

Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова

**Н.И. МАККАБЕЕВ**

**РУСЛО РЕКИ  
И ЭРОЗИЯ  
В ЕЕ БАССЕЙНЕ**

Переиздание книги 1955 г.

**Посвящается  
250-летию основания  
Московского государственного университета  
им. М.В. Ломоносова**

Москва – 2003

Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне

УДК 551.482.212.(07)

**М 15**                    **Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне.**  
М.: Географический факультет МГУ. 2003.– 355 с.; илл.

**ISBN 5-89575-063-X**

Издание осуществляется в рамках программы Государственной поддержки ведущих научных школ (проект НШ-1443.2003.5) и при финансовой поддержке деканата Географического факультета МГУ

*Печатается  
по решению Ученого Совета  
Географического факультета МГУ*

Издание подготовлено под руководством профессора Р.С. Чалова сотрудниками Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева научным сотрудником С.Н. Ковалевым, к.г.н. И.И. Никольской, к.г.н. С.Д. Прохоровой, инж. Н.В. Анисимовой

**ISBN 5-89575-063-X**

© Географический факультет МГУ, 2003

Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне

А К А Д Е М И Я   Н А У К   С С С Р  
И Н С Т И Т У Т   Г Е О Г Р А Ф И И

Н.И. МАККАВЕЕВ

**РУСЛО РЕКИ  
И ЭРОЗИЯ  
В ЕЕ БАССЕЙНЕ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Москва – 1955

ПРЕДИСЛОВИЕ  
(к переизданию книги)

Внимание научной общественности предлагается переиздание известной монографии профессора Московского университета Николая Ивановича Маккавеева "Русло реки и эрозия в бассейне". Выйдя в свет в 1955 г по нынешним временам довольно большим тиражом (2000 экз.), она очень быстро стала библиографической редкостью. И хотя с тех пор прошло почти 50 лет, книга продолжает пользоваться неизменным спросом в библиотеках; она никогда не залеживалась на полках букинистических магазинов, а ссылки на неё в литературе не только не сократились, а продолжают относиться к числу наиболее многочисленных. Причем упоминания книги, как и фамилии её автора, находятся не столько в исторических обзорах или перечислениях предшественников, сколько в содержательных разделах научных трудов, где материал книги используется и как отправная точка для решения той или иной проблемы, и для подтверждения полученных результатов, и для сопоставления их уровня с признанным эталоном, оценки значимости полученных выводов. Такая жизнеспособность книги и удивительна, и закономерна. Выйдя из печати, она не просто привлекла к себе внимание, она произвела, по отзывам современников, впечатление разорвавшейся бомбы, настолько по-новому, физически обоснованно, концептуально рассматривались в ней, казалось бы, давно получившие объяснения природные процессы и формы их проявления. При этом книга открывала простор для дальнейших исследований, предлагая читателю идею и определения путей её реализации.

Значение книги было незамедлительно оценено, и Ю.А.Мещеряков в одной из первых появившихся в научной периодической печати (Известия АН СССР. Сер. Географическая. 1965. № 2) рецензии писал: "она не относится к числу монографий, которые как бы "закрывали" проблему, подводя итоги её изучению. Цель книги иная. Она состоит в том, чтобы наметить новые пути для дальнейших исследований" (с.143).

Книга Н.И. Маккавеева по существу заложила основы теории и методологии нового гидролого-геоморфологического направления в изучении эрозионно-аккумулятивных процессов и созданных ими форм рельефа. В ней впервые в отечественной и, по-видимому, мировой литературе рассмотрена вся совокупность природных явлений, связанных с работой всех водных потоков на земной поверхности – от склоновых нерусловых до крупнейших рек, с взаимодействием двух сфер – гидро- и литосферы, из которых одна находится в постоянном движении и изменении своих характеристик, тогда как другая квазистатична, но чрезвычайно разнообразна по своим свойствам и параметрам. Это единство, которое если и рассматривалось до монографии Н.И. Маккавеева, то только с позиций поступления в реки наносов, теперь, благодаря его трудам, определяется общностью законов развития, механизмов функционирования, закономерностями переноса вещества и энергии в казалось бы удаленных друг от друга звеньях водных потоков. При этом уже в названии книги Н.И.Маккавеев в качестве главного научного кредо указал на взаимосвязь природных процессов на водосборах и процессов в речной сети. Соответственно, русловые процессы стали рассматриваться им как завершающее звено в цепочке явлений, связанных с воздействием стока на земную поверхность, и, следовательно, находящихся в сложном соотношении между собой, зависящих от природных особенностей каждой зоны, региона или бассейна. По существу Н.И. Маккавеев к анализу эрозионно-аккумулятивных процессов впервые применил системный подход (хотя и не употреблял этого термина), рассматривая в едином комплексе

бассейн и русло реки, и почти на два десятилетия опередив использование системной методологии в современных географических исследованиях.

