

ФЛЮВИАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ И РЕЧНОЙ СТОК НА РУССКОЙ РАВНИНЕ В КОНЦЕ ПОЗДНЕВАЛДАЙСКОЙ ЭПОХИ



А. В. Панин, А. Ю. Сидорчук

МГУ им. М. В. Ломоносова, географический факультет

О. К. Борисова

Институт географии РАН

Введение

Водный баланс Русской равнины в конце последней ледниковой эпохи представляет дискуссионную проблему, тесно связанную с целым рядом смежных вопросов палеогеографии этого времени. С климатической точки зрения конец позднего валдая традиционно считается холодным и сухим – криоксеротическим [9] временем. Основанием к этому служит состав ископаемых палиноспектров, в которых сочетаются сухолюбивые (степные) и холодовыносливые (тундровые) элементы. С другой стороны, максимум похолодания (18-20 тыс. радиоуглеродных лет назад) и последующее время вплоть до начала голоцена отличаются трансгрессивным состоянием Каспийского моря-озера. Исследователи расходятся лишь во мнении, сколь высоко поднимался уровень Каспия в это время: одни авторы [11, 13, 18 и др.] относят к концу позднего валдая максимальную раннехвалынскую трансгрессию с уровнями +48+50 м абс., считая позднехвалынскую трансгрессию (0 м абс.) стадией отступления первой; другие исследователи [12, 17, 21 и др.] считают раннехвалынскую трансгрессию более древней и к позднему валдаю относят только позднюю хвалынь, считая ее самостоятельным событием. В любом случае встает вопрос о причинах трансгрессии, который может быть решен лишь путем ретроспективной оценки составляющих водного баланса водоема.

В реконструкциях водного баланса для хвалынских трансгрессий разные исследователи отводят речному стоку неодинаковую роль (рис. 1). Одни авторы видят причины трансгрессий в значительном уменьшении испарения как с акватории, так и с водосбора Каспия вследствие снижения температур. Они полагают, что за счет этого возрастал (по сравнению с современным) речной сток, который и играл основную роль в приходной части водного баланса (например – [11]). Напротив, в работе [13] величина речного стока с водосбора Каспия предполагается значительно меньшей, чем современная, вследствие малого количества атмосферных осадков в зоне влияния скандинавского антициклона. Согласно этому исследователю, трансгрессивное состояние поддерживалось благодаря увеличению площади бассейна – поступлению в Каспий талых ледниковых и подпрудных вод. Точка зрения об определяющей роли "ледового" и "подпрудного" водосборов в генезисе хвалынских трансгрессий продолжает развиваться и в настоящее время [2].

В большинстве палеореконов водного баланса речной сток рассчитывается по "остаточному" принципу – из годовых величин атмосферных осадков и испарения, которые, в свою очередь, оцениваются по различным эмпирическим и теоретическим моделям. Между тем, речные потоки оставляют отчетливые следы в рельефе, в том числе древние русла, позволяющие осуществлять прямые оценки величины стока. Авторами проведено изучение геоморфологических элементов речных пойм с палеогидрологической точки зрения. Основные результаты этих исследований излагаются в настоящей публикации.

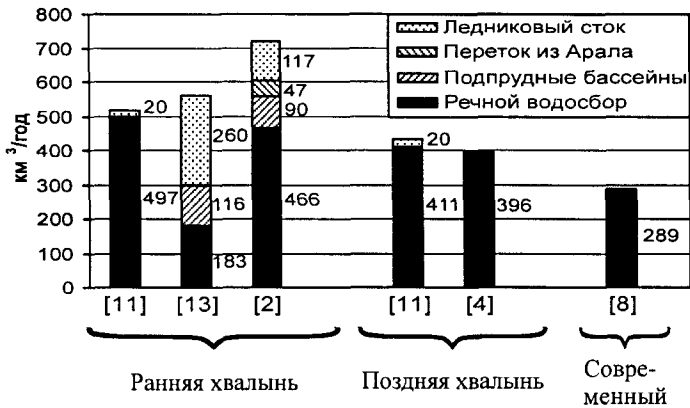


Рис.1. Оценки приходной части водного баланса Каспия для эпох позднеплейстоценовых трансгрессий.

В квадратных скобках – номер источника по списку литературы.

Геоморфологические следы высокого речного стока

В 1950-60-х гг Г. Дьюри [25, 26 и др.] в Западной Европе и Северной Америке и И. А. Волков [5, 6 и др.] на юге Западной Сибири обнаружили и исследовали следы древних меандрирующих русел на поймах и низких террасах рек. По размерам эти древние русла многократно превосходили современные русла. Так, И. А. Волковым на низких террасах Ишима, Тобола и других рек обнаружены палеоруслу, обладающие шириной и шагом меандров от 4-6 (на I террасе) до 20-40 современных (на II террасе). Оба исследователя интерпретировали эти формы как следы мощного речного стока. Позднее следы обильного стока были изучены на Русской равнине [15, 16, 19, 20, 28 и др.]. На поймах и низких террасах рек повсеместно встречаются аномально крупные палеоизлучины – макроизлучины. Их шаг и ширина палеорусел превышают современные в 10-15 раз в зоне лесостепей и степей, к северу это соотношение уменьшается до 1,5-2 раз. В области поздневалдайского оледенения макроизлучины отсутствуют. Зональность отмечается не только в относительных размерах больших палеорусел, но и в их геоморфологической позиции.

