

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ВЕЛИЧИНЫ РЕЧНОГО СТОКА В ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ПРОШЛОМ (ст. 1. Морфометрические зависимости)

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

²Институт географии РАН, Москва, Россия
e-mail: aleksey.sidorchuk@geogr.msu.ru

При геоморфологическом подходе к восстановлению стока древних рек по морфологии современных рек используются эмпирические морфометрические зависимости. Они должны отвечать следующим требованиям: 1) охватывать как можно более широкий диапазон условий, чтобы в него попадали и условия формирования древних рек; 2) строиться для небольшого числа переменных, выбор которых диктуется поставленной задачей; 3) давать возможность выбора такой зависимости, которая бы подходила для условий формирования древней реки. Применение этих принципов для восстановления стока больших позднеледниковых палеорек с шириной русла, в 5–15 раз превышающей современную, показало, что среднегодовые расходы палеорек были только в 2–4 раза больше расходов современных рек. Такой большой сток был образован при годовом количестве осадков примерно равном или лишь ненамного превышающем современное. Следовательно, сложные климатические гипотезы для объяснения огромного количества воды в прошлом не требуются. Главными условиями формирования большого стока были: 1) длительный зимний период с накоплением достаточных (300–700 мм) влагозапасов в снеге; 2) короткое и дружное половодье с максимальными расходами в 5–10 раз больше среднегодовых; 3) очень малые потери стока во время этого половодья; 4) длинная межень, когда русла стояли практически сухими. При больших расходах половодья, формировавших большие палеорусла, среднегодовой расход воды был существенно меньше расхода половодья.

Ключевые слова: позднеледниковые, большие палеорусла, морфометрические зависимости, реконструкция стока воды.

Введение

Исследование основных факторов рельефообразующих процессов — одна из важных задач динамической геоморфологии. Для современных процессов эта задача решается путем прямого измерения характеристик и факторов динамики рельефа при натурном и лабораторном эксперименте. При исследовании процессов рельефообразования в прошлом, т.е. для палеогеографических реконструкций, возможны только косвенные подходы к решению такой задачи. Среди этих подходов важнейшими являются принципы актуализма и эргодичности [1]. В исследованиях по флювиальной палеогеоморфологии (или палеорусловедению по Р.С. Чалову [2]) необходимо: 1) уметь переносить закономерности, полученные для современного рельефа, на древний флювиальный рельеф, который формировался в аналогичных (близких) природных условиях; 2) прогнозировать изменения современного флювиального рельефа на основе закономерностей развития древнего флювиального рельефа в аналогичных (близких) природных условиях.

Для решения этих задач применяется набор геоморфологических подходов. В серии статей будет рассмотрен круг вопросов, связанных: со структурой речной сети и реконструкцией гидрологических условий формирования древних рек; с интерпретацией структуры и текстуры аллювия для восстановления гидравлических характеристик формирующих его потоков; с гидравлическими расчетами, использующими данные о морфологии древних русел. Наиболее употребителен гидролого-морфологический анализ современных речных русел и перенос этой информации на палеоводотоки. Эта проблема будет проанализирована на примере больших позднеледниковых палеорусел, имеющих глобальное распространение.

Большие палеоруслу в долинах рек равнин умеренного пояса Земли

На равнинах умеренного пояса обоих полушарий Земли широко распространены извилистые палеоруслу (староречья) с шириной русла W и шагом излучин λ , существенно превышающими ширину и шаг излучин у современных рек (т.н. *макроизлучины*). В северной части Евразии они обнаружены от лесотундры до сухой степи, а в Северной Америке распространялись до субтропиков (рис. 1). Подобные палеоруслу практически отсутствуют на территориях, которые перекрывались поздневалдайским (висконсинским) ледником; там они выявлены только в областях развития приледниковых озер. Большие палеоруслу единичны в зоне тундры и лесотундры. Как правило, у рек этой зоны размеры современных излучин русла близки к размерам староречий на пойме и низких террасах. Для определения условий формирования больших древних палеорек существенно, что их размеры близки к размерам современных рек арктического и субарктического поясов.

Во внеледниковой области особенно часто фрагменты макроизлучин сохранились на равнинах Северной Евразии (см. табл. 1 в приложении [3]). Реки в северной части внеледниковой области (в современной лесной зоне) нередко имеют врезанные излучины, большие же староречья сохранились на низких террасах. На юге внеледниковой области (в современной лесостепи) большие палеоруслу обычны в пределах поймы. Здесь обширные древние унаследованные поймы сохранили режим затопления и соответствующий ландшафт. Современные реки меандрируют узкими лентами среди этих унаследованных пойм, изменяя первоначальный рельеф в своей прирусловой зоне. Именно этим объясняется несоответствие размеров русла и днища долины, впервые отмеченное В.В. Докучаевым [4] для многих малых и средних рек левобережья нижнего Днепра.

