

РЕСУРСЫ, РЕЖИМ ВОД СУШИ, ПРОГНОЗ ИХ ИЗМЕНЕНИЙ

УДК [556.537.551.435.162] (282.247.33)

РЕЧНАЯ СЕТЬ И ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕГО ДОНА

© 1997 г. А. В. Панин, Н. Н. Иванова, В. Н. Голосов

Московский государственный университет

119899 Москва, Воробьевы горы

Поступила в редакцию 31.05.96 г.

На основе анализа разновременных карт рассматривается смещение истоков рек в бассейне верхнего Дона в последние 200 лет. Исчезновение малых рек исследуется в контексте естественных климатических колебаний, на которые в современную эпоху накладывается антропогенно обусловленное увеличение потока наносов, ведущее к заилению рек. Полевыми и расчетными методами оценены темпы аккумуляции наносов в речных долинах за период интенсивного сельскохозяйственного использования земель.

Еще в конце прошлого столетия В.В. Докучаев обратил внимание на процессы трансформации поверхностного стока и исчезновения небольших постоянных водотоков, сопутствующие расширению площади пахотных земель [16]. Это стало началом изучения неблагоприятных явлений, происходящих в верхних звеньях речных систем, и роли человека в этих процессах. В современном толковании проблема деградации малых рек объединяет весьма широкий круг вопросов, который тематически можно подразделить на две части.

К первой из них относятся вопросы уменьшения ресурсного потенциала (потребительской ценности) данного типа водных объектов (ухудшение качества воды, обмеление рек, заиление русел и т.д.) Установлено, что в бассейнах рек со значительной площадью пашни фиксируется более высокий модуль стока наносов по сравнению со слабо преобразованными водосборами [15]. Возрастание мутности рек приводит к избыточному накоплению в руслах тонких фракций наносов. Районирование Русской равнины по состоянию малых и средних рек [37] выявило прямую зависимость степени заиления русел от интенсивности сельскохозяйственного использования территории. Некоторые зарубежные исследователи прослеживали динамику заиления русла и увеличения мутности воды по мере распашки территории [42, 43].

Ко второй группе относятся вопросы отмирания малых рек (исчезновение постоянных водотоков в верхних речных системах с превращением речных долин в суходолы). С XVII–начала XIX вв. (в зависимости от начала массовой распашки земель) по настоящее время отмирание малых рек, достигающее более половины от первоначальной протяженности речной сети, зафиксировано

в целом ряде регионов Русской равнины [4, 10, 11, 21, 22, 24, 25, 39 и др.]. Интересно отметить, что этот процесс относительно слабо проявляется в гумидной зоне (южная тайга), но в семиаридных условиях (лесостепь, степь) имеет выраженный региональный характер [12, 13].

Отсутствие масштабных климатических изменений в последние 150–200 лет [23] позволило большинству авторов увязывать исчезновение малых рек с антропогенным воздействием на речные водосборы. Так, подземный водозабор, особенно интенсивный в горно-промышленных регионах, способствует возникновению депрессионных воронок и уменьшению грунтового питания рек. Если депрессионная воронка охватывает более половины площади малого водосбора, подземная составляющая стока перехватывается практически полностью, что ведет к пересыханию реки в межень [6]. К аналогичным последствиям приводит и осушительная мелиорация. Однако и в том, и в другом случае речь идет о явлениях, охватывающих относительно небольшие по площади пространства.

Существенный антропогенный фактор регионального действия – земледелие. Наблюдения за гидрологическим режимом водосборов с разными ландшафтными характеристиками позволяют определить два основных фактора, влияющих на состояние речной сети.

Во-первых, это уменьшение меженного питания рек в связи с обеднением верхних горизонтов подземных вод после сведения лесной растительности [14]. Вопрос о гидрологической роли леса не может считаться закрытым. Так, в [8] показано, что влияние лесной растительности на общий объем годового стока зависит от общих ландшафтных условий и расположения лесных массивов внутри водосбора. В большинстве случаев

сведение лесов приводит к увеличению внутригодовой неравномерности стока, в частности уменьшению летнемеженного стока, вплоть до полного пересыхания малых водотоков [38].

Во-вторых, это повышенное поступление наносов с распаханых водосборов, приводящее к заилению русел, захоронению русловых и пойменных выходов грунтовых вод и переходу части поверхностного стока в грунтовый [10, 26].

Для понимания механизма и основных причин сокращения речной сети, наблюдаемой в региональном масштабе, необходимо проследить за изменением этого процесса во времени и сопоставить его с развитием других явлений, увеличение интенсивности которых обусловлено ростом площади пахотных земель на речных водосборах.

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИИ

Площадь бассейна Дона выше впадения р. Красивой Мечи 6100, а площадь бассейна р. Красивой Мечи 6000 км². Территория расположена на северной периферии зоны лесостепей и характеризуется преимущественно черноземными почвами и среднегодовым количеством осадков 450–550 мм при испаряемости 550–600 мм/год. Реки дренируют северный край Среднерусской возвышенности, сложенный в основном карбонатными девон-каменноугольными породами, перекрытыми маломощным чехлом четвертичных отложений. Суммарная протяженность долинно-балочной сети 8100 км.