В южной половине Русской равнины макроизлучины располагаются на поймах (рис. 2). В период активного развития они относились преимущественно к типу свободных излучин, т.е. развивались в затапливаемых аллювиальных берегах. Как палеоруслу, так и шпоры макроизлучин большей частью заливаются и в настоящее время и перекрыты голоценовым пойменным аллювием. Огромная ширина пойм южнорусских рек объясняется тем, что они наследуют широкий пояс блуждания более мощного потока в поздневалдайское время. В общей площади поймы пояс блуждания русла в голоцене составляет лишь малую часть. Местами наиболее высокие участки шпор образуют незатапливаемые "островки", по высоте занимающие промежуточное положение между поймой и поздневалдайской ("первой") террасой.

В северной половине региона, примерно в границах московской стадии максимального среднеплейстоценового оледенения, палеоруслу-макроизлучины имеют врезанный характер – шпора палеомеандра высоко поднимается над поверхностью палеоруслу, но от корневой части к вершине изгиба поверхность шпоры постепенно снижается, что указывает на направленное врезание в ходе искривления палеомеандра (рис. 3). Шпора макроизлучины представляет собой



Рис.2. Следы мощного стока в бассейне нижней Волги: палеоруслу-макроизлучины на пойме р. Б. Кинель

незатапливаемый останец, а палеоруслу (старика) может располагаться как выше, так и ниже уровня современных половодий. Размеры этих форм столь велики, что часто их ошибочно относят к разным уровням низких террас или к террасе и пойме, предполагая тем самым их образование в разные этапы развития долины.

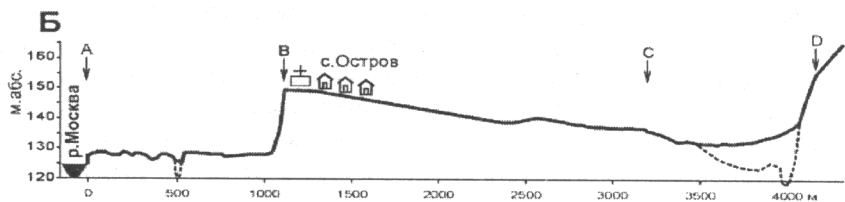
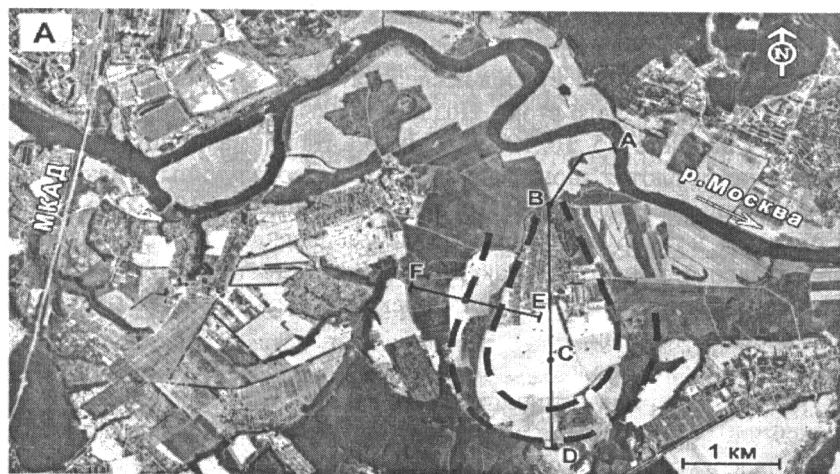


Рис.3. Следы мощного стока в долине р.Москвы:

палеоруслу-макроизлучина у с. Остров (А – строение в плане, Б – профиль через шпору)

В связи с проблемой ретроспективной оценки водного баланса Каспия отметим, что оба типа палеоруслу-макроизлучин широко распространены в соответствующих частях бассейна р. Волги (рис. 2, 3).

Геологическое строение и возраст палеорусел-макроизлучин

Как по морфологии, так и по геологическому строению палеорусл-макроизлучины ничем, кроме гигантских размеров, не отличаются от обычных речных староречий. Бурение по профилям поперек гигантских палеорусел обнаруживает глубокое понижение грубозернистого аллювия русловой фации (песок, песок с гравием и галькой), заполненное тонкозернистым материалом (глина, тяжелый и средний суглинок), который можно интерпретировать как старичную фацию аллювия. Границы тонкозернистого заполнения хорошо совпадают с выделенными по рельефу или фототону на аэроснимке границами палеорусла. Контакт между заполнением и подстилающим грубозернистым аллювием интерпретируется как поверхность субаквального палеорельефа – дно палеорусла.

Как и на обычных излучинах, рельеф дна макроизлучин тесно увязан со строением русла в плане. Бурение на перегибе между соседними макроизлучинами, где палеорусло имеет относительно прямолинейные очертания, вскрывает прямоугольное или параболическое сечение с симметричным распределением глубин, в котором линия максимальных глубин находится примерно посередине (рис. 4А). Буровой профиль в вершине макроизлучины, где палеорусло обладает наибольшей кривизной, обычно вскрывает сечение треугольной формы, в котором линия наибольших глубин смещена ближе к вогнутому берегу макроизлучины (рис. 4Б). У противоположного, выпуклого берега по форме кровли крупнозернистого аллювия читается аккумулятивное образование, часто с понижением в тыловой части. Оно похоже на характерную для выпуклых берегов излучин прирусловую отмель (побочень) с повышенной центральной и пониженной тыловыми частями, которые вниз по течению продолжают косо с глубоким затоном.

