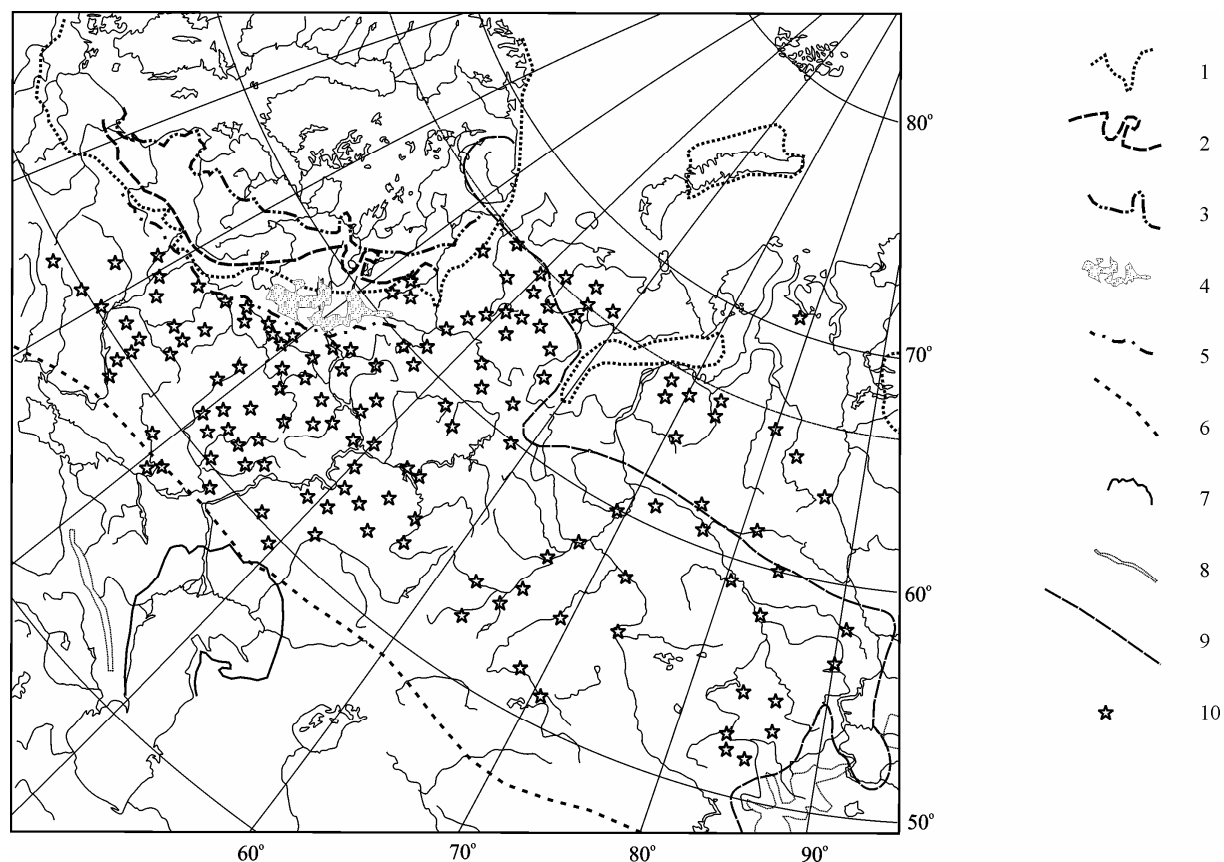


Рис. 2. Распространение хорошо выраженных фрагментов больших поздневалдайских палеорусел на Русской равнине, в Западной Сибири и в северном Казахстане. 1 – граница максимального распространения поздневалдайского материкового льда; 2 – граница распространения поздневалдайского материкового льда в вепсовскую стадию ~ 16 тыс. лет назад; 3 – граница распространения поздневалдайского материкового льда в лужскую стадию, ~13 тыс. лет назад; 4 – приледниковые озера ~16 тыс. лет назад; 5 – главный водораздел на Русской равнине ранее ~12.5 тыс. лет назад; 6 – южная граница вечной мерзлоты в поздневалдайское время; 7 – северный берег Каспийского моря в поздневалдайское время; 8 – границы горного оледенения поздневалдайского времени; 9 – современная граница вечной мерзлоты; 10 – положение фрагментов больших палеорусел.

Они обнаружены во всех ландшафтных зонах от тундры до сухой степи. Большие палеорусла отсутствуют только на территории, которая перекрывалась

поздневалдайским ледником, а также на Ямале, они редки в Большеземельской тундре. Фрагменты больших палеорусел располагаются в пределах широких первых надпойменных террас или унаследованной поймы. В последнем случае современные реки извиваются узкими лентами среди этих унаследованных пойм, изменяя древний рельеф в основном в пределах современного пояса меандрирования (см. рис. 1). Именно такие реки описывал В.В. Докучаев [8], когда отмечал несоответствие размеров современной реки и выработанной ею долины.

Условия и причины формирования больших палеорек

Возраст больших палеорек равнин Северной Евразии определен пока в небольшом числе речных долин по данным радиоуглеродного и пыльцевого анализов старичных отложений (табл. 1). В долине р. Хопер у Поворино [26] большое палеорусло отмерло более 11 тысяч лет назад (здесь и далее годы радиоуглеродные). Палеоизлучины на пойме р. Сейм у Льгова и р. Свапы у ее устья [14] были отшнурованы от основного русла около 14 тыс. лет назад. В долине Протвы у Боровска отмирание большого палеорусла относится к 12–13 тыс. лет назад [13]. Палеорусло р. Бердь [10] и р. Самары [12] также были заброшены около 13 тыс. лет назад. Большая излучина р. Москвы у д. Остров была отчленена от реки более 15 тыс. лет назад [15]. Все эти палеореки характеризуются хорошо развитыми меандрами, часто омеговидными. Их формирование продолжалось 1–2 тыс. лет. Поэтому образование больших рек равнин Северной Евразии можно отнести к периоду 13–16 тыс. лет назад, т.е. к концу плейстоцена и позднеледниковью.