Здесь нет необходимости давать анализ переиздаваемой книги. Он был сделан вскоре после её первого выхода в свет, а впоследствии – в ряде статей, посвященных научной деятельности Н.И. Маккавеева в связи с юбилейными датами, в том числе – 40-летием публикации самой книги (статья Д.А. Тимофеева, Н.В. Хмелевой, Р.С. Чалова в журнале "Геоморфология", 1996, № 1). Это делали современники, непосредственные ученики и последователи учения Н.И. Маккавеева. Теперь представляется возможность новым поколениям ученых и специалистов оценить труд Н.И. Маккавеева, ознакомиться с которым для них оказалось уже затруднительно.

Переизданию книги «Русло реки и эрозия в её бассейне» предшествовал выпуск двух томов избранных трудов Н.И. Маккавеева: «Эрозионно-аккумулятивные процессы и рельеф русла реки» (М. 1998) и «Теоретические и прикладные вопросы почвоведения и русловых процессов» (М. 2003). В них были собраны наиболее важные работы, опубликованные, начиная с 1934 г, вплоть до некоторых уже посмертных. Интерес к этим изданиям оказался очень велик, и уже в ходе подготовки второго тома под влиянием многочисленных вопросов читателей возникла идея переиздания главного труда Н.И. Маккавеева, от которого начался отсчет развития научной школы, получившей название «Эрозия почв на водосборах и русловые процессы». Эта идея витала и раньше, но, наверное, нужно было время и определенный толчок для того, чтобы она начала воплощаться. Таким толчком и явился интерес к опубликованным избранным трудам.

Н.И. Маккавеев стал профессором Московского университета в 1953 г вскоре после защиты докторской диссертации. Интересно отметить, что книга «Русло реки и эрозия в её бассейне» была опубликована в 1955 г – году, когда отмечалось 200-летие основания университета. С этого времени началось развитие университетской маккавеевской школы, которая организационно оформилась в создании двух научно-исследовательских лабораторий, из которых одна – эрозии почв и русловых процессов, основанная в 1969 г, носит имя своего основателя и научного руководителя Н.И. Маккавеева. Развитие учения о едином эрозионно-аккумулятивном процессе, основателем которого стал Н.И. Маккавеев, проявилось в нескольких десятках диссертаций, в том числе более 10 докторских, многочисленных книгах и ещё более многочисленных статьях учеников Н.И. Маккавеева и учеников его учеников, научных отчетах, среди которых преобладают отчеты по прикладной тематике, выполненным при решении конкретных практических задач.

Переиздание книги приурочено к 95-летию со дня рождения выдающегося ученого. Но оно осуществляется в канун очередного юбилея Московского университета, где Н.И. Маккавеев проработал 30 лет. И этот университетский период его научной деятельности оказался самым плодотворным и эффективным. Поэтому переиздание посвящается 250-летию Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

Переиздание осуществляется в точном соответствии с оригиналом, без какой либо редакционной правки и с максимальным приближением к нему. Исключения представляют только фотографии, которые из-за низкого качества пришлось заменить.

Профессор Р.С. Чалов

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Знание особенностей эрозионно-аккумулятивной работы стока необходимо для правильного решения задач, связанных с гидроэнерго- и мостостроительством, улучшением внутренних водных путей, сельскохозяйственными мелиорациями и многими другими практическими вопросами. Наряду с этим общая теория развития географической среды должна учитывать деятельность водных потоков, которая непрерывно изменяет ландшафт.

