

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК ПЕРИГЛЯЦИАЛЬНОЙ ЗОНЫ

А. Ю. Сидорчук ^{1,*}

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

* *E-mail: fluvialo5@gmail.com*

В конце МИС 2 (примерно 18–15 тыс. л. н.) в перигляциальной зоне на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири в условиях перигляциальной растительности и широкого распространения вечной мерзлоты формировались реки с размерами русел до 10–15 раз больше современных. Для реконструкции гидрологического режима этих рек использованы следующие морфометрические зависимости: 1) связи между шагом излучин и шириной русла при уровне руслонаполнения; 2) зависимости расхода воды при уровне руслонаполнения от ширины русла при том же уровне; 3) зависимости между расходами воды при уровне руслонаполнения и площадями водосбора. Получены значения слоя стока максимума половодья для бассейнов площадью менее 1000 км², которые соответствует максимуму слоя суточного стаивания снега в период снеготаяния. В среднем для бассейна Дона максимальный суточный слой стока в древности превышал современный в 7 раз, в бассейне Оби — в 5 раз, в бассейне Волги — в 10 раз. Дальнейшие исследования будут направлены на выяснение климатических условий, которые могли привести к такому режиму стока.

Ключевые слова: палеогидрология; большие меандрирующие реки; конец МИС 2; максимальный суточный слой стока

В Большой российской энциклопедии (Котляков, 2017) дано следующее определение: «ПЕРИГЛЯЦИАЛЬНАЯ ЗОНА (от пери... и лат. *glacies* — лёд) (приледниковая зона) — полоса суши шириной от нескольких км до нескольких сотен км, примыкающая к древним (плейстоценовым) или современным ледниковым покровам, испытывающая или испытывавшая сильное влияние ледников на весь комплекс природных условий. Термин «перигляциальная зона» (далее — «П.з.») применяется также к районам горного оледенения. Характерен

суровый климат с холодными сухими ветрами, дующими с ледниковых массивов и способствующих формированию материковых дюн и лёссовых покровов. Для этих зон типично многократное чередование замерзания и таяния воды в рыхлых и трещиноватых породах, развитие процессов пучения и течения грунтов, образование мерзлотного рельефа». Это определение, с одной стороны, сильно сужает набор процессов, характерных для «П.з.», а с другой — не содержит такого важного элемента, как вечная мерзлота. В предла-

гаемой статье рассмотрен гидрологический режим рек, которые формировались в конце МИС 2 (примерно 18–15 тыс. л. н.) на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири в областях шириной до нескольких тысяч километров от покровных и горных ледников. Эти области характеризовались перигляциальной растительностью и широким распространением вечной мерзлоты и поэтому к ним применен термин «П.з.».

Материалы. В конце МИС 2, валдайской ледниковой эпохи, на равнинах северного полушария Земли формировались меандрирующие реки с размерами русел (ширины и шага излучин) в несколько раз (до 10–15) больше современных в тех же речных бассейнах. Этот феномен был отмечен В. В. Докучаевым и В. М. Дэвисом, а в середине прошлого столетия в работах Д. Дьюри, С. Шамма, И. А. Волкова и Н. И. Маккавеева получил методологический аппарат для исследования и достаточно достоверное объяснение. Значительное количество публикаций по морфологии и палеогидрологии таких больших рек на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири (см. библиографию в Sidorchuk, 2023) позволяет не останавливаться на их подробной характеристике. Отмечу только, что по количеству хорошо сохранившихся фрагментов русел таких рек означенные территории не имеют себе равных.

Методы. Методической основой исследования древних рек является морфометрический анализ. Морфометрический анализ в гидрологии базируется на принципе ограниченности природных комплексов, так как «взаимоуправление потока

и русла приводит в результате всех деформаций к определенным, наиболее вероятным, комбинациям между морфометрическими характеристиками русла и гидравлическими характеристиками потока» (Великанов, 1958, с. 58). На практике этот принцип обосновывает построение зависимостей между морфометрическими характеристиками русла и гидравлическими характеристиками потока, также как и между разными морфометрическими характеристиками русла.

Для восстановления гидрологического режима рек прошлого в нашем распоряжении имеются: 1) морфология и гидравлика (гидрология) современных рек и площади их бассейнов; 2) морфология русел древних рек, в отдельных случаях некоторые гидравлические характеристики (уклон русел, крупность аллювия) и площади их бассейнов. Для палеогидрологии главными морфометрическими зависимостями являются: 1) связи между шагом излучин и шириной русла при уровне руслонаполнения W ; 2) зависимости расхода воды при уровне руслонаполнения от ширины русла при том же уровне; 3) зависимости между расходами воды при уровне руслонаполнения и площадями водосбора.