Большие равнинные поздневалдайские реки формировали свои русла в условиях ландшафтов перигляциальной гиперзоны ([7], карты 3 и 5), совпадающей в общих чертах с областью максимального распространения вечной мерзлоты и ограниченной на севере материковыми и морскими ледниками. Так как скандинавский ледниковый покров в период 13–16 тыс. лет назад уже располагался севернее главного водораздела Русской равнины [20], сток талых ледниковых вод здесь был направлен на северо-восток и на запад и

Таблица 1. Радиоуглеродные датировки отложений
основания заполнения больших палеорусел

Река, пункт	Глубина от поверх- ности, м	Дата, С ¹⁴ лет назад	Индекс лаборатории
Протва, г. Боровск	5.8	13200±120	Ki-7316
	4.7	12700±110	Ki-7312
Сейм, д. Кудинцево	7.0	13800±85	Ki-6984
	4.6	12630±70	Ki-6985
Свапа, д. Семеновка	5.6	14030±70	Ki-6997
	4.0	12360±110	Ki-6999
Хопер, с. Пески	8.3	11325±120	Ki -7680
	8.8	11030 ±110	Ki-7690
	10.8	10770±120	Ki-7682
Москва, д. Остров	17.0–17.8	15300±170	Ki-10844
	16.4	14100±150	Ki-10845
Самара, Бузу- лукский бор	12.4–12.5	13000+600/–570	CS-208 (DA)
	11.9–12.0	12000+600/–570	CS-209 (DA)
Бердь, Новосибирск	7.3	12450±55	COAH-411

не мог участвовать в образовании крупных рек. Предполагается, что сток воды верхней Волги выше современного г. Плес более 12.5 тыс. лет назад был также направлен на северо-восток [11], и площадь водосбора Каспия была меньше. Часть водосбора Северной Двины в это же время была занята ледником и приледниковыми озерами. Большинство бассейнов рек Русской равнины с хорошо выраженными фрагментами больших поздневалдайских рек (например, бассейн Дона) в принципе не могли получать ледникового питания. В Западной Сибири возможно было поступление вод при таянии ледников Алтая только в главное русло Оби, но не в ее многочисленные притоки. Следы увеличения площади водосбора в этот период известны для верхней части р. Ишим, в

которую частично переливалась верхняя Нура ниже современной Астаны. Фрагменты больших палеорусел в долине Ишима выявляются и выше этого участка (рис. 2), так что их возникновение нельзя объяснить только увеличением площади водосбора реки. Поэтому причины формирования речных русел, существенно превосходивших современные по размерам, необходимо искать в ландшафтно-климатических обстановках прошлого. Главным источником воды были осадки. На это указывает наличие зависимости размера больших палеорусел от современной площади водосбора соответствующих рек (рис. 3), которая подобна такой же зависимости для современных рек. Здесь важно отметить, что в тундре Ямала русла современных рек имеют размеры (ширину в бровках поймы и шаг излучин), близкие к размерам русел поздневалдайских рек (при одинаковой площади водосбора). Размеры заполярных рек Русской равнины и Западной Сибири, а также рек центральной Якутии также более близки к размерам русел поздневалдайских рек, чем современных рек вне зоны распространения вечной мерзлоты. Это указывает на возможность использования современных рек областей распространения вечной мерзлоты (Ямала, Большеземельской тундры, Якутии) в качестве возможных гидрологических аналогов больших рек позднеледникового времени.

Исходя из подобных гидрологических аналогов, можно сформулировать гипотезу о характере гидрологического режима больших равнинных поздневалдайских рек. Эта гипотеза предполагает большую сезонную неравномерность стока. В перигляциальных условиях при общей сухости климата основная часть осадков выпадала зимой в виде снега (на Ямале – 60–70% годовой суммы). Интенсивный метелевый перенос приводил к накоплению снега в понижениях эрозионной и долинной сети, а междуречные пространства были почти лишены снежного покрова и глубоко промерзали. Южная граница распространения вечномерзлых пород проходила по линии 47–49° северной широты. В позднеледниковье в Северном полушарии был больше (чем в настоящее время) приход солнечной радиации в теплое время года, это увеличивало вероятность формирования дружной весны. Краткость периода