Абсолютные высоты бассейна, в среднем составляющие 220 м, снижаются к востоку. В этом же направлении убывает густота долинно-балочной сети, которая в бассейне р. Красивой Мечи составляет 0.76, а в бассейне Дона – 0.58 км/км² (в среднем 0.67 км/км²). Ниже слияния этих рек долина р. Красивой Мечи седьмого порядка, а долина Дона – шестого. Порядок здесь и далее исчисляется с самых верхних бесприточных элементов долинно-балочной сети по системе Хортон-Стралера: он увеличивается на единицу при слиянии с однопорядковой долиной. Таким образом,

Таблица 1. Изменения распаханности территории в пределах современных границ Тульской обл.

Год	Площадь пашни, %	Источник
1696	64	[30]
1776–1780	68.5	[2]
1852	71	[9]
1887	74	[35]
1912	66	[34]
1956	68	[28]
1971	62	[29]
1982	61	Данные авторов

исчезновение и появление водотоков не приводит к изменению порядка долин.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОГО ОСВОЕНИЯ РЕГИОНА

Несмотря на благоприятные агроклиматические ресурсы, территория верховий Дона не относится к самым староосвоенным регионам европейской части России. В XII в. плотность населения Черноземного центра не превышала 1–2 чел/км², а с началом монгольского нашествия черта оседлости отодвинулась на север, за Оку [18]. Лишь к началу XVI в. Московское государство стало продвигаться на юг по лесостепным верховьям Оки и Дона, но земледельческая колонизация региона долгое время сдерживалась угрозой татарских набегов [32]. До середины XVII в. крымские татары неоднократно опустошали лесостепную окраину России. В 1636 г. началось строительство город-крепостей новой укрепленной линии Белгород–Воронеж–Тамбов (“Белгородская черта”), отделявших вновь приобретенные области от так называемого дикого поля. Шло массовое освоение защищенных от набегов земель. К этому времени можно относить и начало широкомасштабного земледельческого освоения территории Черноземного центра к югу от “Тульской черты”, распаханность которой возросла с 4 (1630 г.) до 19% (1696 г.) [7].

В [36] на основании данных о численности населения установлено, что доля распаханых земель в Тульской губернии в 1696 г. составила 64%, т.е. более половины земель было освоено в течение нескольких последних десятилетий XVII в. В дальнейшем постепенный прирост пашни шел за счет распашки прибалочных и придолинных склонов (табл. 1). Первые документальные данные о распределении угодий (68.5% пашни) получены благодаря Генеральному межеванию, проводившемуся в Тульской губернии в 1776–1780 гг. [1]. Максимум пахотного клина был зафиксирован в последней четверти XIX в. Его рост в XIX в. был обусловлен распашкой нижних участков приводораздельных склонов, склонов и днищ долин и балок [40, 41] – наиболее эрозионноопасных частей водосборов. Поэтому, несмотря на относительно небольшой прирост пашни, поток наносов, попадавших в верхние звенья гидрографической сети, существенно возрастал за счет уничтожения “буферных зон” между пашней и руслами рек. К началу первой мировой войны площадь пашни стала сокращаться за счет отторжения непригодных для обработки земель, пораженных активизировавшейся овражной эрозией. Эта тенденция отмечалась и в течение XX в. (табл. 1).

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСФОРМАЦИИ РЕЧНЫХ СИСТЕМ

Процессы трансформации речных систем изучаются методом сравнения сети постоянных водотоков, изображенных на разновременных топографических картах. В данной работе использовались следующие серии карт: Карты Генерального межевания 1776–1780 гг. (М 1 : 126000), Специальная карта Западной части Российской Империи, выгравированная в военно-топографическом депо под руководством генерал-лейтенанта Ф. Шуберта в 1826–1839 гг. (М 1 : 420000), военно-топографические карты, составленные на основании результатов съемки Генерального штаба 1860-х гг. (М 1 : 126000), Карты Экспедиции по исследованию источников главнейших рек Европейской России, проводившейся под руководством акад. А.А. Тилло на рубеже столетий (М 1 : 126000) [40, 41], военно-топографические карты конца 1940-х–начала 1950-х гг. (М 1 : 300000) (данная серия карт получена фотографическим уменьшением карт М 1 : 100000; причем, как следует из прямых сопоставлений, гидрографическая сеть практически не генерализуется), топографические карты конца 1970-х–начала 1980-х (М 1 : 100000–1 : 200000).

Каждая серия карт составлялась в течение ряда лет. Поэтому для каждой из них выбраны условные моменты времени составления (соответственно: 1780, 1830, 1860, 1895, 1950 и 1980 гг.). Целиком территория исследуемых бассейнов была закартирована в 1830, 1950 и 1980 гг.

Поскольку очертания водных объектов могут существенно меняться в ходе сезонного гидрологического цикла, для их сравнения необходимо использовать некоторое стандартное состояние водотока. В качестве такового при составлении современных карт принимается наиболее низкое стояние уровней воды периода открытого русла – летней межени, и все водотоки “сортируются” на постоянные и временные (пересыхающие). Изучение архивных материалов показывает, что данное правило действовало уже в период кампании по Генеральному межеванию. Об этом свидетельствует текст правительственной инструкции о производстве землемерных работ [27], которая служила нормативным документом для производства полевых изысканий и последующего составления межевых карт. Из этой инструкции следует также, что съемке водных объектов и эрозионных форм уделялось особенно пристальное внимание, так как они часто служили границами владений (овражные земли относились к категории неудобий с соответствующим снижением земельного налога, а доступ к водоемам часто был поводом земельных конфликтов). Таким образом, гидрографические объекты на государственных

картах по крайней мере с конца XVIII в. изображались достаточно детально, по единому стандарту. Следовательно, при сравнении разновременных карт не должно быть систематических ошибок, связанных с различиями методик картосоставления.