Уже за пределами палеорусла, во внутренней части (шпоре) макроизлучины на космических снимках часто различается дугообразный рисунок. Иногда он отражает морфологию поверхности – чередование изогнутых грив, разделяемых ложбинами. В других случаях на выровненной пойменной поверхности "просвечивает" погребенный рельеф благодаря различиям в составе грунтов – более легких на погребенных гривах и более тяжелых в ложбинах. Размеры (ширина, протяженность, радиус кривизны) этих гривисто-ложбинных систем соответствуют размерам палеорусла-макроизлучины, т. е. весьма велики и контрастируют с современным руслом, что часто способствует их ошибочной интерпретации: пойменные ложбины принимаются за староречья, гривы – за золотые дюны или эрозионные останцы более древних террас. Между тем, погребенная и дневная морфология макроизлучин легко объясняется закономерностями развития меандрирующих русел, известными по наблюдениям на современных реках [23]. При закреплении побочня растительностью он приключается к пойменному сегменту, наследуя первичную морфологию, а в русле реки формируется новый побочень, оттесняя поток к противоположному вогнутому берегу и способствуя его размыву. Так происходит искривление излучины и одновременно – формирование характерного для меандрирующих рек гривисто-ложбинного рельефа пойм [22]. Палеорусл-макроизлучины обладают, таким образом, всеми атрибутами активно развивавшихся речных меандров, отличавшихся от современных лишь своими большими размерами.

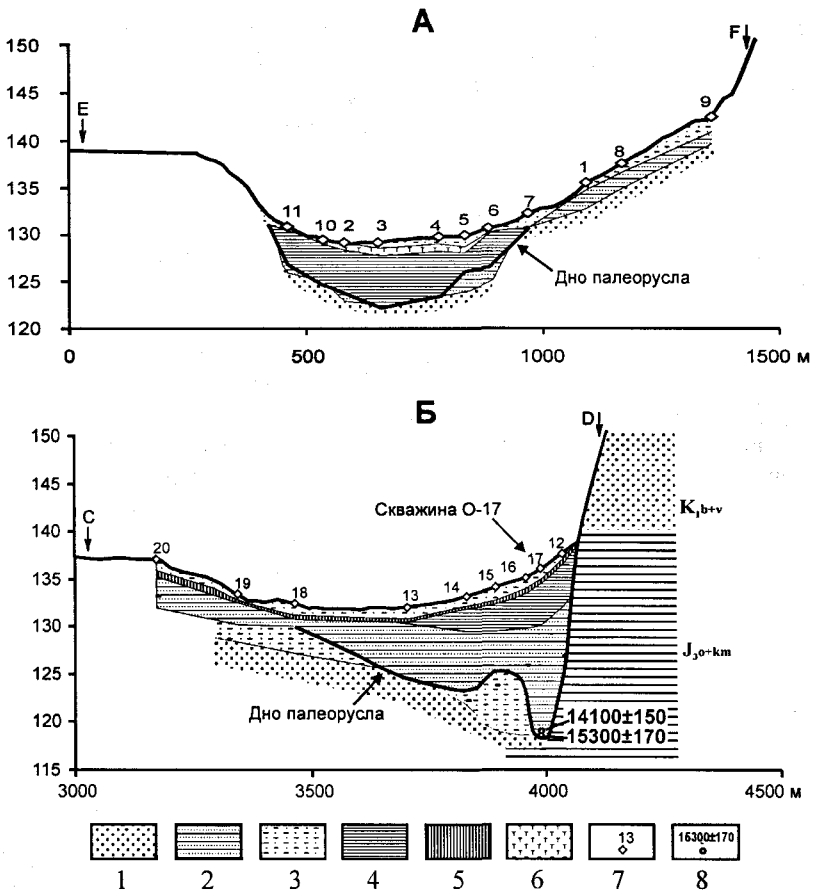


Рис. 4. Геологические профили через палеоруслу р.Москвы у с.Остров:
А – на перегибе, Б – в вершине макроизлучины.

– песок крупнозернистый, часто с галькой; 2 – песок оглиненный, супесь; 3 – алсврит, суглинок легкий; 4 – суглинок тяжелый, глина; 5 – суглинок гумусированный, местами оторфованный; 6 – торф; 7 – устья и номера скважин; 8 – положенные образцов и даты C^{14} .

Возраст макроизлучин устанавливается по радиоуглеродным датировкам аллювия. О времени активного развития палеоруслу можно было бы судить по возрасту аллювия русловой фации, однако пригодных для датирования органических остатков в ней пока обнаружить не удалось. Более информативным оказывается выполнение палеорусел, накопившееся уже после их спрямления, в старичном режиме. Даты из основания старичной фации дают весьма близкую верхнюю оценку времени отмирания палеоруслу вследствие спрямления древней излучины. Например, макроизлучина р. Москвы перестала функционировать около 15 тыс. л. н. (см. даты в основании старичного заполнения на рис. 4Б) вследствие "перепиливания" рекой шейки меандра (рис. 3). К настоящему моменту авторами получены такие оценки для 5 ключевых участков разных речных долин (табл. 1).

Табл. 1. Радиоуглеродные даты по основанию старичного заполнения палеорусел-макроизлучин

Река, пункт	Глубина от поверхности, м.	Дата, радиоуглеродных лет назад	Индекс
р. Протва, г.Боровск	5,8	13200±120	Ki-7316
	4,7	12700±110	Ki-7312
р.Сейм, дер.Кудинцево	7,0	13800 ± 85	Ki-6984
	4,6	12630 ± 70	Ki-6985
р.Свапа, дер.Семеновка	5,6	14030 ± 70	Ki-6997
	4,0	12360 ± 110	Ki-6999
р.Хопер, с.Пёски	8,3	11325±120	Ki-7680
	8,8	11030±110	Ki-7690
	10,8	10770±120	Ki-7682
р.Москва, с.Остров	17,0-17,8	15300±170	Ki-10844
	16,4	14100±150	Ki-10845