снеготаяния и минимальная водопроницаемость мерзлых грунтов

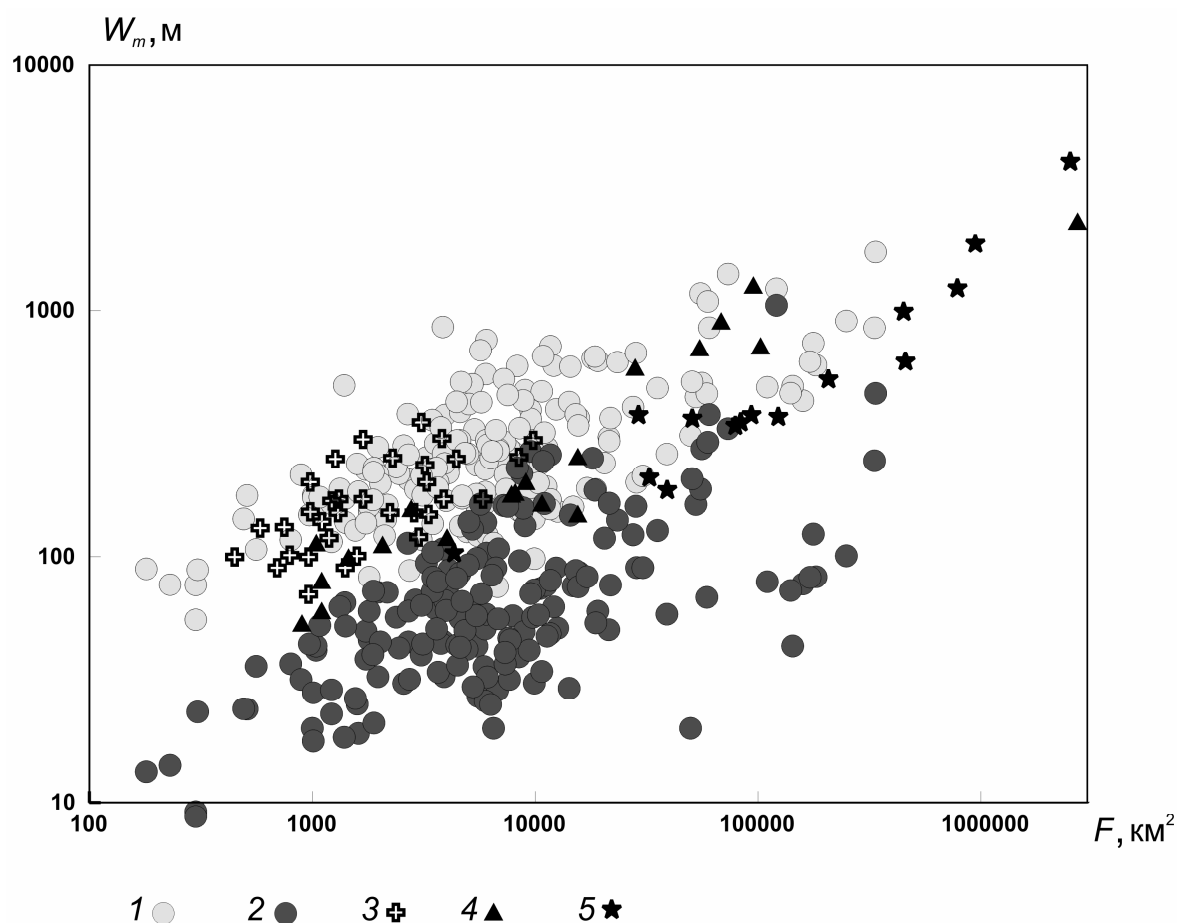


Рис. 3. Связь средней ширины W_m русел рек с площадью водосбора F для больших поздневалдайских палеорусел Русской равнины и Западной Сибири (1); современных рек Русской равнины и Западной Сибири вне зоны распространения вечной мерзлоты (2); рек полуострова Ямал (3); рек Большеземельской тундры и севера Западной Сибири (4); рек центральной Якутии (5).

были причиной малых потерь стока (коэффициенты стока около 0.8–0.9). Гидрологический режим рек характеризовался коротким высоким половодьем. В таких условиях формировались большие речные русла, размеры которых соответствовали максимальным расходам воды периода половодья. Наличие многолетнемерзлых пород приводило к практическому отсутствию грунтового питания рек. Большую часть года, во время межени, широкие русла были почти

лишены воды, песок на обширных песчаных отмелях переносился ветром, и формировался эоловый рельеф (рис. 4).



Рис. 4. Широкое обсохшее меженное русло одной из рек восточного Ямала.

Морфометрия больших русел

На космических изображениях высокого разрешения (а также на крупномасштабных картах и аэрофотоснимках) возможно отдешифрировать фрагменты меандрирующих палеорусел и измерить их морфометрические характеристики – в первую очередь ширину русла и шаг излучин. Так как палеорусла обычно заполнены наносами, часто по самые бровки, то измеряемая ширина близка к ширине русла при уровне руслонаполнения. Для уменьшения ошибки измерения ширины она определяется в областях смены кривизны излучин, на относительно прямолинейных участках. На таких участках крутизна обоих пойменных яров велика и ширина русла мало меняется с изменением уровня заполнения. Тем не менее, при дешифрировании границ палеорусла неизбежен субъективизм, и различия в оценках ширины одного и того же фрагмента разными экспертами достигают 10%. Эту величину мы примем в качестве оценки коэффициента вариации индивидуальных измерений.

Естественная вариация ширины русла по длине реки еще больше. Например, для меандрирующего русла реки Яны на малоприточном участке от слияния Сартанга и Дулгаллаха до устья Адычи (873.5–627 км от устья) коэффициент вариации ширины русла в бровках на перегибах излучин (97 измерений) составляет около 20%. Тогда вариация ширины палеорусла с учетом ошибки измерений составит около 22% ($C_v=0.22$). При измерении ширины палеорусел редко появляется возможность исследовать значительное количество фрагментов. Такая хорошая сохранность палеоруслового рельефа, как на реке Хорол, где на пойме дешифрируется более 80 излучин палеорусла этой реки, наблюдается редко. Обычно ширину можно измерить на 1–5 участках палеорусла (число измерений $N_w=1-5$). Соответственно, относительная ошибка оценки средней ширины палеорусла

$$E_{wm} = \frac{C_v}{\sqrt{N_w}} \quad (1)$$

составит 10–22%, что довольно много для палеогидрологических реконструкций. Так, для палеорусел бассейна Волги среднее значение $E_{wm} = 20\%$.

Для уменьшения этой ошибки возможно использовать дополнительную информацию о величине шага излучин λ , который обычно измеряется для большего количества фрагментов палеорусел ($N_\lambda = 5-15$), чем ширина русла. Средний шаг излучин λ_m определяется средней шириной русла W_m [24]

$$\lambda_m = k_\lambda W_m \quad (2),$$

что дает возможность рассчитать эффективную среднюю ширину палеорусла W_m^* в бровках поймы по формуле

$$W_m^* = \frac{W_m + \lambda_m / k_\lambda}{2} \quad (3).$$

Тогда относительная ошибка средней эффективной ширины палеорусла в первом приближении (так как распределение шага излучин отличается от нормального) описывается формулой

$$E_{W_m^*} = \frac{\sqrt{\frac{\sigma_w^2}{N_w} + \frac{\sigma_\lambda^2}{k_\lambda N_\lambda}}}{2W_m^*} \quad (4).$$

Здесь σ – среднеквадратическое отклонение для ширины русла и шага излучин (с соответствующим индексом). Для палеорусел бассейна Волги среднее значение $E_{W_m^*}=15\%$, т.е. применение формулы (3) несколько снижает погрешность палеогидрологических реконструкций.