Учение об эрозионно-аккумулятивных и русловых процессах, являющееся одним из разделов гидрологии, рассматривается также и в ряде других технических (гидротехника, гидравлика, инженерная геология) и естественно-исторических (физическая география, геоморфология) дисциплин. В создании основ этого учения участвовали как инженеры (В.М. Лохтин, Н.С. Леляевский), так и специалисты естественно-исторического профиля (В.В. Докучаев, А.П. Павлов, И.Д. Черский, С.Н. Никитин). Оба эти направления (инженерное и естественно-историческое) в дальнейшем значительно углубились, дифференцировались, и к настоящему времени накоплен огромный фактический материал, что позволило открыть ряд частных закономерностей, приведение которых в одну общую систему возможно лишь на основании представления о водных потоках как составном элементе географической среды.

Потоки создаются при определенных условиях, от сочетания которых зависят величина водности и ее режим, средний продольный уклон, крупность и минералогический состав аллювия, короче говоря, – все основные элементы, определяющие интенсивность и особенности руслообразующей работы потока. Отсюда следует, что эрозионно-аккумулятивные и русловые процессы нельзя рассматривать как цепи явлений, развитие которых происходит изолированно от географической среды, без учета конкретных особенностей, характеризующих ландшафт водосбора. Потоки и их водосборы необходимо рассматривать в тесной взаимосвязи и взаимообусловленности.

Эти положения определили структуру настоящего исследования. Вначале реки рассматриваются как элемент географической среды и как составная часть гидрографической сети суши, затем определяются основные особенности эрозионно-аккумулятивных и русловых процессов и, наконец, дается характеристика некоторых наиболее типичных форм проявления русловых процессов. По некоторым разделам рассматриваемой проблемы (например, русловые процессы в горных реках,

зональность русловых процессов и др.) из-за недостатка материала пришлось ограничиться постановкой вопроса, вследствие чего настоящая работа не претендует на систематическое изложение всей проблемы в целом.

Автор считает своим долгом поблагодарить члена-корреспондента А. Н. СССР М.А. Великанова, профессора доктора географических наук К.К. Маркова, профессора доктора географических наук М.И. Львовича за ценные указания и советы, полученные при подготовке работы к печати, а также К.П. Вышлова, И.В. Белинович, Л.В. Поборчую и Е.М. Маничеву, помогавших при проведении исследований.

## ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

# ЭРОЗИОННЫЕ И РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

## Глава I

### РЕКИ КАК ЭЛЕМЕНТ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

#### О ПРИЧИНАХ ОБРАЗОВАНИЯ РЕЧНЫХ РУСЕЛ

Когда наблюдаешь реки с самолета, то они кажутся узкими лентами среди необъятного пространства суши. Эти своеобразные водоемы, при малой их ширине протянувшиеся на огромные расстояния, разветвляются в сторону водоразделов<sup>1</sup>, проникают своими отростками и в низменные местности и в высокие горные массивы. Выполняя функции то дренажных, то оросительных естественных систем, реки регулярно переносят в океаны или озера огромные объемы воды (около 36000 км<sup>3</sup> в год), но наряду с тем кажутся мало приспособленными для этих целей. Следуя по речным руслам, вода, удаляющаяся с поверхности суши, вынуждена совершать путь, обычно вдвое – втрое больший, чем если бы она стекала по прямой к приемным бассейнам. Ложбины самих русел нередко загромождаются мелями или бывают перегорожены грядами, заставляющими поток образовывать глубокие плесы, чередующиеся с быстринами, или делиться на рукава. Ширина ложбины русла никогда не бывает постоянной, даже на относительно небольшом отрезке реки она то увеличивается, то уменьшается, придавая руслу в плане четковидный характер. Речные русла явно не обеспечивают равномерности движения воды. К тому же узкая лента речного потока, еле пробивающегося в окаймляющих толщах рыхлого аллювия, располагается обычно в несоразмерно широкой и глубокой долине.

Указанные «несоответствия» наталкивали многих исследователей на мысль о том, что существующие формы долин и русел в основном обязаны своим происхождением не эрозионно-аккумулятивной деятельности воды, стекающей с между-речных пространств, а другим факторам. Еще в прошлом веке пользовались, например, популярностью гипотезы, согласно которым образование ложбин речного стока связывалось с тектоническими опусканиями или же с действием мощных временных потоков, возникших при геологических катастрофах или резких изменениях климата.