Они укладываются в интервал некалиброванного радиоуглеродного времени 11-15 тыс. л. н. В позднем дриасе макроизлучины, по-видимому, уже не развивались активно – к этому времени в некоторых долинах относятся извилистые староречья, по размерам близкие к современным руслам [16]. Менее определенно можно говорить о том, когда они начали формироваться в речных долинах. Поскольку на каждом ключевом участке датирована лишь одна из многих древних форм, всегда остается вероятность, что изученная форма – не самая древняя. Следует учесть также, что для формирования зрелой излучины требуется время. Учитывая размеры макроизлучин (стрела прогиба достигает 2-3 км и более) и влияние многолетней мерзлоты, затрудняющей размыв берегов, минимальная оценка этого времени составит 1-2 тыс. лет. Таким образом, формирование макроизлучин в долинах рек центра Русской равнины началось не позднее 16-17 (а возможно и ранее) и продолжалось до 11 тыс. л. н. Внутренняя структура этого периода – был это единый период мощного стока, целиком охвативший указанный интервал времени, или несколько относительно коротких (но не короче 1-2 тыс. л.) интервалов, разделенных периодами маловодья, – пока не ясна. Для ее выяснения необходимо накопление информации по абсолютному возрасту больших палеорусел в разных долинах Русской равнины.

Реконструкции речного стока – принципы и результаты

Параметры речного русла – ширина русла, шаг излучин, – зависят от водности реки. Базируясь на принципе актуализма, эту эмпирически установленную закономерность можно использовать для количественных реконструкций стока, что и было реализовано в ряде исследований (Г. Дьюри – [26], Н. И. Маккавеев – [24] и др.).

Для выполнения реконструкции сначала получают соответствующую зависимость для современных рек. По данным гидрометрических наблюдений на водомерных постах берут средние за многолетний период характеристики стока воды. Поскольку расходы воды изменяются в течение года в широком диапазоне, возникает проблема, какой расход воды использовать для построения связей. В теории руслового процесса предполагается, что размер макроформ русла – гряд класса побочней, излучин русла и т.п., – в наибольшей степени зависит от расхода воды в бровках поймы, который называют руслонаполняющим, однако технически его определение достаточно трудоемко. К тому же он не остается постоянным по длине даже бесприточного участка реки, сильно варьируя в зави-

симости от локальных морфологических особенностей пойменно-русового комплекса. Поэтому чаще используют другую характеристику стока – среднемаксимальный расход воды, представляющий среднее за серию лет из максимальных наблюдаемых в течение года расходов воды. Для рек с восточноевропейским (по Б. Д. Зайкову) типом водного режима, к которым относятся все реки Русской равнины, эта характеристика весьма содержательна, т.к. она выражает типичную мощность половодий, во время которых и происходят основные переформирования речных русел.

Морфометрические параметры русел измеряются по крупномасштабным картам. Эти параметры изменчивы даже в пределах коротких бесприточных отрезков реки, поэтому производятся массовые измерения, допускающие статистическую обработку. В качестве характеристики участка берется оценка математического ожидания (среднее арифметическое значение) или, поскольку распределения измерений ширины русла или шагов излучин обычно обладают правосторонней асимметрией, модальное значение. Полученные для достаточно большого числа участков разных рек размеры русел (B – ширина русла, L – шаг излучин) и величины расходов воды Q связывают уравнением регрессии. Связи получаются достаточно тесные, типичные коэффициенты корреляции 0,7-0,8. В результате получаются эмпирические формулы вида:

$$B \sim a_1 Q^{b_1}, \quad L \sim a_2 Q^{b_2} \dots (1),$$

или

$$Q \sim c_1 B^{d_1}, \quad Q \sim c_2 L^{d_2} \dots (2)$$

Из формул (2) по параметрам палеорусел, измеренным по картам и снимкам, получают оценку палеорасхода воды. При относительно небольших отличиях размеров древних русел от современных такие оценки дают правдоподобные результаты, однако применение данного подхода к макроизлучинам столкнулось с проблемами. Коэффициенты b_1, b_2 в формулах (1) получаются близкими к 0,5, а коэффициенты d_1, d_2 в формулах (2) близки к 2. С ростом размеров палеорусел реконструируемые расходы воды возрастают в квадрате. Если параметры палеорусел-макроизлучин в 10-15 раз превышают современные, реконструируемые для них расходы воды превышают современные на два порядка величин – в 100-200 и более раз. Именно к таким результатам пришел Г. Дьюри [26]. Столь высокие палеорасходы воды при неизменных площадях водосборов и отсутствии иных, кроме атмосферных, источников водного питания, объяснить трудно. Со сходной проблемой столкнулись и авторы на начальном этапе исследования проблемы макроизлучин [15].

Позднее изложенная методика была усовершенствована путем учета географической и палеогеографической информации [20, 27, 28]. Кроме того, она была адаптирована для оценки не только среднемаксимальных, но и среднегодовых расходов воды, что позволяет в дальнейшем реконструировать объем стока (оценки только среднемаксимальных расходов такой возможности не дают). Разработанная эмпирическая модель основана на связи среднегодового расхода воды Q_{cp} и ширины русла при руслонаполнении B_p , полученной для меандрирующих рек Русской равнины и Западно-Сибирской низменности:

$$Q_{cp} = 0,012y^{0,73} B_p^{1,36} \dots (3)$$

Здесь y – коэффициент сезонной неравномерности стока:

$$y = 100 (Q_{cp}/Q_{\max}) \dots (4)$$

Сезонная неравномерность стока определяется площадью водосбора (чем крупнее река, тем меньше сезонные изменения стока) и ландшафтно-климатическими условиями. При палеореконструкциях коэффициент u рассчитывается по следующей эмпирической зависимости, полученной на основе современных данных:

$$y = aF^{0,125} \dots (5)$$

В формуле (5) коэффициент a отражает географическую дифференциацию сезонной амплитуды стока. При палеогидрологических реконструкциях необходимо использовать его значения для речного бассейна - палеогеографического аналога.