Возраст больших палеорек равнин Северной Евразии, Западной Европы и Северной Америки определен по данным радиоуглеродного и пыльцевого анализов отложений начала заполнения палеорусел [5–10]. Их формирование происходило 12–16 тыс. радиоуглеродных лет назад, т.е. в конце плейстоцена и в позднеледниковье.

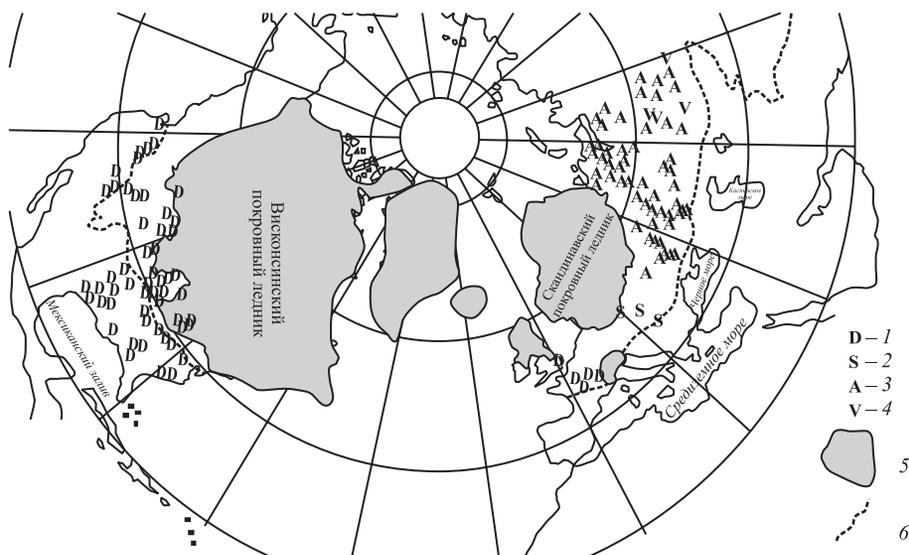


Рис. 1. Распространение фрагментов больших палеорусел в северном полушарии Земли По данным: 1 – [15], 2 – [6], 3 – [5], 4 – [16]; границы: 5 – максимума последнего покровного оледенения, 6 – южная вечной мерзлоты в максимуме оледенения

В южном полушарии большие палеорула выявлены в бассейне р. Маррамбиджи в Австралии [11]. Здесь выделено несколько этапов формирования больших палеорек, из них последний относится к периоду 12–20 тыс.л.н. (датировки с помощью термолюминесцентного анализа). На других континентах бассейны рек умеренного пояса южного полушария мало исследованы. В южной Африке и в Патагонии на реках хорошо выражены макроизлучины, однако нет определенности, какую роль в их формировании играют литология (в случае врезанных излучин рек Африки) и сток талых ледниковых вод (в Патагонии).

Широкое распространение больших палеорусел в долинах рек умеренного пояса Земли свидетельствует об изменениях водоносности рек на этой огромной территории. Такие изменения нельзя объяснить локальными факторами, такими, как озерный генезис аномально широких пойм рек [4] или перехватами водосборов рек [12]. В большинстве случаев не оправдывается и гипотеза о формировании палеорусел стоком талых ледниковых вод [13]. Несомненно, такие палеорула формировались при прорывах приледниковых озер, и некоторые из них образовывали макроизлучины. Меандрирующие ложбины стока талых ледниковых вод древнее позднеледниковых палеорусел и обычно характеризуются существенно большими размерами [14]. Очень часто реки с позднеледниковыми макроизлучинами потеряли связь с ледниковыми водами раньше начала формирования больших палеорусел (например, в бассейне Днепра), или такой связи никогда не было (в бассейне Дона).

Поэтому более правдоподобными выглядят объяснения этого феномена климатическими изменениями – температуры воздуха и осадков, предложенные Г. Дьюри [15] и И.А. Волковым [16]. Однако оценка масштабов таких изменений требует тщательного геоморфологического и палеогеографического анализа.

Морфометрические исследования палеорусел

Морфометрические характеристики речных русел определяются с ошибками. Это ошибки измерений и ошибки вычисления статистических параметров. Для современных рек ошибка измерений зависит в основном от разрешения топографических материалов. При измерении палеорусел к этому прибавляется целый набор возможных ошибок, например, связанных с субъективностью при определении уреза палеорула. Трудно устранить ошибки связаны с возможными изменениями очертаний палеорула, так как эрозионно-аккумулятивные процессы могут привести как к расширению палеорула, так и к его сужению. Подобные ошибки несколько уменьшаются при тщательном отборе из множества палеорусел наиболее хорошо сохранившихся в рельефе с наиболее выдержанными морфометрическими характеристиками. Для таких объектов субъективная средняя ошибка оценки ширины палеорусел, полученная на основе обработки измерений, сделанных разными экспертами, составляет около 10%. Существенно более точно можно измерить шаг излучин палеорусел; для этого показателя средняя ошибка измерений не превышает 5%.