Ляйэль (1866) и В.В. Докучаев (1878), подвергнув обстоятельной критике подобные гипотезы, доказали, что рельеф долины и русла является в основном результатом деятельности самой же текущей воды. Этот вывод получил полное признание в геологии и гидрологии. Однако отзвуки «катастрофических» гипотез сохранились до настоящего времени. Еще и сегодня многие авторы историю развития речных систем рассматривают как историю прошедших оледенений, регрессий и трансгрессий морских или озерных бассейнов, тектонических изменений рельефа долины и т. п., почти не уделяя внимания главным факторам развития рек – стоку

---

<sup>1</sup> Реки с площадью бассейна более 1 млн. км<sup>2</sup> могут иметь до 20 порядков притоков.



воды и стоку наносов. Иногда можно встретить такие, например, утверждения: *«Общие очертания рек (в плане), текущих в областях распространения волнистого рельефа зырянских отложений, связаны с первичным аккумулятивным рельефом (реки унаследовали ложбины стока ледниковых вод), а также в какой-то мере зависят от распределения крупных гравитационных аномалий. Более мелкие особенности конфигурации рек обязаны своим происхождением частичному приспособлению к существующим формам рельефа (благодаря консервирующему влиянию вечной мерзлоты) и развитию самих речных систем, осложненному колебательными тектоническими движениями»* (Стрелков, 1949). Автор приведенной цитаты, пытаясь охарактеризовать особенности формирования гидрографической сети части бассейна Енисея, не забыл упомянуть о многих факторах, кроме тех, которые обусловили само существование гидрографической сети.

В сложном и длительном<sup>1</sup> процессе развития каждой крупной речной системы, бесспорно, на эрозионно-аккумулятивную деятельность вод оказывали влияние многие тектонические и экзогенные процессы. Следы этих воздействий могут проявляться в характере форм рельефа и в настоящее время. Тем не менее сравнительно редко удается наблюдать реку, которая бы пассивно приспособила свое русло к формам рельефа, созданным другими (кроме стока) агентами. Наоборот, большей частью основные элементы форм речных русел и рисунка речной сети имеют закономерные соотношения, что указывает на общность фактора, определившего их развитие. Таким фактором может быть только сток, и, следовательно, объективно верная история развития речной системы должна включать прежде всего историю формирования стока с той территории, на которой расположен бассейн данной реки.

Как уже упоминалось, основной задачей настоящей работы является исследование процессов развития форм рельефа русла, обязанных эрозионно-аккумулятивной деятельности речного потока. Однако прежде чем приступить к этому исследованию, необходимо сделать краткий обзор ряда явлений, без представления о которых нельзя анализировать процессы развития географического ландшафта, связанные со стоком вод. Рассматривая формирование речных русел как часть общего процесса развития физико-географической среды, нельзя обойтись без подобного введения.

Следует, впрочем, сказать заранее, что формы и закономерности взаимосвязей «гидрологического звена» с другими элементами физико-географической среды еще не изучены достаточно полно и по ряду даже основных относящихся к этой области вопросов пока приходится ограничиваться только ориентировочными соображениями.

## РЕКИ И КЛИМАТ

Временный поверхностный сток наблюдается почти на всех участках поверхности суши, но постоянные русловые потоки (реки) возникают лишь при определенных сочетаниях физико-географических условий. Река является, в первую очередь, «продуктом климата».

Для того чтобы существовала река, в ее русло должны поступать дождевые, талые или грунтовые воды, в таком количестве и с таким распределением во времени, чтобы быть достаточными для поддержания постоянного течения и для компенсации потерь на испарение, фильтрацию в грунты, образование льда, транспирацию

---

<sup>1</sup> Главные стволы долин большинства крупных рек начали образовываться миллионы лет назад. Например, Волга, Кама, Днепр, Дон и другие большие реки Русской равнины существовали, по-видимому, уже в мезозое (Личков, 1936а).

водной растительностью и др. Количество воды, поступающей с дренируемой территории в речную систему, находится в тесной зависимости от условий, определяющих соотношение тепла и влаги, свойственное климату данной территории.

Потери на испарение с водной поверхности на территории Русской равнины составляют в год: в зоне тундры – менее 30-35 см, в лесной зоне – 35-80 см, в зоне степей – 75-100 см. В умеренных широтах потери на испарение у крупных рек составляют незначительную часть расхода воды. Так, Волга на участке от Куйбышева до Камышина расходует, по подсчетам Б.В. Полякова (1946, а и б), на испарение  $1,9 \text{ км}^3$  в год, тогда как приращение стока на этом же протяжении равно  $12,7 \text{ км}^3$  в год. У малых рек процент потерь на испарение достигает большой величины даже в лесной зоне (Абрамович, 1948). В реках, в бассейнах которых имеются озера, процент потерь существенно возрастает, что сказывается на коэффициенте и модуле стока. Так, бассейны некоторых рек южной Швеции, изобилующие озерами, имеют модуль стока ниже нормального на 25% и более.