Выбор бассейна-аналога представляет собой сложную задачу. Он должен удовлетворять целому ряду требований, предъявляемых к выбору аналога для гидрологических расчетов для рек при отсутствии гидрометрических данных [10]. Главным требованием является соответствие ландшафта современного речного бассейна-аналога ландшафту изучаемого бассейна времени формирования палеорусл. Обычно такого полного аналога найти не удастся, поэтому используется либо частичный аналог, где присутствует часть характеристик палеоландшафта, либо комплексный аналог, когда необходимые характеристики палеоландшафта подбираются в нескольких современных бассейнах-аналогах.

Более чем для 60 ключевых отрезков долин по всей Русской равнине по крупномасштабным картам измерена ширина палеорусел-макроизлучин. Для каждого пункта по формулам (3)-(5) рассчитаны среднегодовые расходы воды и, с учетом площади водосбора, годовой слой стока. Коэффициент a в формуле (5) определялся по данным о водном режиме рек тундры северо-востока Русской равнины ($a = 2,25$). Предположительно, этот регион с широким развитием многолетнемерзлых пород является наиболее близким гидрологическим аналогом позднего валдая на большей части Русской равнины.

Результаты позволили составить карту слоя стока (рис. 5) и на ее основе рассчитать объем стока с основных водосборных бассейнов (табл. 2). С учетом приведенных выше данных датирования палеорусел-макроизлучин, эти реконструкции относятся к периоду 11-15 (17?) тыс. л. н. по радиоуглеродной шкале.

Современный слой стока изменяется от <10 мм/год в Северном Прикаспии до 350-400 мм/год на севере региона. В позднем валдае пространственное распределение слоя стока было сходным, но различия были не столь велики – от 150 до чуть более 800 мм/год. Различия поздневалдайского и современного слоя стока минимальны на севере региона. Объем стока из бассейна Северной Двины практически не отличался от современного за счет сокращения площади водосбора, частично занятого ледником. Объем стока из других северных бассейнов – Печоры, Мезени, – превышал современный чуть более чем в полтора раза.

Близкие соотношения реконструированы в лесной зоне (верхняя Волга, Кама) и в наиболее сухой юго-восточной части региона (нижняя Волга). Максимальное превышение поздневалдайского стока над современным отмечается для лесостепей и для северной части степной зоны – более чем в 3,5 раза (бассейны Дона и Оки).

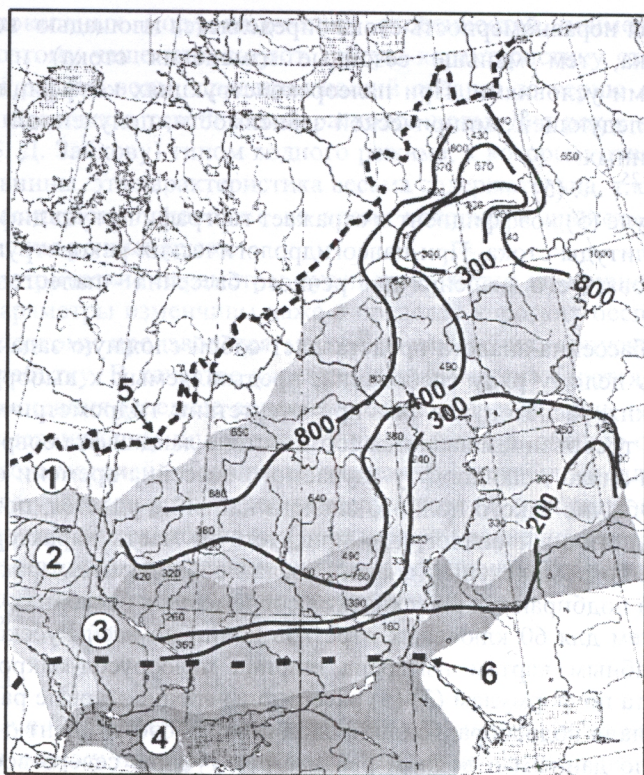


Рис. 5. Слой речного стока (реконструкция по размерам палеорусел-макроизлучин) и природная обстановка в конце позднего валдая.

Природные зоны: 1 – перигляциальная тундра, 2 – перигляциальная лесостепь, 3 – перигляциальная степь, 4 – типичная степь. Границы максимального распространения: 5 – покровного оледенения, 6 – многолетней мерзлоты.

Табл. 2. Оценка стока из основных речных бассейнов Русской равнины в конце пенигляциала-позднеледниковье (по [20], с изменениями)

Речной бассейн	Современные характеристики		Поздний валдай (реконструкция)		Q_v / Q_c
	Площадь водосбора, тыс. км ²	Сток Q_c , км ³ /год	Площадь водосбора, тыс. км ²	Сток Q_v , км ³ /год	
Сев. Двина	357	110	260*	115	1,05
Мезень	78	28	78	45	1,6
Печора	322	126	322	220	1,7
Дон	422	29	422	110	3,8
Верхняя Волга (без Оки)	234	42	173*	93	2,2
Ока	245	41	245	147	3,6
Кама	507	119	507	260	2,2
Волга ниже Оки (без Камы)	374	52	374	85	1,6
Сумма по всем бассейнам	2539	547	2381	1075	2,0
<i>р. Волга – Волгоград</i>	<i>1360</i>	<i>254</i>	<i>1299</i>	<i>585</i>	<i>2,3</i>