Ошибки вычисления статистических параметров можно продемонстрировать на примере современных рек. Рассмотрим морфометрию русла р. Яны на участке от слияния рек Сартанга и Дулгаллаха до впадения р. Адычи (873.5–627 км от устья), которое формируется в условиях сурового континентального климата и вечной мерзлоты. Ширина реки измерялась между линиями пойменных яров, что соответствует ширине при уровнях начала затопления поймы. Координаты правого и левого берегов оцифровывались с дискретностью 100–200 м по длине реки (рис. 2). Координаты точек на осевой линии вычислялись (с помощью специальной программы для ПК) как геометрическое место точек, равноотстоящих от выделенных берегов русла. Ширина реки рассчитывалась для каждой точки осевой линии с заданными координатами, как длина отрезка между точками пересечения с линиями правого и левого берегов,

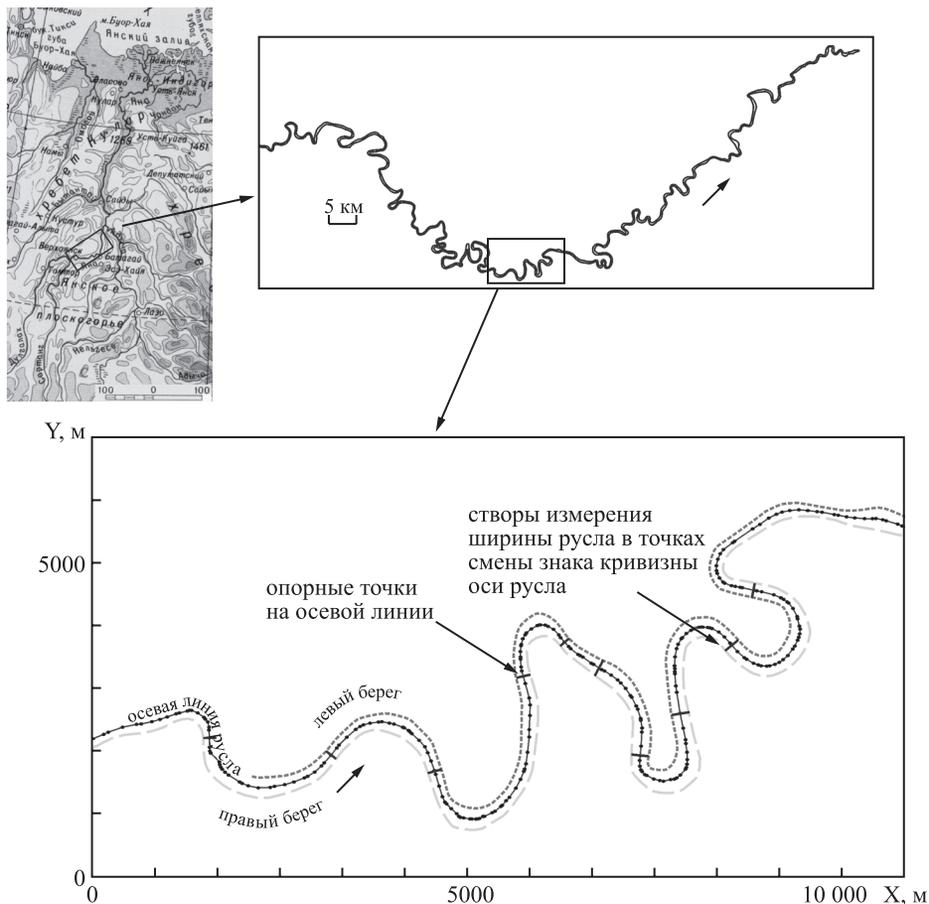


Рис. 2. Морфометрия русла р. Яны на участке от слияния рек Сартанг и Дулгаллах до устья р. Адычи

перпендикулярного осевой линии. По координатам осевой линии русла вычислялись ее азимут и кривизна (см. табл. 2 в приложении [3]).

Средняя ширина русла (по 2276 точкам) на исследованном участке реки составила $W_m = 273$ м, при среднеквадратическом отклонении $\sigma_W = 58$ м. Средняя ширина русла на этом же участке, но измеренная в точках смены знака кривизны осевой линии (см. табл. 3 в приложении [3]), равна $W = 256$ м при среднеквадратическом отклонении 51 м. Несколько меньшая величина коэффициента вариации для ширины в точках смены знака кривизны осевой линии по сравнению с коэффициентом вариации для всего массива ширины русла (0.19 против 0.21), свидетельствует о целесообразности измерения ширины палеорусла на перекатах, как менее вариабельной.

Одной из наиболее употребительных морфометрических характеристик меандрирующего русла служит шаг излучин. Для указанного участка русла реки Яны были измерены шаги λ и длины по руслу S между последовательными точками перегиба для 96 излучин (см. табл. 4 в приложении [3]). Средняя длина по руслу достигает 2500 м, при среднеквадратическом отклонении 1915 м (коэффициент вариации 0.77). Средний шаг излучин равен 1560 м, при среднеквадратическом отклонении 1026 м (коэффициент вариации 0.67). Среднее значение коэффициента формы излучины S/λ составило 1.61, при среднеквадратическом отклонении 0.72 (коэффициент вариации 0.45).