В более низких широтах, особенно в пустынях, потери на испарение отражаются даже на режиме больших рек. Так, по подсчетам В.Л. Шульца (1948), 22% стока Аму-Дарьи испаряется в пределах ее дельты. Испарение с поверхности Аму-Дарьи у Керки в среднем составляет 162 см в год (Давыдов, 1925). Река Бахр-Эль-Джебел, приток Белого Нила, в период разливов на протяжении от Бора до Манголы теряет 50% расхода на испарение с водной поверхности и транспирацию пойменной растительностью. Влияние озер на режим стока здесь еще более значительно. Например, испарение с поверхности оз. Большого Соленого равно 247 см в год, а испарение с поверхности одного озера в Сейстоне (близ границы Ирана с Афганистаном) достигает 300 см в год (Иванов, 1940).

Потери воды на фильтрацию зависят от глубины залегания грунтовых вод, свойств грунта, характера русла и гидравлических характеристик потока.

Глубина залегания грунтовых вод, как показали исследования П.В. Отоцкого (1905), В.С. Ильина (1930), О.К. Ланге (1947) и др., отражает зональность климата. Так, в пределах Русской равнины, по В. С. Ильину, средняя глубина залегания грунтовых вод на междуречьях изменяется следующим образом. От побережья Северного Ледовитого океана приблизительно до  $62^\circ$  с. ш. грунтовые воды залегают неглубоко, во многих местах переходя в поверхностные или болотные воды. Южнее  $62^\circ$  с. ш. до линии, идущей приблизительно от Киева к Ярославлю и затем к Молотову, средняя глубина грунтовых вод составляет 3-4 м. Далее к югу глубина залегания грунтовых вод значительно возрастает. Особенно отчетливо снижение уровня грунтовых вод прослеживается в направлении к Черному морю; в пределах Орловской и Курской областей глубина залегания достигает 25-30 м; далее к югу она еще более увеличивается – до 50 м, а местами и до 100 м.

Чем дальше к югу от лесной зоны, тем больше встречается пересыхающих летом русловых потоков, так как только глубоко врезанные долины с крупными водосборами имеют обеспеченное грунтовое питание.

В связи с этим норма стока, при прочих равных условиях, находится в зависимости от площади водосбора.

Большая глубина врезания речных долин на плато Колорадо способствует тому, что эта засушливая территория имеет развитую речную сеть и почти полностью дренирована. Однако в процессе врезания колорадских каньонов основную роль играл не местный сток, а сток с окружающих гор, и если бы не было транзитного стока, вряд ли смогла бы развиться здесь сплошная русловая сеть, несмотря на значительную высоту плато. Северная часть Центрального Мексиканского нагорья почти не имеет стока в океан, хотя его высота мало уступает высоте плато Колорадо. В ходе развития Колорадской русловой системы, следовательно, доминирующее

значение имел фактор геоморфологический, благодаря которому в сторону плато длительный период направлялся транзитный сток. При этом высота плато позволила речным долинам врезаться на большую глубину, сохраняя значительный продольный уклон, что, в свою очередь, обусловило малые потери стока.

Зависимость между величиной потерь на фильтрацию и гидравлическими характеристиками потока исследована только для условий каналов. Из практики эксплуатации оросительных систем известно, что процент потери воды на единицу длины канала приблизительно обратно пропорционален  $\sqrt{Q} \approx \sqrt[3]{Q}$ , где  $Q$  – расход воды в канале. При неизменном расходе потеря обратно пропорциональна  $\sqrt[3]{J} \approx \sqrt[4]{J}$ , где  $J$  – средний продольный уклон (Костяков, 1951; Рауледер, 1936). Можно допустить, что аналогичные соотношения имеют место и в естественных потоках; по данным А.Я. Белявского (1951), например, в условиях Украины увеличение среднего уклона местности на 0,001 влечет за собой увеличение коэффициента стока на 0,006.