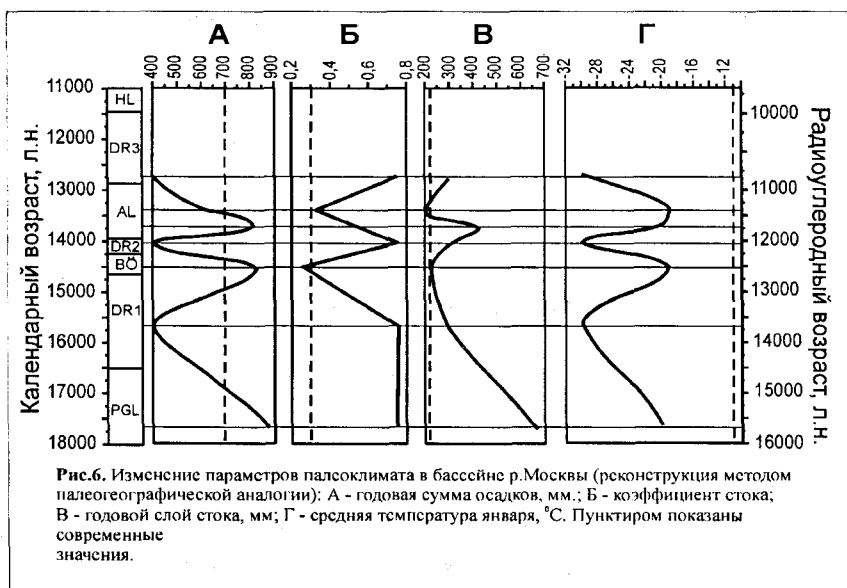
Водосборные площади оценены в соответствии с данными работ: Северная Двина – [3], Верхняя Волга – [13].

Ландшафтно-климатические условия конца позднего валдая

Изложенные результаты заставляют обратиться к палеоклиматической стороне проблемы: каковы были ландшафтно-климатические условия, поддерживавшие столь высокий сток? Авторы полагают, что основным условием формирования этого стока была высокая внутригодовая неравномерность стока (короткое высокое половодье и низкая продолжительная межень), которая приводила к малым потерям стока. Такие условия характерны для областей распространения многолетней мерзлоты, где очень высок коэффициент стока K_c (отношение слоя стока к слою осадков). Современный K_c для периода половодья в степных и лесостепных районах центра Русской равнины составляет 0,3-0,4. Если в конце позднего валдая условия здесь напоминали современные условия тундры северо-востока Европейской России и Ямала ($K_c = 0,85-0,9$), K_c был выше современного более чем в 2 раза. При современной величине осадков это должно было привести к эквивалентному росту речного стока.

Связать сток с ландшафтно-климатическими условиями позволяют палеофлористические данные [27]. В качестве примера приведем результаты, полученные на основе спорово-пыльцевого анализа 19-м ядра из скважины О-17 в палеорусле-макроизлучине р. Москвы (рис. 4). Радиоуглеродный возраст основания старичного заполнения – 15,3 тыс. л. н. Толща расчленена на 8 слоев, из которых два, охватывающие верхние 2 м толщи, относятся к голоцену. 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 – ранний и поздний, поздний дриас DR3) определен состав ископаемой флоры. По картам современных ареалов растений установлен район совместного произрастания всех выявленных компонентов флоры. Этот район принимался в качестве современного ландшафтно-климатического аналога для данного стратиграфического подразделения. С современных климатических карт для этого района снимались климатические показатели – температуры лета, зимы и среднегодовая, годовая сумма осадков, слой речного стока. Эти показатели принимались в качестве палеореконструкции для данного временного интервала.

Все районы-аналоги для доголоценовой части разреза располагаются в межгорных котловинах Алтае-Саянской области и в Ангаро-Енисейском регионе. Это районы континентального климата с очень холодной зимой, теплым летом и различным количеством осадков (как выше, так и ниже современной суммы осадков в Подмоскowie). Результаты реконструкции осадков и стока для бассейна р. Москвы приведены на рис. 6. Осадки изменялись от 400 до почти 900 мм/год (при современных 700 мм/год) и превышали современные в позднем пленигляциале, в ВÖ и в раннем AL. Сток в течение всего времени был выше современного и приближался к современному в конце AL – DR3. Изменение стока примерно соответствовало изменению осадков, но коррективы вносили изменения K_c , связанные с динамикой многолетней мерзлоты. Разная степень развития многолетней мерзлоты определяет в основном величины K_c – от 0,25 до 0,75. Так, рост осадков с 400 мм/год в DR1 до 800 мм/год в ВÖ не выразился в увеличении стока ввиду падения K_c с 0,75 до 0,27. Наивысшие осадки и сток были характерны для позднего PLG.



Полученным палеоклиматическим показателям удовлетворяет качественная модель атмосферной циркуляции в позднеледниковье, предложенная более 30 лет назад А. А. Асеевым [1]. Эта модель предполагает, что большой температурный контраст между океаном и сушей в зимнее время способствовал росту зимней циклонической активности. Циклоны проходили вдоль юго-восточного края ледникового щита, вызывая рост зимних осадков в перигляциальной области. Летом вследствие запаздывания нагревания океана от нагревания суши имело место отставание роста осадков от роста температур, что вызывало летнюю засушливость. Рост зимних осадков, следующий из этой модели, должен приводить к увеличению объема стока и расходов воды половодий. Дополнительный прирост снегонакопления можно ожидать из-за увеличения продолжительности холодного периода и соответствующего возрастания доли твердых осадков в годовой сумме. Рост половодий еще более стимулируется высокими коэффициентами стока и ускорением добегаания воды в условиях многолетней мерзлоты.