Среднее отношение ширины русла в точках перегиба оси русла к шагу излучины W/λ составило для реки Яны 0,22, среднее квадратическое отклонение – 0,12.

Статистическая относительная ошибка оценки среднего σ_M (в %) определяется среднее квадратическим отклонением σ , средним M и числом измерений N :

$$\sigma_M = 100 \frac{\sigma}{M\sqrt{N}}. \quad (1)$$

При морфометрическом анализе палеорусел редко появляется возможность исследовать значительное количество их излучин. Обычно измерения ширины проводятся в пределах 2–5 излучин палеоруслу. Шаг палеоизлучин определяется с большей достоверностью и на большем числе фрагментов палеоруслу (обычно до 10–15). Если принять для палеорусел статистические характеристики исследованного участка реки Яны, то относительная ошибка оценки средней ширины в точках перегиба оси русла, согласно формуле (1), составит 9% для 5 излучин. Ошибка оценки среднего шага излучин достигнет 20% для 10 излучин, и 17% для 15 излучин. Ошибка при оценке среднего W/λ оценивается в 17% для 10 и 14% для 15 излучин. Ошибка оценки ширины палеоруслу по шагу меандр вычисляется как сумма ошибок оценки λ и W/λ , и составит около 30% для 15 излучин.

Таким образом, наименьшая ошибка при морфометрическом анализе палеорусел получается при измерении ширины палеоруслу в бровках поймы на участках перегиба не менее чем 4–5 излучин. Основной морфометрической зависимостью для палеогеографических реконструкций является связь гидравлических характеристик потока с этой шириной русла. В случае плохой сохранности древнего руслового рельефа ширина оценивается через связь с шагом палеомеандров, но это требует значительного числа доступных для измерения фрагментов палеорусел.

Для умеренного пояса Земли на фрагментах больших палеорусел хорошей сохранности были определены средние ширины W и шаги макроизлучин λ (см. табл. 1 в приложении [3]) и вычислены отношения этих характеристик древних русел с соответствующими характеристиками современных русел. Для малых рек существует слабая связь отношения W_d/W_c с площадью водосбора F ; с увеличением $F > 5000$ км² значение W_d/W_c стабилизируется. На равнинах Северной Евразии, где плотность распределения фрагментов больших палеорусел позволяет провести изолинии величин W_d/W_c , выявляются два центра максимальных значений $W_d/W_c = 10–16$: на левобережье Днепра и в среднем течении Тобола [17]. Эти центры расположены вдоль южной границы нахождения фрагментов больших палеорек, которая в основном совпадает с южной границей распространения вечной мерзлоты во время максимума последнего оледенения. К северу и востоку от каждого центра величина W_d/W_c убывает. Восточная граница первой области проходит по Уральским горам и второй – по западу Среднесибирского плоскогорья и Енисейскому кряжу. Северная граница областей совпадает с линией максимума последнего Скандинавского покровного ледника и с границей современной Субарктики.

В Западной Европе фрагменты больших палеорусел не имеют сплошного распространения. Они обнаружены в бассейнах Вислы, Варты и Тисы. Здесь характерные величины W_d/W_c составляют 4–5. В Северной Америке в пределах перигляциального пояса висконсинского оледенения Дьюри [15] выделил четыре области широкого распространения больших палеорусел (с востока на запад): межгорные плато Большого бассейна, северная часть Великих равнин, Центральные равнины и приатлантические береговые равнины. В этих областях фрагменты больших палеорусел сохранились в основном на поймах и низких террасах малых рек с площадью водосбора менее 5000 км². В большинстве случаев здесь имеется зависимость W_d/W_c от площади водосбора (см. табл. 4 в [15]), но закономерное изменение W_d/W_c в пределах каждой области не выражено; характерные значения этой зависимости находятся в диапазоне 4–8. Особое место занимает пятая область распространения больших палеорусел – равнины вдоль Мексиканского залива. Она расположена в субтропиках, и многочисленные фрагменты больших позднеледниковых палеорусел

сохранились в долинах относительно крупных рек, таких как Ред-Ривер, Сабин, Колорадо и Бразос. Датировки отложений в этих палеорулах показали очень широкий диапазон времени их формирования – 5–8 и 25–30 тыс. радиоуглеродных лет назад [18].

Морфометрические зависимости

Морфометрические зависимости для меандрирующих русел впервые были получены Н.И. Маккаевым [19] и К. Инглисом [20], которые установили связь морфологических характеристик излучин русла с расходами воды. М.А. Великанов [21, с. 242–243] подвел теоретический фундамент под это направление: “В естественных русловых потоках в результате длительного взаимодействия потока и русла проявляются особого рода зависимости между уклоном, расходом, формой русла, размерами твердых частиц; оказывает здесь влияние также и форма гидрографа, связанная с климатическими и топографическими характеристиками водосбора. Эти особого рода зависимости морфологического характера совместно с общими и бесспорными, всюду всегда действующими гидравлическими зависимостями образуют как бы совокупность “уравнений”, определяющих ограниченное число возможных в природе сочетаний указанных элементов”.