Коэффициент k_λ изменяется от 3 до 6 для разных групп данных. При этом следует иметь в виду, что под шагом излучин L в англоязычной литературе понимается полная длина волны меандра между двумя соседними вершинами [24]. В отечественной литературе шагом излучины λ называется расстояние между двумя последующими точками смены знака кривизны осевой линии меандрирующего русла [17], соответственно $k_L=2k_\lambda$. Для древних и современных русел из табл. 1, где ширина измерялась в точках перегиба излучин, и поэтому минимальна, коэффициент $k_\lambda = 5.7$ (рис. 5). Важно отметить, что коэффициент k_λ в формуле (3) достаточно близок при расчете отдельно для современных ($k_\lambda=5.9$) и древних ($k_\lambda=5.6$) излучин, что указывает на единую для них физическую природу.

ПАЛЕОГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

При палеогидрологических реконструкциях возможно использовать весь арсенал методов расчетов гидрологического режима малоизученных и неизученных рек. Наиболее эффективным показал себя метод, основанный на выборе региона-аналога и применении гидравлико-морфометрических зависимостей с региональными коэффициентами.

Гидравлико-морфометрические зависимости

Необходимые морфометрические данные могут быть получены только при использовании для расчетов палеостока самых простых гидравлико-

морфометрических зависимостей: связей ширины русла и/или

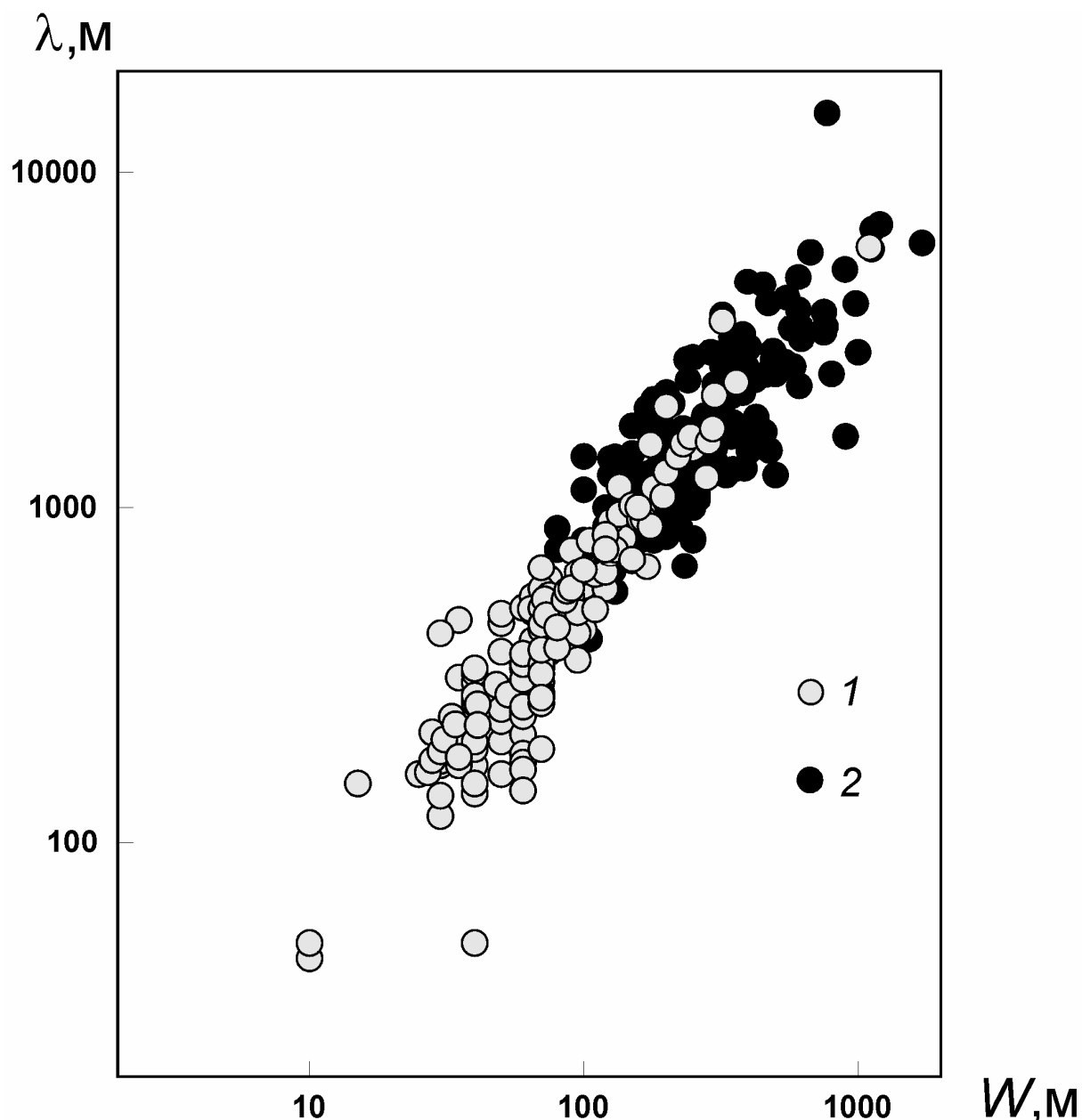


Рис. 5. Зависимость шага излучин λ от ширины русла W_m для современных (1) и древних (2) рек.

показателей размера излучины (шага, радиуса кривизны и др.) с расходом воды. Ранее для получения таких зависимостей были привлечены измерения в 185 створах широкопойменных рек Русской равнины и Западной Сибири [19]. Для настоящего исследования эта база была расширена до 457 створов. Обработка этих данных путем минимизации разности квадратов вычисленных и измеренных значений показала, что ранее полученная связь устойчива:

среднегодовой расход воды Q_m связан со средней шириной при уровне наполнения русла W_m зависимостью (рис. 6)

$$Q_m = K_y W_m^{1.36} . \quad (5).$$

Разброс точек в этой связи значителен (величина достоверности аппроксимации $R^2=0.78$). Связь несколько улучшается ($R^2=0.85$), если ввести переменный показатель внутригодовой изменчивости стока K_y

$$K_y = 0.012 y^{0.73} \quad (6).$$

Внутригодовая изменчивость стока в первом приближении характеризуется соотношением среднегодового Q_m и среднемаксимального Q_{max} расхода воды:

$$y = 100 (Q_m / Q_{max}) \quad (7).$$

Величина y тесно связана с коэффициентом неравномерности кривой продолжительности расходов y_{cp} [2], особенно для рек со значительной внутригодовой неравномерностью стока и малыми расходами межени. Как видно из (5)–(7), при заданном годовом стоке с увеличением размаха расходов воды внутри года ширина русла увеличивается. Учет внутригодовой изменчивости стока уменьшает среднеквадратическую ошибку оценки расхода воды по формулам (5)–(6) до 28%, что близко к ошибке оценки средней ширины русла при измерении в одном створе (для Яны – 22%, см. выше).