Так как уровни подземных вод и подземный сток в реки обладают достаточной инерционностью, можно предполагать, что массовое смещение истоков рек, в случае если оно фиксируется на разновременных картах, отражает изменения условий окружающей среды с характерным временем, по крайней мере в несколько десятилетий. Для избежания ошибок, связанных с плановыми искажениями на старых картах, гидрографическая сеть с этих карт переносилась на каркас тальвегов, снятый с современной топографической основы. Затем она оцифровывалась, и дальнейшая обработка проводилась в среде Mapinfo 3.0.

Сопоставление разновременных карт выявило значительное сокращение речной сети за последние 200 лет (рис. 1). Общая протяженность рек на территории бассейна (без Липецкой обл.) в 1780 г. составляла 3747 км, а в 1980 г. лишь 1550 км, т.е. уменьшилась на 59%. Полное исчезновение рек отмечено в долинах первого–четвертого порядков. Установлено, что с ростом порядка долин масштабы исчезновения рек уменьшаются, в долинах пятого и более высоких порядков протяженность водотоков не изменилась (табл. 2). В результате трансформировалась и структура гидрографической сети. Так, реки в долинах первого и второго порядков (соответственно 55 и 22% суммарной протяженности долин) в 1780 г. составляли соответственно 29 и 27% общей протяженности речной сети, а в 1980 г. – 5 и 14%. На долины первого порядка в конце XVIII в. приходился максимум суммарной протяженности рек. Через полвека он сместился в долины третьего порядка, а к середине XX в. – в долины четвертого порядка.

Пространственная и временная дифференциация процесса анализируется по бассейнам четвертого–пятого порядка площадью ≥ 200 км², что

Таблица 2. Протяженность постоянных водотоков в разном порядковых долинах бассейна верхнего Дона (числитель – % суммарной длины речной сети, знаменатель – % суммарной длины долин соответствующего порядка)

Год	Порядок долин				
	1	2	3	4	5
1780	28.9/26	26.9/63	19.6/92	11.8/100	4.6/100
1830	18.6/12	22.6/36	24.3/75	16.6/96	6.3/100
1950	4.5/1	14.7/12	19.5/32	26.9/80	12.1/100
1980	5.5/2	13.8/12	23.7/41	25.3/82	11.1/100

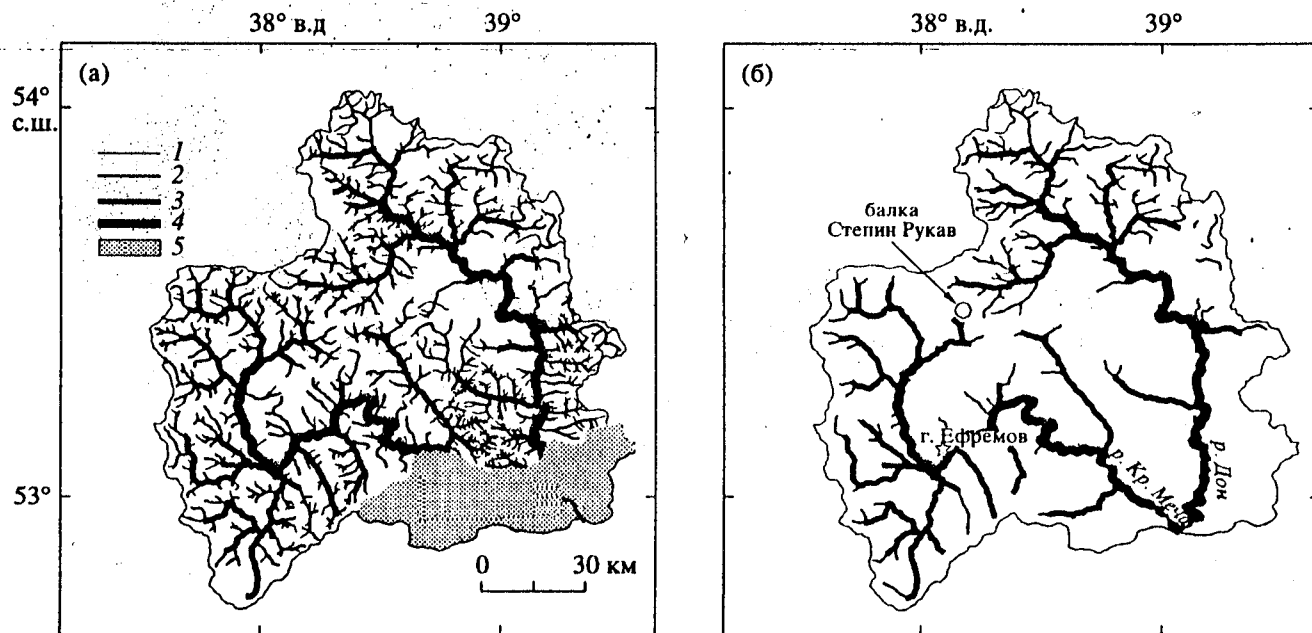


Рис. 1. Сеть постоянных водотоков бассейна верхнего Дона в 1780 (а) и 1980 гг. (б). Порядок долин: 1 – первый, 2 – второй–третий, 3 – четвертый–пятый, 4 – шестой–седьмой, 5 – отсутствие данных.