Общих и бесспорных гидравлических зависимостей для установившегося равномерного потока, которые связывали бы известные расход воды Q , уклон S и размеры твердых частиц наносов d с неизвестными скоростью потока U , шириной русла W и глубиной русла D , известно всего две: это формула для расчета расхода воды

$$Q = UWD \quad (2)$$

и формула Шези для скорости

$$U = C\sqrt{DS}. \quad (3)$$

Эти формулы можно привести к виду, принятому для записи морфометрических зависимостей. Для ширины русла такая зависимость имеет вид:

$$W = \left(\frac{Q}{C}\right)^{0.4} S^{-0.8} \beta^{0.6}. \quad (4)$$

В зависимость входят коэффициент в формуле Шези C и относительная ширина русла $\beta = W/D$. Соответственно, необходимы формулы для расчета этих двух параметров. Таких формул предложено большое количество. Все они в той или иной степени используют постулат М.А. Великанова, но результаты расчета варьируют в очень широких пределах. Так, в [22] приведено более 20 формул для расчета β и около 20 – для расчета C . Большинство из них имеют разную структуру, и все сопровождаются эмпирическими коэффициентами. Значения коэффициентов изменяются в широких пределах, на них в неявном виде влияют гидрологический режим и ландшафтные условия формирования речных русел, которые для палеогеографических построений необходимо учитывать в явном виде.

Г. Дьюри [15] и И.А. Волков [16] начали использовать морфометрические зависимости для восстановления расходов воды в древних реках по их морфологическим характеристикам – ширине и шагу излучин. Обработка измерений на современных реках Северной Америки позволила Дьюри получить зависимость вида

$$Q \sim \lambda^2, \quad (5)$$

т.е. отношение расходов воды в древних Q_d и современных Q_c реках вычислялось по формуле

$$\frac{Q_d}{Q_c} = \left(\frac{\lambda_d}{\lambda_c}\right)^2. \quad (6)$$

Отношения основных морфологических характеристик древних и современных рек Северной Америки равны 4–8. Рассчитанная по формуле (6) водоносность

древних рек в 20–60 раз должна была превосходить современную (см. табл. 2 в [15]). Подобные же результаты были получены И.А. Волковым для рек Западной Сибири [16] и нами для рек бассейна Дона [23].

Такое значительное изменение водоносности рек на огромной территории не подтверждается никакими другими реконструкциями климатов прошлого, поэтому результаты количественных расчетов стока на основе морфологического анализа вызвало закономерную критику и общее недоверие к эффективности подобных подходов. В то же время связь размеров речного русла и характеристик речного стока несомненна – это непосредственно следует из формул (2–4). Неиспользование подобных связей для палеогеографических реконструкций существенно обедняет эти реконструкции.

Сказанное заставляет искать эмпирические морфометрические зависимости с привлечением дополнительных независимых переменных. При этом применим проблемно-ориентированный подход, когда выбор переменных определяется условиями задачи. Как было показано, основной морфометрической характеристикой палеорусел, определяемой с достаточной точностью, является их ширина при уровне руслонаполнения. Для характеристики древних рек достаточно реконструировать среднемаксимальный расход Q_{max} и среднегодовой расход воды Q_{mean} . Такой выбор переменных отвечает физической сущности формирования речного русла всеми расходами воды, проходящими по нему, и учитывает гидрологический режим рек, чего нет в большинстве гидролого-морфологических зависимостей, включая формулу (5).

Были обработаны данные приблизительно по 700 участкам рек, протекающих по всем природным зонам в пределах Русской равнины, Западно-Сибирской низменности и Восточной Сибири и характеризующихся разными типами гидрологического режима. Строилась множественная регрессия, где предикторами являлись средний расход воды Q_{mean} и внутригодовая изменчивость стока $y=100Q_{mean}/Q_{max}$, а отклик – ширина русла при уровне руслонаполнения W . Предикторы подобраны так, чтобы корреляция между ними была минимальной. Эти переменные связаны эмпирической зависимостью с множественным коэффициентом корреляции 0.82:

$$\lg(W) = 1.38 + 0.58\lg(Q_{mean}) - 0.31\lg(y). \quad (7)$$

Эту связь необходимо трансформировать для целей реконструкции стока. Так как результаты арифметических преобразований эмпирических регрессионных связей обычно отличаются от прямых построений многомерных регрессий с теми же предикторами и откликом, сделана прямая оценка регрессионной связи среднего расхода воды с шириной русла и внутригодовой изменчивостью стока по тем же данным

$$\lg(Q_{mean}) = -1.71 + 1.34\lg(W) + 0.64\lg(y) \quad (8)$$

или

$$Q_{mean} = 0.019W^{1.34} \left(100 \frac{Q_{mean}}{Q_{max}} \right)^{0.64}. \quad (9)$$

Формула (9) лишь ненамного отличается от ранее полученной по несколько другому набору данных (см. формулы (5–7) в [5]), что указывает на устойчивость этой зависимости.