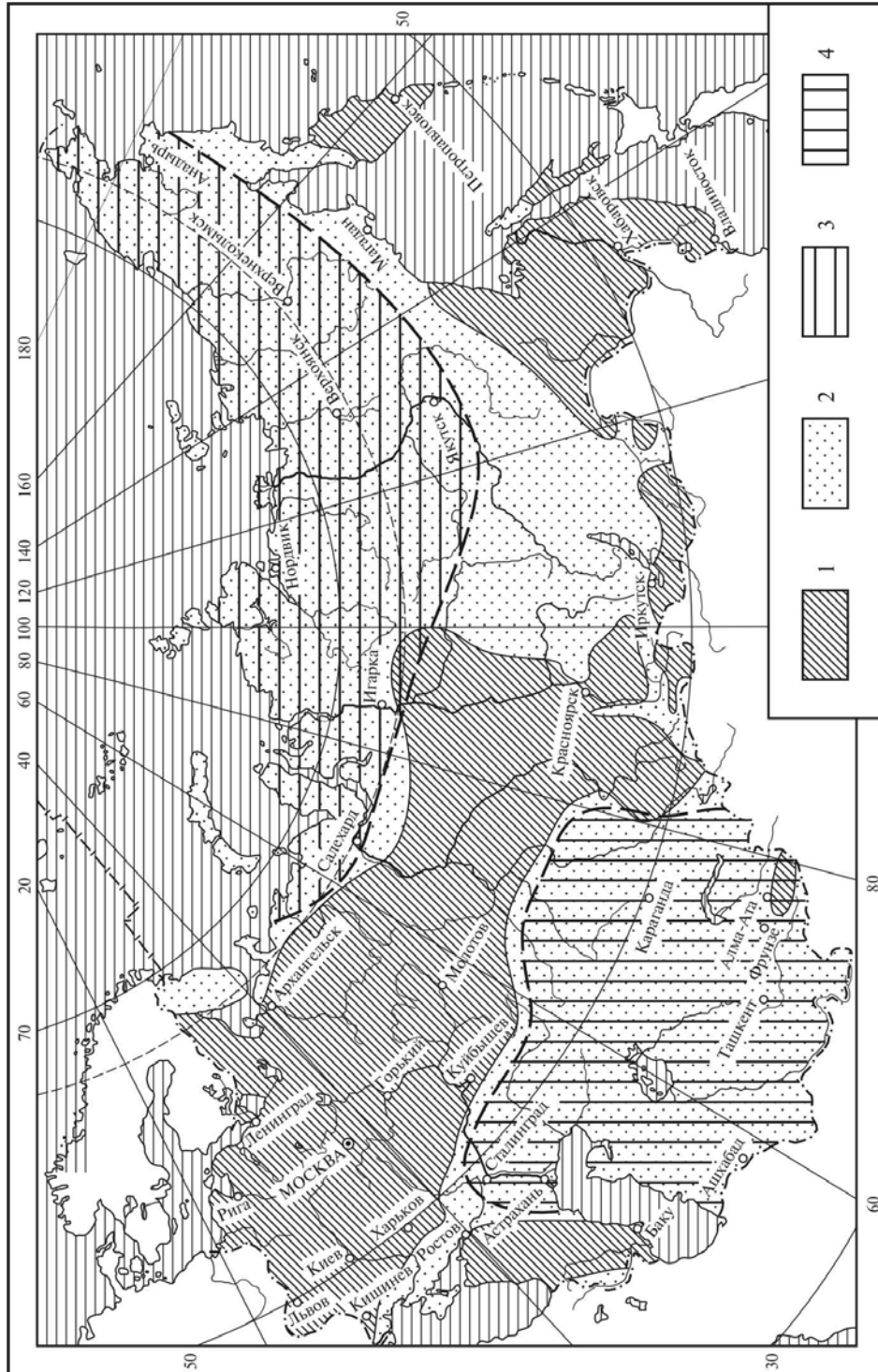
Потеря на образование льда составляет  $0,9 Fh$ , где  $F$  – площадь водного зеркала,  $h$  – толщина льда. С первыми же оттепелями вода, затраченная на образование льда, начинает возвращаться в речной поток.

Севернее лесной зоны сеть постоянных речных потоков значительно разреживается. Промерзание грунтов и большие потери на образование льда приводят к тому, что гидрографическая сеть в основном представлена временными (прекращающимися зимой течение) потоками. В условиях Крайнего Севера поступление надмерзлотных грунтовых вод в речные русла осуществляется лишь в течение двух-трех летне-осенних месяцев, и только крупные реки (преимущественно транзитные) сохраняют постоянный поток на протяжении всего года.