позволяет путем осреднения сгладить случайные вариации получаемых значений. Бассейн верхнего Дона четко разделяется на ряд областей по проценту сокращения речной сети (рис. 2). Для центральных и юго-восточных частей территории сокращение превышает 50%. Здесь имеются бассейны, полностью потерявшие сеть постоянных водотоков (часть левых притоков Дона). К северу и к западу сокращение речной сети постепенно уменьшается. В самых верховьях Дона и бассейне р. Сукромной общая протяженность и положение истоков рек за 200 лет практически не изменились. При анализе причин подобных пространственных различий прежде всего обращает на себя внимание тот факт, что рассматриваемая территория – своего рода северный анклав лесостепи и процент исчезнувших водотоков уменьшается по направлению к границе с лесной зоной. Определенная связь имеется, по-видимому, и с геологическими условиями. В верховьях Дона дренируемая территория – плоская равнина с сильной заболоченностью, вызванной близким залеганием тяжелых по механическому составу среднечетвертичных озерных и озерно-ледниковых отложений. Наиболее интенсивное сокращение (практически полное исчезновение) протяженности рек произошло ниже по течению Дона в бассейнах его притоков, вскрывающих мощные дочетвертичные песчаные толщи.

Суммарная протяженность постоянных водотоков в пределах каждого бассейна показана на рис. 2 в виде черных столбиков, выстроенных во временной последовательности. Высота столби-

ка пропорциональна доле долин (% общей протяженности долинной сети), имеющих постоянный водоток в соответствующий период времени. Залитый крапом столбик означает отсутствие картографической информации для данного интервала времени.

Отношение суммарной протяженности отрезков долин, имеющих постоянный водоток, к суммарной протяженности долинной сети на определенной территории будем называть относительной длиной рек (ОДР). Эта нормированная величина может использоваться для сравнительного анализа состояния речной сети как в пространственном, так и во временном аспектах. Значение густоты долинно-балочной сети, которая в центральных и южных регионах Русской равнины имеет достаточно древний, по крайней мере довалдайский, возраст, – инвариантная характеристика территории. Овражные врезы, большая часть которых антропогенного происхождения, не выделяются на среднемасштабных картах и не представлены в общем каркасе тальвегов.

Анализ ОДР (рис. 2) показывает, что на большей части территории основной этап сокращения протяженности рек приходится на конец XVII–первую половину XIX в. Минимальная протяженность постоянных водотоков отмечается в начале–середине XX в., а в его второй половине наблюдается стабилизация или небольшое увеличение протяженности речных систем (даже при том, что водотоки, показанные на современных картах пунктиром, т.е. как временные, здесь не учитываются). Эта тенденция прослеживается по

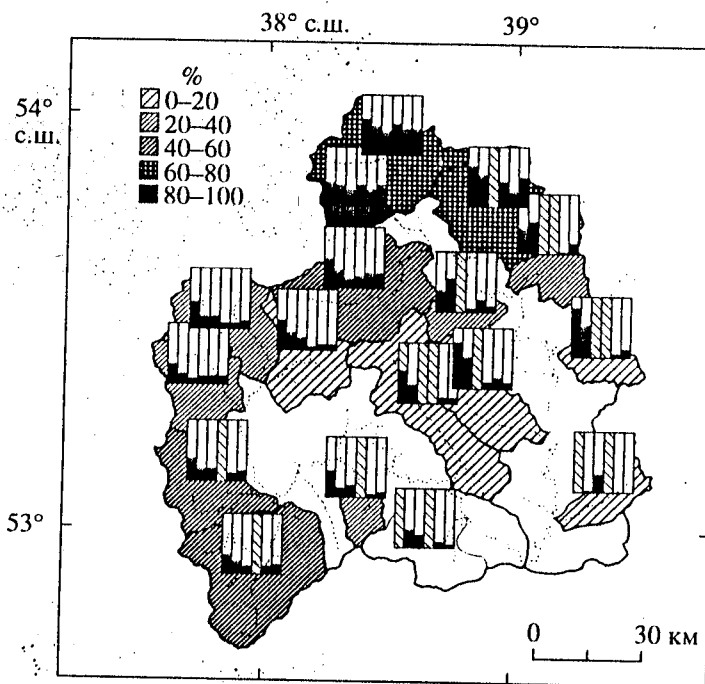


Рис. 2. Протяженность речной сети в бассейнах четвертого–пятого порядков в 1980 г. (% таковой в 1780) и ее изменение во времени.