Формула (9) позволяет оценить среднегодовой расход воды в древнем русле на основании измеренной ширины этого палеорусла. Преимущества этой формулы над формулами типа (5) очевидны. Во-первых, показатель степени при ширине существенно меньше двух. Это исключает неоправданно большие соотношения древних и современных расходов воды даже при значительных величинах отношения ширины древнего и современного русла. Подобный эффект объясняется тем, что формула (9) включает характеристику гидрологического режима реки, которая отсутствует в формулах типа (5). Такой характеристикой служит внутригодовая изменчивость стока воды – отношение среднегодового и среднемаксимального расходов воды:

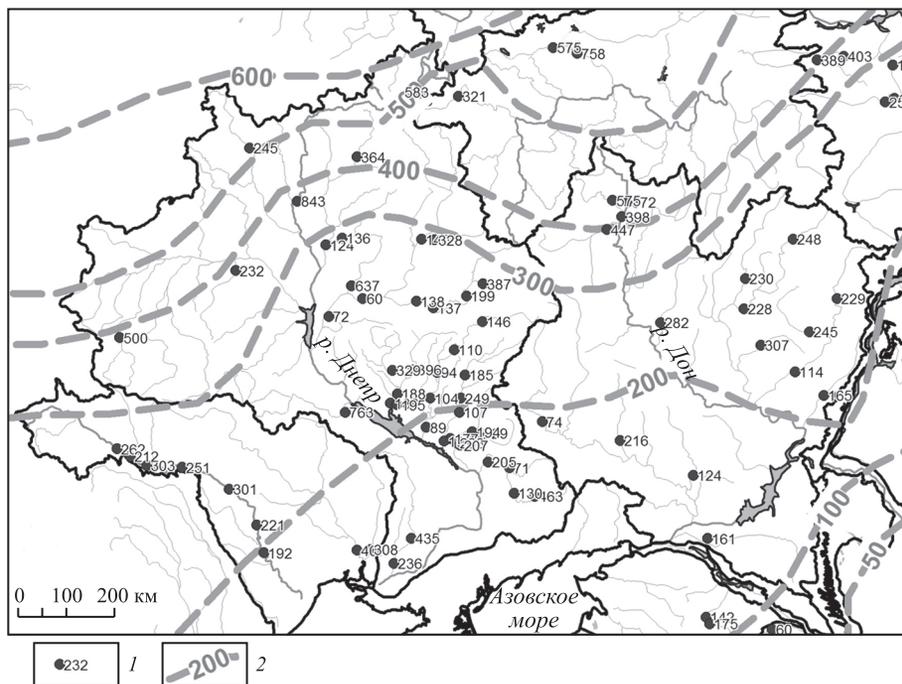


Рис. 3. Распределение слоя годового стока на территории юга Русской равнины в период формирования позднеледниковых больших рек
 1 – замыкающие створы бассейнов, для которых выполнены оценки, и рассчитанные величины годового слоя стока, мм, 2 – сглаженные изолинии стока, мм

$y = 100 Q_{mean}/Q_{max}$. Второе преимущество формулы (9) – связь внутригодовой изменчивости стока с размером водосбора реки F (км²) эмпирической зависимостью:

$$y = \left(100 \frac{Q_{mean}}{Q_{max}} \right) = aF^N. \quad (10)$$

Коэффициенты a и N зависят от ландшафтных условий на водосборе и поддаются географическому районированию. Их современные значения определяются по гидрологическим справочникам для соответствующего участка реки. Но главным является то, что возможен переход от зависимостей для современных рек к оценкам характеристик древних рек на основе принципа *палеогеографической аналогии*.

Географическая аналогия была введена в гидрологические исследования В.Г. Глушковым [24] и находит широкое применение при гидрологических расчетах для малоизученных и неизученных рек. В современной формулировке [25, с. 113]: “принцип географической аналогии отражает целостность географических ландшафтов и взаимосвязь их элементов, что позволяет предположить близость характеристик стока для речных бассейнов со сходными физико-географическими условиями”. Из этого определения следует принцип палеогеографической аналогии: характеристики стока для древних речных бассейнов близки к характеристикам стока для современных бассейнов со сходными физико-географическими условиями.