Внутригодовая изменчивость стока связана с размером водосбора реки F , км², эмпирической редукционной зависимостью

$$y = a F^n . \quad (8)$$

Ее структура близка к структуре формулы для расчета максимального расхода воды половодья заданной обеспеченности ([9], формула 8.26), когда слой стока за половодье практически равен слою стока за год. Коэффициенты a и n зависят от ландшафтных условий на водосборе и поддаются географическому районированию. Это создает основу для применения в палеогидрологии принципа палеогеографической аналогии [26]. Известно, что географическая аналогия, введенная в гидрологические исследования В.Г. Глушковым [6], находит широкое применение при гидрологических расчетах для малоизученных и неизученных рек. В современной формулировке ([9], с. 113) «принцип географической аналогии отражает целостность географических ландшафтов и

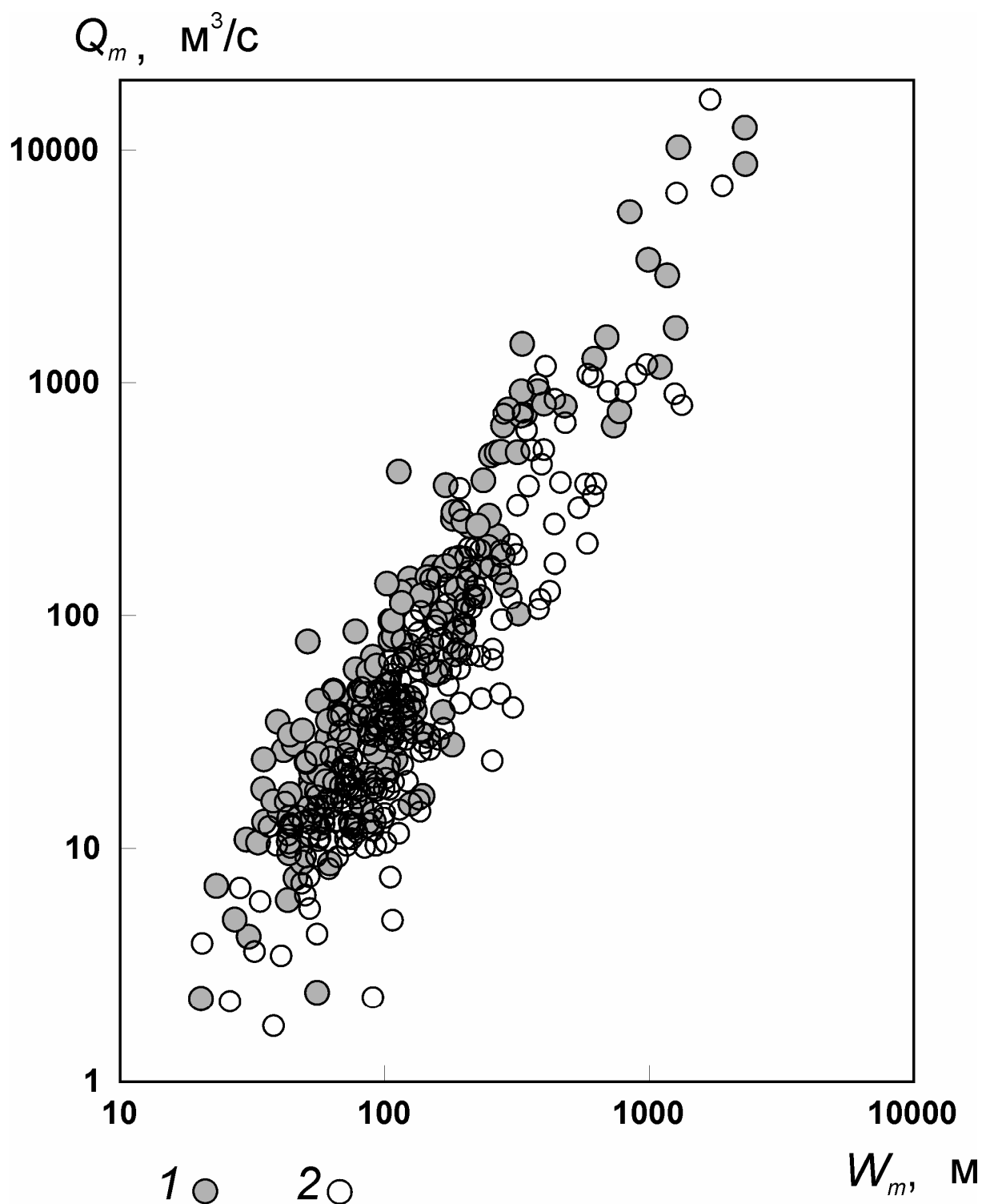


Рис. 6. Связь среднего расхода воды Q_m с шириной русла W_m при индексе внутригодовой неравномерности стока $y \geq 12$ (1) и $y < 12$ (2).

взаимосвязь их элементов, что позволяет предположить близость характеристик стока для речных бассейнов со сходными физико-географическими условиями». Из этого следует принцип палеогеографической аналогии: характеристики стока

для древних речных бассейнов близки характеристикам стока современных бассейнов с физико-географическими условиями, сходными с палеогеографическими.

Для реконструкции стока подбирается современная область, которая по комплексу ландшафтно-климатических признаков является аналогом бассейна древней реки. Основным методом выбора аналога является флористический анализ палинологических данных [26]. Предполагается, что современный гидрологический режим рек в пределах области-аналога близок к гидрологическому режиму древних рек. Для современных рек региона-аналога определяются значения коэффициентов a и n , которые затем используются для расчетов параметра y по формуле (8). Среднегодовой расход воды тогда определяется по зависимостям (5)–(6), а среднемаксимальный расход воды по формуле (7).