Таким образом, реконструкция высокого стока воды в позднеледниковье не противоречит ксерофильному облику растительности, установленному по составу палиноспектров. И то, и другое дополняет картину климата позднеледниковья, отличавшегося значительными сезонными контрастами. Высокий сток и засушливость характеризовали разные сезоны года. В современных условиях в центральной России именно весной происходит основное пополнение запасов грунтовых вод, которые затем постепенно расходуются в летний сезон на меженное питание рек и капиллярную миграцию в верхние почвенные горизонты. В позднеледниковье талые воды скатывались по многолетнемерзлому основанию, почти не пополняя запасы почвенно-грунтовых вод, что усугубляло летнюю засушливость. В настоящее время за период половодья в центральных областях Русской равнины проходит 60-70% годового стока воды. В позднеледниковье как доля половодья в годовом стоке, так и объем половодного стока, и величины максимальных расходов воды были выше современных. В этот период, несмотря на низкую водность рек в летнюю и зимнюю межень, годовой речной сток превышал современный.

Роль речного стока в водном балансе поздневалдайского Каспия

При ретроспективной оценке водного баланса Каспия большое значение имеет величина эффективного (видимого) испарения на акватории водоема *Иэ* (слой испарения за вычетом слоя осадков). Слой осадков обычно считается неизменным, поскольку в современных условиях он мал (порядка 170 мм/год). Современная величина *Иэ* с акватории Каспия составляет около 790 мм/год [8]. Основываясь на различных допущениях, разные исследователи для позднеплейстоценовых трансгрессий принимали значения от 430 до 650 мм/год, т. е. заметно меньше современного (рис. 7). Более современная оценка по моделям общей циркуляции атмосферы, выполненная в работе [14], показывает, что величина *Иэ* на акватории Каспия в максимум поздневалдайской ледниковой эпохи могла не отличаться от современной.



Рис. 7. Оценки эффективного испарения с акватории Каспия. В квадратных скобках – номера источников по списку литературы.

Если исходить из величины $Иэ = 800$ мм/год, для поддержания уровня моря на отметке -64 м абс. (епогаевская регрессия) суммарный сток в Каспий должен был составлять 165 км³/год, или более 50% от современного (300 км³/год), а для отметки "0" (позднехвалыньская трансгрессия) – 530 км³/год, т. е. на три четверти больше современного (рис. 8). Кроме Волги, в бассейнах других рек, впадавших в позднехвалыньский Каспий (Урал, Терек и др.) следов повышенного стока не обнаружено. Если, исходя из этого, принять их сток равным современному (около 60 км³/год – вместе с подземным), то сток Волги в эпоху поздней хвалыни должен был составлять $530 - 60 = 470$ км³/год. В случае, если эпоха формирования макроизлучин отвечает раннехвалыньской трансгрессии, по рис. 8 нетрудно установить, что при уровне моря $+50$ м абс. и видимом испарении 800 мм/год общий приток воды в Каспий должен был составлять около 740 км³/год, а сток Волги – порядка 680 км³/год (без учета возможного стока по Манычу и притока по Узбою).

Как следует из реконструкций стока по размерам поздневалдайских палеорусел, сток Волги в позднем валдае составлял около 585 км³/год (табл. 2). При точности $\pm 25\%$ и $Иэ = 800$ мм/год эта величина с равной вероятностью может удовлетворять условиям как ранней, так и поздней хвалыни. При меньших значениях *Иэ* величина стока 585 км³/год лучше подходит для условий ранней хвалыни. Уточнение оценки стока возможно путем увеличения густоты опорных точек, однако и сейчас с уверенностью можно говорить, что поздневалдайские

колебания уровня Каспия могут быть вполне объяснены стоком атмосферных вод с существующего водосбора. Гипотеза о поступлении значительных дополнительных объемов воды вследствие расширения водосбора за счет бассейнов подпруженных рек и части поздневалдайского ледникового щита представляется избыточной.

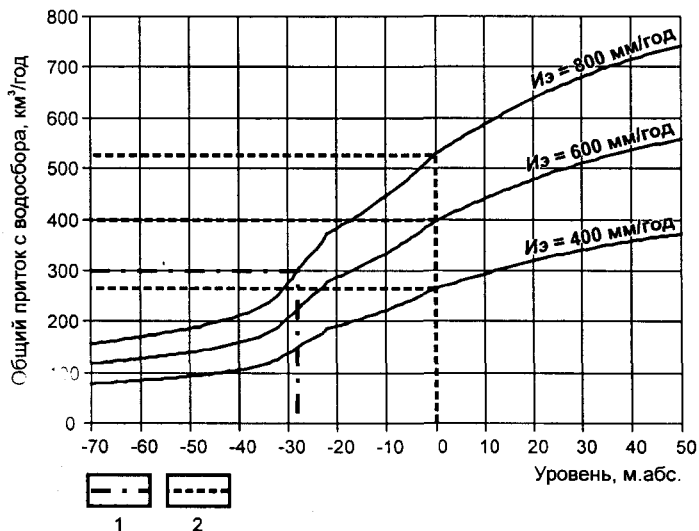


Рис. 8. Суммарный приток в Каспий, необходимый для поддержания уровня на разных отметках при разном эффективном (видимом) испарении $I_{э}$.

1 – современный сток в Каспий и соответствующий ему уровень; 2 – сток в Каспий в максимум позднесвалынской трансгрессии при разных величинах $I_{э}$.