долинам всех низких порядков. Долины первого–пятого порядков составляют соответственно 54,9, 21,9, 11,0, 6,2 и 2,2% общей протяженности долинной сети. 200 лет назад наибольшая доля постоянных водотоков приходилась на долины первого порядка, а к середине XX в. максимум сместился на долины четвертого порядка (табл. 2). Если 200 лет назад на долю постоянных водотоков приходилось более четверти всей протяженности долин первого порядка, более половины долин второго порядка и более 90% долин третьего порядка, то к середине XX в. в долинах первого порядка реки практически исчезли, превратившись в сухие долины – балки. В долинах второго и третьего порядков аналогичное сокращение составило соответственно до одной десятой и одной трети их протяженности. Частично этот процесс распространился и на долины четвертого порядка, в конце XVIII в. полностью занятые постоянными водотоками (табл. 2). К 1980-м гг. длина рек в долинах первого и второго порядков стабилизировалась, в долинах третьего порядка она возросла существенно (в меньшей степени – в долинах четвертого порядка, но в них и сокращение было относительно небольшим).

АККУМУЛЯЦИЯ НАНОСОВ В ДОЛИННО-БАЛОЧНОЙ СЕТИ

Ввиду высокой степени земледельческого освоения территории основной фактор перераспре-

деления наносов внутри бассейна верхнего Дона – антропогенная эрозия почв. С распаханых склонов происходит смыв почвогрунтов. Активизированный материал частично переоткладывается на более низких гипсометрических уровнях внутри бассейна (на придолинных склонах, на бортах долин, в днищах балок, на поймах и в руслах рек), а частично выносится за пределы бассейна с речным стоком.

Поскольку на карте представлена информация лишь о наличии либо отсутствии водотока на конкретном отрезке долины, проследить изменение состояния водотока можно только путем натурных наблюдений. Подробное описание долин и балок в верховьях Дона и р. Красивой Мечи имеется в трудах экспедиции Тилло, работавшей в этом районе в 1894 г. [40, 41]. Летом 1994 г. авторы исследовали морфологию долин и состав руслового аллювия в верховьях Дона до устья р. Непрядвы и в бассейне р. Красивой Мечи до устья р. Птань (94 участка долин с площадью бассейна 2–150 км²) с целью изучения изменения состояния водотоков за прошедшее столетие. На основе классификации русел по стадиям заиления [17] каждая долина по состоянию на 1894 и 1994 гг. была отнесена к одной из трех групп: с нормально функционирующим водотоком, с заиленным руслом, с отмирающим либо полностью отмершим водотоком. В каждую группу по состоянию на текущий момент попало около трети

обследованных участков. Было установлено, что доля заиленных и отмерших водотоков уменьшается с ростом размера долины: в долинах с площадью бассейна $>100 \text{ км}^2$ почти 90% водотоков относятся к нормально функционирующим, а отмершие в них вообще не встречаются, в то время как при площади бассейна $<25 \text{ км}^2$ отмирание водотоков характерно для половины долин. По сравнению с 1894 г. большая часть водотоков осталась в прежнем состоянии, а примерно пятая часть перешла от нормального к заиленному или отмирающему; случаев обратной эволюции (улучшения состояния) не отмечено. Эти данные свидетельствуют о том, что, несмотря на практически полное прекращение деградации речной сети в последние 100 лет (рис. 2), самовосстановления малых рек не наблюдается, более того в ряде случаев продолжается их заиление.

Представляет интерес количественная оценка темпов аккумуляции наносов. Их систематические натурные измерения не проводятся, однако возможна расчетная оценка, основанная на составлении баланса наносов. Приходная часть баланса оценена по картам смыва почв и овражной эрозии на европейской территории России (М 1 : 1500000 и 1 : 2500000 соответственно), составленным в научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов МГУ. Годовое поступление наносов в данный бассейн S_{y_i} рассчитывается как сумма средневзвешенных (по территории) объемов наносов, сформировавшихся за счет склоновой и овражной эрозии на площади бассейна F . Поскольку на изучаемой территории пашня обычно доходит как минимум до бровок долин, допускается, что все эти наносы достигают долинной сети. В долины второго и более высоких порядков часть наносов поступает непосредственно с опирающихся на них водораздельных склонов, а часть – из притоков. Поступление наносов со склонов можно оценить как разность между сносом вещества с территории бассейна в целом и суммарным сносом в бассейнах притоков. Расходная часть – наносы S_{d_i} , транспортируемые через устьевой створ. Они одновременно входят в приходную часть баланса наносов для следующего звена флювиальной системы. Объем аккумуляции A_{v_i} на i -м отрезке долины определяется из соотношения:

$$A_{v_i} = \left(S_{y_i} - \sum_k S_{y_{k,i}} \right) + \sum_k S_{d_{k,i}} - S_{d_i}, \text{ или} \quad (1)$$

$$A_{v_i} = S_{y_i} - \sum_k (S_{d_{k,i}} - S_{y_{k,i}}) - S_{d_i};$$

где $S_{y_{k,i}}$, $S_{d_{k,i}}$ – соответственно общий снос с территории бассейна k -го притока и транспорт наносов через его устьевой створ.