Регионы-аналоги для восстановления стока поздневалдайских рек

Восстановить ландшафтно-климатические условия образования больших русел рек позволяют палеофлористические данные [26]. В качестве примера приведем результаты (табл. 2), полученные на основе спорово-пыльцевого анализа 19-м керна из скважины О–17 в палеорусле-макроизлучине р. Москвы [15]. Радиоуглеродный возраст основания старичного заполнения – 15.3 тыс. л. н. Основное осадконакопление происходило здесь в конце поздневалдайской ледниковой эпохи. Для каждого из слоев (поздний пленигляциал PGL, ранний дриас DR1, беллинг ВÖ, средний дриас DR2, аллеред AL, поздний дриас DR3) определен состав ископаемой флоры. По картам ареалов растений установлены современные районы совместного произрастания всех выявленных компонентов древней флоры. Эти районы принимались в качестве современного ландшафтно-климатического аналога для данного стратиграфического подразделения. С современных климатических карт для каждого района снимались климатические показатели – температуры лета, зимы

Таблица 2. Реконструкция гидрологических и климатических характеристик долины р. Москва у д. Остров в позднеледниковое время по палеофлористическим данным (P – средний годовой слой осадков, мм; X – средний годовой слой стока, мм; T_I – средняя температура воздуха января; T_{VII} – средняя температура воздуха июля; σ_P , σ_X , σ_{T_I} , $\sigma_{T_{VII}}$ – среднеквадратическое отклонение годового слоя осадков, слоя стока, T_I , T_{VII} , соответственно)

Возраст, C^{14}									
индекс	годы	P	σ_P	X	σ_X	T_I	σ_{T_I}	T_{VII}	$\sigma_{T_{VII}}$
DR3	10500	400	40	300	60	–30	3	18	2
AL	11500	900	160	280	80	–14	1.5	13	1.5
DR2	12000	400	40	300	60	–28	3	16	1.5
BÖ	12250	800	140	230	260	–16	1.5	14	1.5
DR1	13500	400	40	300	60	–32	3	18	2
PGL	15000	900	100	470	30	–19	2	12	1.5

и среднегодовая, годовая сумма осадков. Обнаружилось, что это районы континентального климата с очень холодной зимой, теплым летом и различным количеством осадков (как выше, так и ниже современной суммы осадков в Подмосковье). Реконструированные осадки изменялись от 400 до почти 900 мм/год (при современных 700 мм/год) и превышали современные в позднем плейстоцене, в BÖ и в раннем AL. Наивысшие осадки были характерны для позднего PLG – времени формирования больших палеорусел (табл. 2).

Все районы-аналоги располагаются в горах и межгорных котловинах Алтае-Саянской области. Это совершенно закономерно, так как на современных равнинах Северной Евразии аналога перигляциальной флоры центра Русской равнины не существует. Горные районы-аналоги невозможно использовать для реконструкции гидрологического режима равнинных палеорек. Тем не менее, можно найти такие равнинные территории, где основные климатические характеристики близки к установленным для районов-аналогов, развита многолетняя мерзлота и растительные ассоциации если не по флоре, то по

экологии близки к растительным ассоциациям позднего Валдая. Такими территориями являются Большеземельская тундра и полуостров Ямал (аналог для относительно теплых периодов позднеледниковья) и северная часть Приленского плато (аналог для относительно холодных периодов позднеледниковья). Как было показано на рис. 3, современные реки этих территорий имеют размеры русел, близкие размерам перигляциальных рек с соответствующими площадями водосбора. Коэффициент a и показатель степени n в формуле (8) для рек Большеземельской тундры и севера Западной Сибири равны 1.83 и 0.184, а для рек центральной Якутии – 1.06 и 0.189 соответственно.

Показатели степени n для обоих регионов близки и соответствуют рекомендациям по гидрологическим расчетам редукции стока половодья на реках тундры ($n=0.17$). Коэффициент a больше для рек восточноевропейской тундры (аналог для более теплых и влажных периодов позднеледниковья), что объясняется большей неравномерностью стока на реках континентальной центральной Якутии (аналогов для более холодных и сухих периодов позднеледниковья).

Результаты расчетов

По формулам (5)–(8) были рассчитаны средние расходы и слой стока воды для ~200 створов больших перигляциальных рек Русской равнины и Западной Сибири, для которых имеются фрагменты хорошо сохранившихся палеорусел. Эти оценки позволили составить карту годового слоя поверхностного стока поздневалдайского времени (рис. 7) и оценить годовые объемы стока в основных речных бассейнах (табл. 3). На северном мегасклоне Русской равнины сток воды составлял около 380 км^3 в год, что в полтора раза больше современного с той же водосборной площади. Основное увеличение стока произошло в бассейнах Мезени и Печоры (более чем в 1.5 раза). В бассейне Волги годовой сток составлял около 500 км^3 , несмотря на существенно меньшую площадь водосбора верхней Волги. Основной вклад в этот сток вносили Ока и Кама, сток которых был больше современного в 2–3 раза. Еще больше – в 3–4 раза – поздневалдайский сток превышал современный в бассейнах Дона и Днепра. В

бассейне Оби сток был в 2 раза больше современного, в бассейне Иртыша – в 3 раза больше. Следует еще раз подчеркнуть, что в этом стоке ледниковое питание не участвовало.