Связь между шагом излучин и шириной русла. Такая связь была установлена Инглисом (Inglis, 1947), в дальнейшем неоднократно подтверждалась. Эта связь линейная:

$$\lambda = aW \quad (1)$$

Для свободных излучин коэффициент a довольно устойчив и равен в среднем для современных рек 6.0, для древних рек 5.7. Для врезанных рек зависимость (1) характеризуется большим разбросом, коэффициент a равен в среднем для современных рек 11.7, для древних рек бассейна р. Дон — 7.8.

Зависимость (1) позволяет выявить среди излучин русел рек изгибы, не обусловленные гидравликой потока, а другими факторами (обычно, литологическими). Наличие этой зависимости для древних рек подтверждает, что макроизлучины в долинах рек хотя и не соответствуют по размерам гидравлике современного потока, но, тем не менее, гидравлически обусловлены.

Зависимость расхода воды от ширины русла. То, что расход воды Q зависит от ширины русла W , следует из формулы для расчета расхода воды:

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

Эту формулу можно переписать в квадратичной форме, обычной для подобного рода морфометрических связей (Dury, 1965):

$$Q = U\beta W^2 \quad (3)$$

Здесь $\beta = d/W$ — относительная глубина русла, U — средняя скорость потока, d — средняя глубина русла.

Морфометрические связи типа (3) применимы как для построения зависимостей для данного створа реки при разных уровнях, так и для разных створов по длине реки при одинаковых (увязанных) уровнях. В последнем случае, который и будет основным для дальнейших построений, обычно используют уровень наполнения русла до бровок поймы. Расход воды при таком уровне называют руслонаполняющим и часто считают его соответствующим руслоформирующему расходу воды. Одновременно руслонаполняющий расход близок к среднемуголетнему расходу максимума половодья. Все сказанное позволяет для палеогидрологических реконструкций выбрать морфометрическую связь между среднемуголетним расходом максимума

половодья (т.н. среднемаксимальным расходом Q_{max}) и шириной русла реки в бровках поймы в разных створах по длине реки:

$$Q_{max} = a_o W_b^{b_o} \quad (4)$$

Так как изменение скорости потока и относительной глубины русла зависит от расхода воды, показатель степени b_o в формуле (4) отличается от 2. Эмпирические данные показывают, что для современных больших рек, вне зависимости от их гидрологического режима и ландшафта водосбора, показатель степени b_o в формуле (4) варьирует в довольно узких пределах 1.29–1.46. Важно отметить, что зависимость (4) с показателем степени 1.4 выполняется также для древних рек разного возраста, для которых руслонаполняющий расход воды был рассчитан по формулам гидравлики. Это указывает на полную применимость в данном случае принципа актуализма и на возможность переносить зависимости, полученные для современных рек, на древние реки. Для речного бассейна, для которого ведутся палеогидрологические реконструкции, строится зависимость (4) для современных рек. По полученным коэффициенту a_o и показателю степени b_o и измеренным ширинам палеорусел рассчитываются по формуле (4) среднемаксимальные расходы воды Q_{max_past} для древних больших рек. Так как площади водосборов F для древних больших рек принимаются равными современным в тех же створах, вычисляются величины среднемаксимального слоя стока $X_{max_past} = Q_{max_past}/F$.

Зависимости между расходами воды и площадями водосбора. Как было сказано, зависимость (4) для современных и древних рек не зависит от ландшафта водосбора. Таким свойством не обладает зависимость

среднемаксимального расхода воды Q_{max} от площади водосборов F (Евстигнеев, 1990):

$$Q_{max} = a_1 F^{b_1} \quad (5)$$

Коэффициент a_1 и показатель степени b_1 в формуле (5) изменяются по территории в зависимости от климата, свойств подстилающей поверхности и морфологии дна речной долины. Фактически формула (5) включает ложную корреляцию, так как расход воды есть произведение слоя стока X_{max} на площадь водосбора. Поэтому более точно записывать её в виде:

$$X_{max} = a_1 F^{b_1-1} \quad (6)$$

Результаты. По величинам коэффициентов и показателей степени в формулах (5) и (6) для современных условий стока проведено районирование речных водосборов в бассейне р. Дон. Во-первых, выяснилось, что показатель степени разный для малых и больших водосборов, это изменение происходит при площади водосбора в 1000 км². Для малых водосборов показатель степени равен 1, т.е. суточный слой стока для максимума половодья не меняется с площадью водосбора. Для водосборов больше 1000 км² показатель степени меньше 1, т.е. суточный слой стока для максимума половодья уменьшается с увеличением площади водосбора. Во-вторых, районирование по средним величинам коэффициентов и показателей степени совпадает с ландшафтно-географическим: для зоны лесостепи при $F < 1000$ км², $a_1 = 0.14$, $b_1 = 1$; при $F > 1000$ км², $a_1 = 1.6$, $b_1 = 0.65$; для зоны степи при $F < 1000$ км², $a_1 = 0.082$, $b_1 = 1$; при $F > 1000$ км², $a_1 = 0.41$, $b_1 = 0.75$; для зоны сухих степей при $F < 1000$ км², $a_1 = 0.063$, $b_1 = 1$; при $F > 1000$ км², $a_1 = 0.19$, $b_1 = 0.79$. Кроме того, если принять средние

для ландшафтной зоны величины показателей степени, то разброс значений коэффициента отражает закономерное изменение по территории слоя стока максимума половодья (приведенного к единичному водосбору). Средняя величина слоя стока составила 8.4 мм/сут.

Зависимости (5) и (6) были построены также для рассчитанных по формуле (4) среднемаксимальных расходов воды больших древних рек. Для условий вечной мерзлоты для перигляциальной лесостепи на севере бассейна Дона при $F < 1000$ км², $a_1 = 0.85$, $b_1 = 1$; при $F > 1000$ км², $a_1 = 8.0$, $b_1 = 0.65$; для перигляциальной степи при $F < 1000$ км², $b_1 = 1$; при $F > 1000$ км², $a_1 = 2.2$, $b_1 = 0.74$. Для территории с отсутствием вечной мерзлоты на юге бассейна для зоны степей при $F < 1000$ км², $b_1 = 1$; при $F > 1000$ км², $a_1 = 2.3$, $b_1 = 0.79$. Как и следовало ожидать, разброс в этих зависимостях для древних рек оказался больше, чем для современных; к закономерным изменениям коэффициента a_1 по территории бассейна добавляется случайная ошибка. Тем не менее, для выделенных ландшафтных зон с помощью формулы (5) были вычислены коэффициенты a_1 для всех участков с палеоруками, а по формуле (6) получены величины слоя стока для максимума половодья, приведенные к единичному водосбору с $F = 1000$ км². Карта слоя стока максимума половодья показывает вполне закономерное его распределение по бассейну р. Дон с минимальными значениями в бассейне Северского Донца и увеличением как на северо-восток, так и на юго-запад. Средняя величина слоя стока составила 57.7 мм/сут. Эта величина практически равна максимуму слоя суточного стаивания снега. Она почти в семь раз больше соответствующей величины для со-

временных условий на водосборе р. Дон. Аналогичные построения выполнены для бассейнов р. Волги и р. Оби.

Заключение. Гидрологический режим рек, которые формировались в конце МИС 2 (примерно 18–15 тыс. л. н.) в перигляциальной зоне на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири с перигляциальной растительностью и широким распространением вечной мерзлоты характеризуется большими значениями слоя стока максимума половодья для бассейнов площадью менее 1000 км². Слой стока максимума половодья соответствует максимуму слоя суточного стаивания снега в период снеготаяния при формировании поверхностного стока. В среднем для бассейна Дона максимальный слой стока в древности превышал современный в 7 раз, в бассейне Оби — в 5 раз, в бассейне Волги — в 10 раз. Дальнейшие исследования будут направлены на выяснение причин такого режима весеннего снеготаяния.

Исследование выполнено по плану НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н. И. Маккавеева географического фа-

культета МГУ имени М. В. Ломоносова (№ 121051200166–4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Великанов М. А. (1958) *Русловой процесс (основы теории)*. М.: Госфизматгиз. 395 с.

Евстигнеев В. М. (1990) *Речной сток и гидрологические расчеты*. М.: Изд-во МГУ. 304 с.

Котляков В. М. *Перигляциальная зона*. *Большая российская энциклопедия*. Электронная версия. 2017. <https://old.bigenc.ru/geography/text/2331246>. Дата обращения: 05.05.2023

Dury G. H. (1965) *Theoretical Implications of Underfit Streams*. US Geological Survey Professional Paper; United States Government Printing Office: Washington, DC, USA. Vol. 452. P. 43.

Inglis C. C., Lacey G. (1947) Meanders and their bearing on river training. ICE Engineering Division Papers. Vol. 5. Iss. 7. P. 3–24. <https://doi.org/10.1680/idivp.1947.13075>

Sidorchuk A. (2023) *The Large Rivers of the Past in West Siberia: Unknown Hydrological Regimen*. Water. Vol. 15. Iss. 2. P. 258. <https://doi.org/10.3390/w15020258>