Для реконструкции стока подбираются современные области, которые по комплексу ландшафтно-климатических признаков являются максимально близкими аналогами бассейна древней реки. Основными критериями выбора аналога служат гидро-климатические его характеристики, полученные путем флористического анализа палинологических данных [26], а также рельеф водосбора и наличие свойственной

перигляциальной зоне вечной мерзлоты. Такими территориями-аналогами с условиями формирования больших позднеледниковых палеорек являются Большеземельская тундра и полуостров Ямал (аналог для относительно теплых периодов позднеледниковья), а также бассейн реки Вилюй (аналог для относительно холодных периодов позднеледниковья). Размеры русел современных рек этих территорий близки размерам позднеледниковых рек с соответствующими площадями водосбора. С учетом значений коэффициентов в формуле (10), полученных для территорий-аналогов, среднегодовой расход воды определяется по зависимости (9), а среднемаксимальный расход воды – по формуле (10). Средняя относительная ошибка таких оценок стока воды в древних реках составляет около 30–40%.

Пример такого расчета для палеорек бассейнов рек Днепр и Дон приведен на рис. 3. Средний слой стока на этих водосборах с ландшафтом перигляциальной лесостепи составлял 298 мм [14, табл. 6]. На полуострове Ямал, который является наиболее близким современным ландшафтно-климатическим аналогом позднеледниковых бассейнов Днепра и Дона, годовой слой стока составляет 230 мм. Слой стока за период половодья на исследованных водосборах-аналогах равен 340–240 мм при запасах воды в снеге 380–240 мм (табл. 3.1 в [27]). Потери в период снеготаяния часто равны нулю и не превышают 25%. Таким образом, реконструированный годовой объем стока воды с перигляциальных водосборов Днепра и Дона около 275 км³. Эта величина укладывается во вполне разумные рамки климатических характеристик Арктики и Субарктики и не требует для своего обоснования каких-либо экстраординарных климатических гипотез, хотя сток позднеледниковых больших рек был в 3.3 раза больше современного.

Заключение

Геоморфологический подход к палеогеографическим реконструкциям опирается на методы актуализма и пространственно-временных взаимосвязей, которые используют аналогию как главный принцип. Применение аналогии при отсутствии теоретического обоснования требует очень осторожного отношения к применяемым эмпирическим связям. Если восстанавливается сток древних рек по морфологии современных рек, то применяемые эмпирические морфометрические зависимости для современных рек должны охватывать как можно более широкий диапазон условий формирования, чтобы в этот диапазон попадали и палеоусловия формирования древних рек. Морфометрические зависимости должны строиться для небольшого числа переменных, что с одной стороны определяется скудностью информации о древних реках, а с другой – необходимой точностью обычно применяемой множественной регрессии. Должна быть возможность измерить (найти в справочниках) значения всех переменных, как для современных, так и для древних рек. Выбор переменных также диктуется условиями задачи, так как зависимость должна быть и физически обоснованной, и практически целесообразной. Для расчета стока древней реки, которая формировалась в некоторых палеогеографических обстановках, выбирается морфометрическая зависимость, построенная для современных рек, существующих в аналогичных ландшафтно-климатических условиях. Выбор условий формирования древней реки опирается уже не только на геоморфологические, а и на более общие палеогеографические соображения.

Практическое применение изложенных принципов для восстановления стока больших позднеледниковых палеорек умеренного пояса земного шара дало результаты, которые существенно уточняют знания о палеогеографической обстановке этого времени. Выяснилось, что среднегодовые расходы этих больших рек с шириной русла в 5–15 раз превышающей современные были только в 2–4 раза больше расходов современных рек. Этот сток был образован при годовом количестве осадков, примерно равном или лишь немного превосходящем современное, т.е. сложные климатические

гипотезы для появления большого количества воды не требуются. Главными являлись: 1) длительный зимний период с накоплением достаточных (300–700 мм) влагозапасов; 2) короткое и дружное половодье; 3) очень малые потери стока во время этого половодья и максимальные расходы в 5–10 раз больше среднегодовых. Этого было достаточно, чтобы успели сформироваться широкие и глубокие русла рек перигляциального пояса. Всю остальную часть года эти русла стояли практически сухими, поэтому среднегодовой расход воды получается существенно меньше расхода половодья.