Таким образом, расчет баланса наносов для отрезка долины помимо оценки поступления наносов со склонов, опирающихся непосредственно на этот отрезок, включает в себя еще и итерационную процедуру – расчет поступления, аккумуляции и выноса наносов из верхних звеньев флювиальной сети, выступающих в качестве промежуточных коллекторов части стока наносов. Поскольку второй член в правой части формулы (1) – суммарная аккумуляция в этих звеньях, для долин первого порядка соотношение упрощается:

$$A_{v_i} = S_{y_i} - S_{d_i}.$$

С увеличением площади водосбора растет суммарная емкость промежуточных коллекторов, в результате чего уменьшается доля наносов, достигающих замыкающего створа, – коэффициент доставки наносов D_r . Зная D_r и объем сноса вещества с территории i -го водосбора, можно оценить сток наносов в его замыкающем створе:

$$S_{d_i} = S_{y_i} D_r. \quad (2)$$

Для 13 крупных и средних рек бассейна Дона (площади водосборов $550\text{--}45000 \text{ км}^2$) с известными по измерениям Гидрометслужбы среднеголетними значениями стока взвешенных наносов рассчитаны годовые значения склоновой и овражной эрозии. Для этого использованы также результаты полевых измерений, проводимых на пяти малых водосборах в степной и лесостепной зонах европейской территории России [7]. С помощью этих данных методом наименьших квадратов получена эмпирическая связь, замыкающая расчетную модель:

$$D_r = 0.65 F^{-0.27}. \quad (3)$$

Процедура (1)–(3) была реализована с помощью технологии цифрового картографирования для бассейна р. Красивой Мечи выше г. Ефремова, где имеется единственный на изучаемой территории гидрологический пост, на котором проводились многолетние измерения стока наносов. В результате получены значения сноса и аккумуляции твердого вещества в иерархии вложенных друг в друга водосборных бассейнов. Средние значения этих величин для бассейнов и отрезков долин разного порядка представлены в табл. 3. Связь объемов годовой аккумуляции наносов A_{v_i} , т/год, на единицу длины долины L с площадью водосбора выражается зависимостью $A_{v_i}/L = 230 F^{0.34}$. Для вычисления слоя аккумуляции в тальвегах долинной сети использована эмпирическая связь ширины дна долины B_b с площадью

Таблица 3. Осредненная расчетная оценка поступления и накопления агрикультурных наносов в долинной сети (прочерк – оценка не проводилась)

Характеристика сети	Порядок долин				
	1-2	3	4	5	6
Число бассейнов	619	68	17	8	2
Средняя площадь бассейна	3.8	27	134	572	1587
Средняя длина главной долины, км ²	3.1	4.2	10.8	17.0	20.9
Средняя ширина дна долины, м	11	31	83	176	328
Поступление наносов, т/год					
с междуречий	–	2300	7000	17000	21000
из притоков	–	3600	14000	43000	82000
суммарное	1.800	5900	21000	60000	103000
Аккумуляция наносов в долинах*	<u>1200</u> 303	<u>3200</u> 750	<u>12 500</u> 1150	<u>32 500</u> 1910	<u>47 000</u> 2250
Аккумуляция в днище, мм/год					
наносы только из притоков	–	5.3	4.8	4.3	3.2
наносы и с междуречий, и из притоков	27	20	12	8.9	5.7

*В числителе – т/год, в знаменателе – т/(км год).

водосбора:

$$V_b = 3.8F^{0.6} \quad (4)$$

(для долин с площадью водосбора >100 км² использованы данные [26] и измерения по среднемасштабным топокартам, а для малых долин – данные полевых наблюдений).

Оценка годового слоя аккумуляции в днищах с использованием (4) зависит от объема аккумуляции наносов на бортах долины и может быть проведена по нижнему и верхнему пределам соответственно, если материал, поступающий в долину непосредственно с междуречных склонов, полностью задерживается на бортах долины и единственный источник наносов – их поступление из притоков, и если весь материал, поступающий с междуречий, достигает дна долины. Разница полученных оценок уменьшается для более крупных долин (табл. 3), так как снижается доля склоновых источников наносов. При площади водосбора >1500 км² они составляют лишь 20% общего поступления наносов, но и при этом нижняя и верхняя оценки слоя аккумуляции различаются более чем в 1.5 раза (табл. 3). Следовательно, ключевой момент в увеличении точности оценки темпов аккумуляции в днищах долин – оценка транзитности (пропускной способности) долинных склонов. Она уменьшается с ростом порядка долин, так как при этом обычно возрастает глубина вреза, а следовательно, и длина бортов. Обычно уже при 100-метровой ширине залуженная или залесенная полоса (“буферная зона”) полностью перехватывает наносы со склонов [25].

Часть же потока наносов уходит в бортовые овраги и тем самым минует буферные зоны. Кроме того, если позволяет крутизна долинных склонов, пашня часто спускается до дна долин.

В бассейне р. Красивой Мечи вследствие широкого распространения реликтового и современного меандрирования пологие и крутые участки бортов часто чередуются в шахматном порядке и до половины долинных склонов распахивается. Если исходя из этого принять коэффициент транзитности бортов долинной сети равным 0.5, а плотность отложений наносов – 1.2 т/м³ (согласно [25]), средние скорости аккумуляции в днищах долин третьего–шестого порядков будут составлять соответственно 12.7, 8.4, 6.6 и 4.5 мм/год.