ВЫВОДЫ

Использование палеогеографической аналогии для палеогидрологических реконструкций подтверждает правомерность применения здесь гидравлико-морфометрических зависимостей, которое было ранее до некоторой степени дискредитировано огромными величинами восстановленного стока воды (до 20–80 раз больше современного по [22]). При таких оценках не принималась во внимание необходимость районирования зависимостей и выбора для реконструкций только зависимостей, полученных для региона-аналога

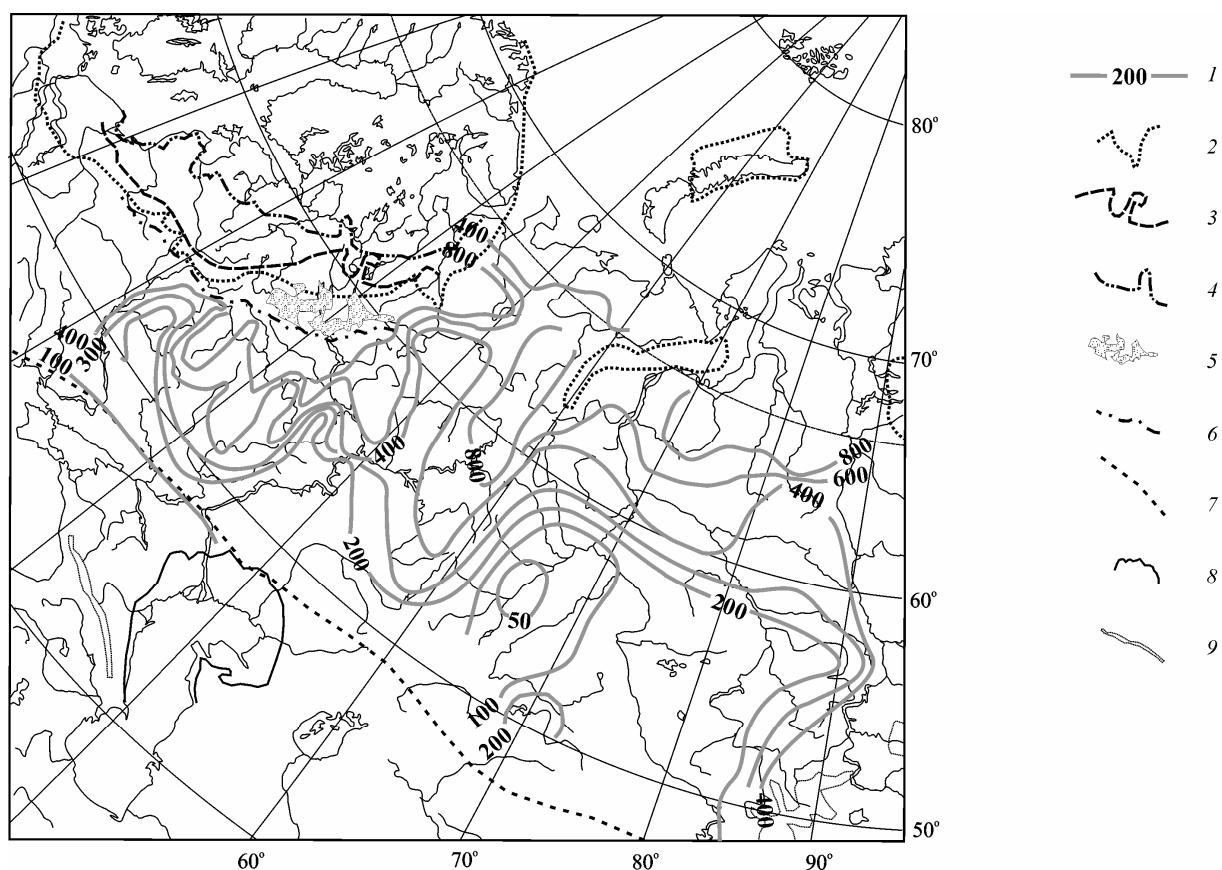


Рис. 7. Годовой слой стока воды, восстановленный по хорошо сохранившимся фрагментам больших палеорусел. 1 – изолинии годового слоя поверхностного стока, мм; прочие обозначения см. рис. 2

палеоландшафта. При выполнении этого достаточно очевидного требования и учете прохождения стока в перигляциальных условиях за короткий период снеготаяния общий рассчитанный сток рек равнин Северной Евразии в поздневалдайское время получается лишь вдвое больше современного, что вполне объясняется существенно меньшими потерями на испарение.

Тем не менее, это очень большой поверхностный сток, и его обоснование вносит существенные коррективы в сложившиеся представления о природе перигляциального времени. Во-первых, климат начальной стадии деградации поздневалдайского оледенения считается сухим и холодным (см., например, сводку [7]). Данные о стоке воды показывают, что эта сухость была относительной: годовое количество осадков было не меньше, а скорее больше современного; однако эти осадки выпадали в основном в виде снега за долгую зиму, а лето было сухим и коротким. Во-вторых, для всего перигляциального времени предполагалось доминирование криогенных и склоновых процессов рельефообразования с преобладанием аккумуляции, а эрозионные процессы сводились к склоновому смыву и формированию мелких оврагов [4]. Открытие больших палеорусел показывает, что на некотором этапе эрозионные и русловые процессы имели самое широкое распространение, реки были шире (почти в 15 раз) и глубже современных. Низкий базис эрозии во время межени приводил к глубокому врезанию на речных водосборах многочисленных крупных линейных форм эрозии – современных балок и суходолов. В-третьих, для объяснения высокого стояния Каспийского моря в хвалынское время привлекалась гипотеза об участии талых вод материкового ледника в поверхностном стоке вод в бассейне Волги [11]. С учетом реконструкций стока больших рек перигляциальной зоны эта гипотеза (не подтверждаемая ныне и другими данными) является излишней.

Климатические изменения позднеледникового времени уже к началу голоцена привели к полному изменению гидрологического режима больших перигляциальных рек. Это было связано с повышением среднегодовой (особенной зимней) температуры воздуха и деградацией вечной мерзлоты на большей части равнин Северной Евразии (на Русской равнине южная граница

вечной мерзлоты сместилась с 49° с.ш. на полярный круг, в Западной Сибири – на 62° с.ш.). Увеличились общие потери стока на испарение и инфильтрацию, появился грунтовый сток и устойчивые расходы воды межени. Это привело к общему уменьшению объема стока (примерно в два раза) и его внутригодовому перераспределению: уровни половодья стали существенно ниже, а межени – выше. В Западной Сибири этому процессу способствовало образование многочисленных озер, а затем (уже в голоцене) – болот. На месте больших позднеледниковых рек сформировались реки существенно меньших размеров, близкие к современным рекам.