Благодарности. Работа выполнена по теме “Эволюция и трансформация эрозионно-русловых систем в условиях изменения природной среды и антропогенных нагрузок (ГЗ)” (А.Ю. Сидорчук) и при поддержке РФФИ (проект № 15-05-00706) (А.В. Панин).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин Г.П. О пространственно-временном анализе и эргодичности гидрологических элементов // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1966. № 5. С. 19–34.
2. Чалов Р.С. Историческое и палеоруслведение: предмет, методы исследований и роль в изучении рельефа // Геоморфология. 1996. № 4. С. 13–18.
3. Докучаев В.В. Способы образования речных долин Европейской России. СПб.: Типография В. Дермакова, 1878. 221 с.
4. http://www.fluvial-systems.net/geomorfologiya_2016/paper1_supplement.html
5. 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.
6. Starkel L. Palaeohydrology of the temperate zone // Global Continental Palaeohydrology. Chichester: John Wiley and Sons, 1995. P. 233–258.
7. Gabris G. and Nador A. Long-term fluvial archives in Hungary: response of the Danube and Tisza rivers to tectonic movements and climatic changes during the Quaternary: a review and new synthesis // Quaternary Sci. Rev. 2007. Vol. 26. P. 2758–2782.
8. Vandenberghe J. Climate forcing of fluvial system development: an evolution of ideas // Quaternary Sci. Rev. 2003. Vol. 22. P. 2053–2060.
9. Arbogast A.F., Bookout J.R., Schrottenboer B.R., Lansdale A., Rust G.L., and Bato V.A. Post-glacial fluvial response and landform development in the upper Muskegon River valley in North-Central Lower Michigan, U.S.A. // Geomorphology. 2008. Vol. 102. P. 615–623.
10. Leigh D.S. Terminal Pleistocene braided to meandering transition in rivers of the Southeastern USA // Catena. 2006. Vol. 66. P. 155–160.
11. Page K.J., Kemp J., and Nanson G.C. Late Quaternary evolution of Riverine Plain paleochannels, Southeastern Australia // Australian Journal of Earth Sciences. 2009. Vol. 56. P. 19–33.
12. Davis W.M. La Seine, la Meuse et la Moselle // Annales de Geographie. 1895. Vol. 4. No. 19. P. 25–49.
13. Квасов Д.Д. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1975. 278 с.
14. Sidorchuk A., Panin A., and Borisova O. Surface runoff to the Black Sea from the East European Plain during the Last Glaciation Maximum–Late Glacial time // Geological Society of America Special Paper 473. 2011. P. 1–25.
15. Dury G.H. Theoretical implications of underfit streams // US Geological Survey Professional Paper 452-B. 1965. 43 p.
16. Волков И.А. Следы мощного стока в долинах рек юга Западной Сибири // Докл. АН СССР. 1963. Т. 151. № 3. С. 23–25.
17. Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Чернов А.В. Основные этапы формирования пойм равнинных рек северной Евразии // Геоморфология. 2011. № 3. С. 20–31.
18. Leigh D.S. and Feeney T.P. Paleochannels indicating wet climate and lack of response to lower sea level, southeast Georgia // Geology. 1995. Vol. 23. P. 687–690.
19. Маккавеев Н.И., Советов В.С. Трассирование землечерпательных прорезей на перекатах равнинных рек Европейской части СССР // Тр. ЦНИИРФ. 1940. Вып. 3. С. 1–60.
20. Inglis C.C. Meanders and their bearing on river training // Inst. Civ. Eng. (London). Mar. Waterways Eng. Div. 1947. No. 7. P. 3–54.
21. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. Т. 2: Наносы и русло. М.: Гостехиздат, 1955. 323 с.

22. Железняков Г.В. Пропускная способность русел каналов и рек. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 311 с.
23. Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Чернов А.В. Макроизлучины рек ЕТС и проблемы палеогидрологических реконструкций // Водные ресурсы. 1992. № 4. С. 93–97.
24. Глушков В.Г. Географический и гидрологический метод // Изв. ГГИ. 1933. Т. 57. С. 89–95.
25. Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты. М.: Изд-во МГУ, 1990. 304 с.
26. Sidorchuk A.Yu. and Borisova O.K. Method of paleogeographical analogues in paleohydrological reconstructions // Quaternary Int. 2000. Vol. 72(1). P. 95–106.
27. Бобровицкая Н.Н., Баранов А.В., Василенко Н.Н., Зубкова К.М. Гидрологические условия // Эрозионные процессы центрального Ямала. СПб.: Изд. РНИИ культурного и природного наследия, 1999. С. 27–33.

Поступила в редакцию 06.02.2016

GEOMORPHOLOGICAL APPROACH TO THE RIVER RUNOFF EVALUATION IN THE GEOLOGICAL PAST (Paper 1. Regime Equations)

A. Yu. SIDORCHUK¹, A.V. PANIN^{1,2}

¹*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

²*Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

e-mail: aleksey.sidorchuk@geogr.msu.ru

Summary

Reconstruction of river palaeodischarges based on the morphology of modern rivers meets the following requirements to the empirical regime equations in use: 1) they should cover the broad range of environment conditions to include the ancient conditions of river formation; 2) they should be controlled by a small number of variables selected according to the needs of the problem; 3) the option must exist to use a relationship that is suitable for the palaeoenvironmental conditions. These principles were applied to calculate discharges that formed the Lateglacial palaeochannels 5–15 times wider than the present-day rivers. The calculated mean annual palaeodischarges were only 2–4 times larger than those of the modern rivers. These palaeodischarges have been produced by an annual rainfall of about equal to or only slightly larger than the recent one. The main environmental conditions were: 1) a long winter, the accumulation of sufficient (300–700 mm) amount of water equivalent in snow; 2) short and sharp flood; 3) small water losses during this flood due to low soil permeability under permafrost conditions; 4) long low-water period, when these large channels were almost dry. Therefore, the mean annual discharge appeared to have risen substantially less than did the flood discharge.

Keywords: The Late Glacial time, large paleochannels, regime equations, discharge reconstruction.

DOI:10.15356/0435-4281-2017-1-55-65