Эта оценка не противоречит результатам натурных исследований в детально изученной долине третьего порядка (балка Степин Рукав). Согласно радиоизотопным измерениям, за 40 лет (с 1954 г., когда начались первые ядерные испытания в открытой атмосфере и в почвогрунты стал поступать ¹³⁷Cs) в ее днище накопился слой наносов средней мощностью 50–60 см, т.е. темпы аккумуляции составили 12–15 мм/год. Относительное постоянство площади пашни в последние 200 лет (табл. 1) допускает ретроспективную экстраполяцию полученных оценок скорости аккумуляции. Средние значения слоя аккумуляции агрикультурных наносов за 200 лет, рассчитанные подобным способом, составили 2.5, 1.7, 1.3 и 0.9 м соответственно для долин третьего–шестого порядков (в днище балки Степин Рукав за весь пери-

од сельскохозяйственного освоения накопилось в среднем 1.8–2.0 м наносов).

ПРИЧИНЫ ИСЧЕЗНОВЕНИЯ МАЛЫХ РЕК

Степень преобразования естественной растительности и темпы эрозивно-аккумулятивных процессов, судя по динамике распаханности территории, изменялись в не очень широких пределах с конца XVII в. Лишь более чем столетие спустя, как показано выше, произошло резкое сокращение речной сети. Однако в развитии этого явления имеется некоторая синхронность с ходом климатических изменений в последние 100 лет. Более высокая по сравнению с современной увлажненность южной половины Русской равнины в конце XVIII–начале XIX в. и ее последующее уменьшение установлены по историческим [19] и палинологическим [20] данным. Очевидно, с этим связан повышенный сток воды Волги на рубеже XVIII и XIX вв., реконструированный по отметкам уровня половодий [31]. Сток Дона также имеет тенденцию к понижению: согласно ретроспективным оценкам [3] за столетие 1720–1819 гг. наблюдалось 46 многоводных (сток > 30 км³/год), 14 средних по водности и 40 маловодных (сток < 25 км³/год) лет, а за столетие 1820–1919 гг. – соответственно 17, 40 и 43.

Индикатором увлажненности южной половины Русской равнины может служить уровень Каспия, колебания которого инструментально наблюдаются с 1830-х гг. Многочисленные реконструкции положений уровня, выполненные для более раннего периода, иногда заметно различаются, но все авторы полагают, что после Дербентской регрессии (XIV–XV вв.) наивысший уровень был достигнут на пике Новокаспийской трансгрессии в 1780–1810 гг. (по разным источникам), а в дальнейшем началось его падение [33].

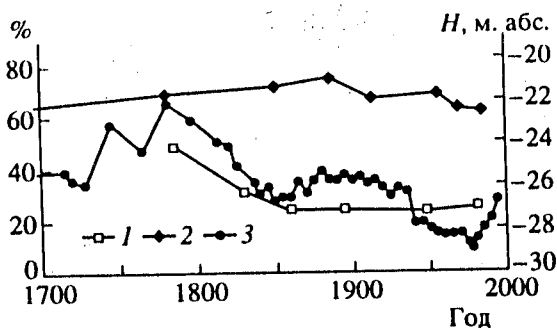


Рис. 3. Изменения протяженности речной сети в бассейне верхнего Дона на фоне естественных и антропогенных изменений природной среды. 1 – ОДР, %; 2 – распаханность Тульской обл. (по данным табл. 1), %; 3 – уровень Каспийского моря (до 1837 г. – данные [5], с 1837 г. – данные инструментальных наблюдений).

На рис. 3 ход уровня Каспия [5] сопоставляется с изменением протяженности постоянных водотоков (ОДР) в шести бассейнах притоков Дона и р. Красивой Мечи (общей площадью 3130 км²), для которых имеется информация по всем шести временным срезам. Видно, что на фоне относительно постоянного поступления наносов в речные долины (иллюстрируется динамикой распаханности территории Тульской обл., в пределах которой находятся все эти бассейны) “иссушение” речных долин происходит одновременно с падением уровня Каспийского моря. Следует отметить, однако, что приведенные на рис. 3 абсолютные отметки уровня Каспия на пике Новокаспийской трансгрессии, возможно, завышены, так как согласно данным [33], полученным на основе изучения береговых форм рельефа, они составляли –24...–25 м. абс.

Таким образом, можно предположить, что заиление малых рек происходило на фоне уменьшения увлажненности южной половины Русской равнины, следствием которого была сработка верхних водоносных горизонтов и смещение истоков рек вниз по течению. Периодическое пересыхание верхних речных систем происходило, по-видимому, и ранее в ходе естественных климатических колебаний, но тогда это не сопровождалось увеличением потока наносов со склонов в речные долины. Очередная эпоха увеличения увлажненности должна вызвать обратное смещение истоков рек вверх по долинам, и вполне возможно, что этот процесс уже начался (табл. 2, рис. 3). Однако в настоящее время в днищах долин накопился достаточно мощный слой наносов, что может препятствовать естественному ходу восстановления речной сети. Кроме того, увеличение стока воды, сопровождающееся вторичным врезаем, приведет к перераспределению накопленного вещества и выносу в нижние звенья флювиальной сети огромного количества агрокультурных наносов вместе с содержащимися в них химическими, биогенными и радиоактивными загрязняющими веществами. Поэтому актуальна прогнозная количественная оценка масштаба этого явления и его экологических последствий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного Научного фонда и Правительства России (проект № 2300) и РФФИ (грант 95-05-65021).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арсеньев К.И. Статистические очерки России. СПб., 1848. 503 с.
2. Атлас Тульского наместничества с статистическими примечаниями. 1784. ЦГВИА, фонд ВУ № 19121.