Выводы

Почти 40 лет назад И. А. Волковым на основе материалов по Западной Сибири было высказано мнение, что "большинство геологов-четвертичников и геоморфологов недооценивает размах климатических колебаний во внеледниковой полосе" [7, с.102]. Данные по Русской равнине позволяют присоединиться к этому мнению. В долинах рек Русской равнины имеются морфологические следы речного стока, значительно превышавшего современный. Они относятся ко времени 11-15 (17?) тыс. л. н. (по радиоуглеродной шкале). Объяснение целого ряда геоморфологических особенностей речных долин невозможно без учета руслоформирующей деятельности мощного стока в позднеледниковье. В этот период образовались характерные элементы морфологии речных долин, которые для условий голоцена и современных являются реликтовыми – гигантские староречья-макроизлучины, системы крупных пойменных грив, во многих случаях – широкие поймы. Высокий сток объяснялся малыми потерями стока при коротком мощном половодье в условиях развития многолетней мерзлоты (и потому больших коэффициентов стока), повышенным снегонакоплением за счет близкой к современной или несколько большей интенсивности зимних осадков и увеличения продолжительности холодного сезона. Высокий сток был сезонным – мощное половодье и маловодная межень. Общим ростом годового речного стока объясняется трансгрессивное состояние внутренних бессточных водоемов (Каспий).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 03-05-64021

Литература

1. *Асеев А. А.* Эволюция климата ледниковых эпох в европейской области материкового оледенения и его перигляциальной зоне // Тепловая мелиорация северных широт (под ред. Г. А. Авсюка). М.: Наука, 1973. С.143-171.
2. *Бабкин А. Н.* Увлажнение областей внутреннего стока Евразии (на примере бассейнов Аральского моря, Каспийского моря и озера Балхаш). Авт. дисс. д.г.н. СПб, 2005. 41с.
3. *Вальчик М. А., Маккавеев А. Н., Фаустова М. А., Шупричинский Я.* Формирование гидросети Польши и Европейской части России в процессе дегляциации // Палеогеографическая основа современных ландшафтов. М.: Наука, 1994. С.40-53.
4. *Варуценко С. И., Варуценко А. Н., Клизе Р. К.* Изменение режима Каспийского моря и бессточных водоемов в палеовремени. М.: Наука, 1987. 238 с.
5. *Волков И. А.* К истории речных долин юга Западно-Сибирской низменности // Четвертичная геология и геоморфология Сибири. Новосибирск: Наука, 1962. С.34-47.
6. *Волков И. А.* Следы мощного стока в долинах юга Западной Сибири // ДАН СССР. 1963. Т.151. №3. С.648-651.
7. *Волков И. А.* Новое в изучении следов деятельности рек и изменений климата // Методы геоморфологических исследований. Т.1. Новосибирск: Наука, 1967. С.97-104.
8. *Голицин Г. С., Панин Г. Н.* О водном балансе и современных изменениях уровня Каспия // Метеорология и гидрология. 1989. №1. С.57-64.
9. *Гричук М. П., Гричук В. П.* О приледниковой растительности на территории СССР // Перигляциальные явления на территории СССР. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1960. С.66-100.
10. *Евстигнеев В.М.* Речной сток и гидрологические расчеты. М., Изд-во МГУ, 1990. 304 с.
11. *Калинин Г. П., Марков К. К., Суетова И. А.* Колебания уровня водоемов Земли в недавнем геологическом прошлом. Часть I // Океанология. 1966. Т.VI. Вып.5. С.737-746.
12. *Каплин П.А., Леонтьев О.К., Рычагов Г.И. и др.* Хронология и палеогеография плейстоцена Понто-Каспия // Палеогеография и отложения плейстоцена южных морей СССР. М.: Наука, 1977. С.33-41.
13. *Квасов Д. Д.* Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука, 1975. 278 с.
14. *Кислов А. В., Суркова Г. В.* Колебания видимого испарения с акватории Каспийского моря и изменения его уровня в голоцене и позднем плейстоцене // Вестник Моск. ун-та. Сер.5. География. 1996. №2. С.75-83.
15. *Панин А. В., Сидорчук А. Ю., Чернов А. В.* Макроизлучины рек ЕТС и проблемы палеогидрологических реконструкций // Водные ресурсы. 1992. №4. С. 93-96.
16. *Панин А. В., Сидорчук А. Ю., Баслеров С. В., Борисова О. К., Ковалюх Н. Н., Шеремецкая Е. Д.* 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.
17. *Рычагов Г. И.* Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: МГУ, 1997.267 с.
18. *Свиточ А. А.* Уровненный режим Каспийского моря по палеогеографическим данным // Водные ресурсы. 1997. Т.24. № 1. С.13-22.
19. *Сидорчук А. Ю., Борисова О. К., Панин А. В.* Поздневалдайские палеоруслу рек Русской равнины // Известия РАН. Сер. геогр. 2000а. №6. С.73-78.
20. *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 палеоруслowego анализа) // Эрозия почв и русловые процессы. Вып.12. М.: МГУ, 2000б. С.196-230.
21. *Федоров П. В.* Плейстоцен Понто-Каспия. М.: Наука, 1978. 166 с.
22. *Чалов Р. С.* Формирование рельефа пойм меандрирующих рек //Геоморфол. 1973. №2.
23. *Чалов Р. С., Завадский А. С., Панин А. В.* Речные излучины. М.: МГУ, 2004. 370 с.
24. Экспериментальная геоморфология. Вып.2. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1969.
25. *Dury G. H.* Contribution to a general theory of meandering valleys // Am.J.Sci. 1954. V.252. №4. P.193-224.
26. *Dury G. H.* General theory of meandering valleys // US Geol. Surv. Prof. Pap. 452-A, 1964, 67 p. 452-B, 1964, 56 p. 452-C, 1965, 43 p.
27. *Sidorchuk A. Yu., Borisova, O. K.* Method of paleogeographical analogues in paleohydrological reconstructions // Quaternary International. 2000. V.72. №1. P.95-106.
28. *Sidorchuk A. Yu., Borisova O. K., Panin A. V.* Fluvial response to the late Valdai/Holocene environmental change on the East European Plain // Global and Planetary Change. 2001. V.28. P.303-318.