Значительная часть территории России находится в области распространения сплошной и очаговой вечной мерзлоты. Современный гидрологический режим рек этих областей близок к гидрологическому режиму больших позднеледниковых рек Русской равнины и Западной Сибири (см. рис. 3). В условиях глобального антропогенного потепления ландшафты этих областей будут подвержены наиболее быстрым и кардинальным изменениям. Вполне вероятно, что изменения гидрологического режима рек и морфологии речных русел будут следовать сценарию трансформации больших позднеледниковых рек. Уменьшится годовой объем стока за счет увеличения общих потерь на испарение, увеличится равномерность стока внутри года за счет существенного уменьшения стока половодья и роста расходов воды во время межени. Размеры русел рек средней Сибири, Якутии и северо-востока России существенно уменьшатся, крупные разветвленные на рукава реки могут стать однорукавными. Все эти возможные изменения должны быть учтены при долгосрочном прогнозировании состояния водных ресурсов и русловой сети рек России.

Таблица 3. Годовой объем стока поздневалдайских рек равнин Северной Евразии

Речной бассейн	Современные характеристики		Поздний валдай (реконструкция)		V_B/V_C
	площадь водосбора, тыс. км ²	сток V_C , км ³ /год	площадь водосбора, тыс. км ²	сток V_B , км ³ /год	
Северная Двина	357	110	260	115	1.05
Мезень	78	28	78	45	1.6
Печора	322	126	322	220	1.7
Верхняя Волга (без Оки)	291	59	105	77	1.3
Ока и Сура	312	49	312	161	3.3
Кама	507	119	507	225	1.9
Волга - Волгоград	1360	254	1174	500	2.0
Дон	422	29	422	110	3.8
Днепр	504	54	504	166	3.1
Обь (с Иртышом)	2990	400	2990	810	2.0
Иртыш	1643	89	1643	270	3.0

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеевский Н.И., Айбулатов Д.Н., Магрицкий Д.В. Оценка гидроэкологической безопасности в устьях рек с учетом гидрологических условий // Метеорология и гидрология. 2003. №4. С. 91–101.
2. Андреянов В.Г. Внутригодовое распределение речного стока. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 327 с.
3. Борзенкова И.И. Эмпирическая палеоклиматология: состояние проблемы и методы исследования // Изменения климата и их последствия. СПб: Наука, 2002. С. 75–92.
4. Бутаков Г.П. Плейстоценовый перигляциал на востоке Русской равнины. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1986. 143 с.
5. Волков И.А. Следы мощного стока в долинах рек юга Западной Сибири // Докл. АН

- СССР. 1963. Т. 151. № 3. С. 23–25.
6. *Глушков В.Г.* Географический и гидрологический метод // Изв. ГГИ. 1933. Т. 57. С. 89–95.
 7. Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130 000 лет // Под ред. Величко А.А. М.: ГЕОС, 2002. 231 с.
 8. *Докучаев В.В.* Способы образования речных долин Европейской России. Спб: Типография В. Дермакова, 1878. 221 с.
 9. *Евстигнеев В.М.* Речной сток и гидрологические расчеты. М.: Изд-во МГУ, 1990. 304 с.
 10. *Зыкина В.С., Волков И.А., Дергачева М.И.* Верхнечетвертичные отложения и ископаемые почвы Новосибирского Приобья. М.: Наука, 1981. 203 с.
 11. *Квасов Д.Д.* Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука, 1975. 278 с.
 12. *Кременецкий К.В., Беттгер Т., Климанов В.А. и др.* История растительности и климата Бузулукского бора в позднеледниковье и голоцене и ее палеогеографическое значение // Изв. РАН. Сер. геогр. 1998. № 6. С. 62–74.
 13. *Панин А.В., Сидорчук А.Ю.* Макроизлучины ("большие меандры"): проблемы происхождения и интерпретации // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 2006. № 6. С. 14–22.
 14. *Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Баслеров С.В. и др.* Основные этапы истории речных долин центра Русской равнины в позднем валдае и голоцене: результаты исследований в среднем течении р. Сейм // Геоморфология. 2001. № 2. С. 19–34.
 15. *Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Борисова О.К.* Флювиальные процессы и речной сток на Русской равнине в конце поздневалдайской эпохи // Горизонты географии (к 100-летию К.К. Маркова). М.: Изд-во МГУ, 2005. С. 114–127.
 16. *Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Чернов А.В.* Макроизлучины рек ЕТС и проблемы палеогидрологических реконструкций // Вод. ресурсы. 1992. № 4. С. 93–97.
 17. *Попов И.В.* Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 328 с.
 18. *Сидорчук А.Ю., Борисова О.К., Панин А.В.* Поздневалдайские палеорусла рек Русской равнины // Изв. РАН. Сер. геогр. 2000. № 6. С. 73–78.

19. *Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Чернов А.В. и др.* Сток воды и морфология русел рек Русской равнины в поздневалдайское время и в голоцене (по данным палеоруслового анализа) // *Эрозия почв и русловые процессы*. М.: Изд-во МГУ, 2000. Вып. 12. С. 196–230.
20. *Чеботарева Н.С., Фаустова М.А.* Структура и динамика последнего Европейского ледникового покрова // *Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет*. М.: Наука, 1982. С. 36–47.
21. *Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю.* Влияние антропогенных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы // *Изменения климата и их последствия*. СПб: Наука, 2002. С. 152–164.
22. *Dury G.H.* Theoretical implications of underfit streams// *US Geological Survey Professional Paper 452-B*. Washington, 1965. 43 p.
23. *Howard A.J., Macklin M.G., Bailey D.W. et al.* Late-glacial and Holocene river development in the Teleorman Valley on the southern Romanian Plain // *J. Quaternary Sci.* 2004. V. 19. P. 271–280.
24. *Leopold L.B., Wolman M.G.* River Meanders // *Geological Society of America Bulletin*. 1960. V. 71. P. 769–794.
25. *Sidorchuk A.* Floodplain sedimentation: inherited memories // *Global and Planetary Change*. 2003. V. 39. № 1–2. P. 13–29.
26. *Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K.* Method of paleogeographical analogues in paleohydrological reconstructions // *Quaternary International*. 2000. V. 72. № 1. P. 95–106.
27. *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*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1995. P. 75–88.