3. *Богучарсков В.Т.* // Экологические проблемы Северного Кавказа и Нижнего Дона. Ростов на/Д.: Рост. кн. изд-во, 1990. С. 11.
4. *Былинская Л.К., Тимофеев Д.А., Фирсенкова В.М.* // Изучение и оценка воздействия человека на природу. М.: ИГАН СССР, 1980. С. 144.
5. *Варущенко С.И., Варущенко А.Н., Клиге Р.К.* Изменение режима Каспийского моря и бессточных водоемов в палеовремени. М.: Наука, 1987. 239 с.
6. *Владимиров Ю.И.* // Современное состояние малых рек СССР и пути их использования, сохранения и восстановления. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 53.
7. *Водарский Я.Е.* // Историческая география Черноземного центра России (дооктябрьский период). Воронеж.: Изд-во Воронеж. ун-та, 1989. С. 29.
8. *Водогрецкий В.Е.* Влияние агролесомелиораций на годовой сток. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 184 с.
9. Военно-статистическое обозрение Российской Империи. Тульская губерния. Спб., 1852. Т. VI. Ч. 4. 221 с.
10. *Голосов В.Н., Иванова Н.Н.* // Вод. ресурсы. 1993. Т. 20. № 6. С. 684.
11. *Голосов В.Н., Иванова Н.Н., Литвин Л.Ф., Сидорчук А.Ю.* // Геоморфология. 1992. № 4. С. 69.
12. *Голосов В.Н., Иванова Н.Н., Панин А.В.* // Геоморфология. 1996. № 4. С. 53.
13. *Голосов В.Н., Панин А.В.* // Тр. Акад. водохозяйственных наук. 1995. Вып. 1. С. 115.
14. *Дедков А.П., Курбанова С.Г., Можжерин В.И.* // Тр. Акад. водохозяйственных наук. 1995. Вып. 1. С. 93.
15. *Дедков А.П., Можжерин В.И.* Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1984. 264 с.
16. *Докучаев В.В.* Наши степи прежде и теперь. Спб., 1892. 128 с.
17. *Иванова Н.Н.* // Экологические аспекты теоретической и прикладной геоморфологии. М.: Изд-во МГУ, 1995. С. 130.
18. *Капитонов Е.И.* // Историография и источники по исторической демографии и исторической географии Центрального Черноземья. Курск: Центр. Чернозем. кн. изд-во, 1989. С. 11.
19. *Клиге Р.К., Воронов А.М., Селиванов А.О.* Формирование и многолетние изменения водного режима Восточно-Европейской равнины. М.: ИВП РАН, 1993. 129 с.
20. *Климанов В.А.* // Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. М.: ИГ РАН, 1996.
21. *Ковальчук И.П.* // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1995. Вып. 10. С. 43.
22. *Ковальчук И.П., Штойко П.Н.* // Геоморфология. 1992. № 2. С. 55.
23. Колебания климата за последнее тысячелетие. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 407 с.
24. *Котельников В.Л.* Преобразование природы степи и лесостепья. М.: Географгиз, 1949. 151 с.
25. *Ларионов Г.А.* Эрозия и дефляция почв. М.: Изд-во МГУ, 1993. 200 с.
26. *Маккавеев Н.И.* Русло рек и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 346 с.
27. Межевая инструкция канцеляриям и конторам с методами и указами, к одной принадлежащими. М., 1797. 30 с.
28. Народное хозяйство Тульской области. Статистический сборник. Тула: Тульск. книж. изд-во, 1958. 216 с.
29. Народное хозяйство Тульской области. Статистический сборник. Тула: Приок. кн. изд-во, 1973. 303 с.
30. *Нежиховский Р.А.* Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 476 с.
31. *Решетников В.И.* // Вод. ресурсы. 1994. Т. 21. № 4. С. 453.
32. Россия. Полное географическое описание нашего отечества / Под ред. Семенова-Тян-Шанского П.П. Спб., 1902. Т. 2. 717 с.
33. *Рычагов Г.И.* // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1993. № 4. С. 42.
34. Сельскохозяйственный промысел в России. Петроград, 1914. 74 с.
35. Статистика Российской Империи. Главнейшие данные поземельной статистики (по обследованию 1887 г.). Спб., 1899. Вып. 44. 116 с.
36. *Цветков М.А.* Изменение лесистости европейской России с конца XVII столетия по 1914 г. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 213 с.
37. *Чернов А.В.* // Геоморфология. 1994. № 1. С. 100.
38. *Шикломанов И.А.* Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 334 с.
39. *Шпак И.С.* // Мелиорация земель Полесья и охрана окружающей среды. Киев, Наук. думка, 1978. С. 131.
40. Экспедиция для исследования источников главнейших рек Европейской России. Бассейн Дона. Водосбор Красивой Мечи. Исследования лесоводственного отдела 1894 г. М., 1902. 62 с.
41. Экспедиция для исследования источников главнейших рек Европейской России. Бассейн Дона до слияния с Непрядвой. Исследования лесоводственного отдела 1895 г. М., 1902. 62 с.
42. *Connor T.B.* // Drainage basin sediment delivery: Proc. Albuquerque Symp. IAHS Publ. 1988. № 174. P. 81.
43. *Trimble S.W., Lund S.W.* // U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 1978. V. 1234. P. 32.