Непосредственное влияние на норму и коэффициент стока таких климатических факторов, как осадки, испарение и дефицит влажности, изучалось многими исследователями. Предложено значительное число формул, из которых одни устанавливают связь между стоком и осадками, не учитывая в явном виде условий испарения (формулы Пенка, Келлера и др.), в других же эти условия учтены путем включения дефицита влажности (формулы Великанова, Полякова, Соколовского, Крицкого и Менкеля). Впрочем, и те и другие лишь приближенно отражают действительный характер зависимостей и могут употребляться, при подборе соответствующих эмпирических коэффициентов, только для отдельных районов, имеющих относительно однородные физико-географические условия. Особенно слабо проявляется связь между количеством осадков и величиной стока в областях недостаточного увлажнения, т.е. там, где испарение с водной поверхности больше слоя осадков. В этих условиях значительное влияние на сток оказывают не абсолютное количество осадков, а такие факторы, как режим их выпадения, степень расчлененности территории, характер грунтов и т. п. Чем меньше размер водосбора реки, тем резче проявляется влияние местных факторов.

Можно наметить лишь весьма приближенно минимальную величину годового слоя осадков, необходимую для нормального развития речной сети. На низменных равнинах при отсутствии карста эта величина составляет около 25 см в средних широтах, 50 см в субтропиках и 70-100 см в тропиках (Львович, 1945; Мартонн, 1939). С увеличением уклона местности эта величина уменьшается; снижается она также и в том случае, если количество зимних осадков растет за счет летних.

Связь между зональными элементами климата и речным стоком все же проявляется довольно отчетливо. Если на карту распределения осадков нанести контуры территорий, где равнинные реки с площадью водосбора менее 1 00 000 км<sup>2</sup> промер-



Фиг. 1. Распределение слоя осадков и положение областей с преобладанием рек, промерзающих до дна, а также пересыхающих в межень.  
 1 – осадки свыше 300 мм; 2 – осадки менее 300 мм; 3 – области, где реки, имеющие площадь водосбора менее 100 000 км<sup>2</sup>, промерзают до дна; 4 – области, где реки, имеющие площадь водосбора менее 10 000 км<sup>2</sup>, пересыхают летом.

зают зимой до дна, а также областей, где реки с площадью водосбора менее 10000 км<sup>2</sup> пересыхают в межень (фиг. 1)<sup>1</sup>, то выясняется довольно отчетливая связь между этими контурами и изолиниями осадков. На севере СССР область промерзающих рек характеризуется величиной слоя осадков менее 300 мм; на юге область пересыхающих рек характеризуется количеством осадков менее 350-400 мм. Осевая линия зоны, где речная сеть наиболее развита, проходит в равнинной части СССР примерно по 60° с. ш. На этой же широте выпадает и наибольшее количество осадков.

Особенно отчетливо зависимость между количеством осадков и степенью развития речной сети проявляется на территории Африки. Сравнение карты осадков с картой областей, не имеющих стока в океан, позволяет говорить о том, что в данном случае рельеф вызвал небольшие нарушения общих зональных закономерностей. Наиболее крупным нарушением является прорыв Нилом пояса североафриканских пустынь.

**Реки и влагооборот.** Реки удаляют из внутриматерикового влагооборота значительные количества воды, выполняя, таким образом, полезную (с точки зрения сельского хозяйства) роль там, где культурные растения страдают от избытка увлажнения, и вредную – там, где растения страдают от его недостатка.

Баланс влаги для любого участка суши можно представить в виде следующей системы уравнений:

$$X_a + X_c + X_n = Y_a + Y_c + Y_n \pm \Delta V, \quad (1)$$

$$X_o = (Y_c - X_c) + (Y_n - X_n) + Z \pm \Delta V, \quad (2)$$

где  $X_a$  – влага, принесенная атмосферными течениями,  $Y_a$  – влага, удаленная атмосферными течениями,  $X_c$  – влага, принесенная поверхностным стоком (транзитными потоками),  $Y_c$  – влага, удаленная поверхностным стоком,  $X_n$  – влага, принесенная подземным стоком,  $Y_n$  – влага, удаленная подземным стоком,  $X_o$  – влага, выпавшая в виде осадков и сконденсированная влага;  $Z$  – испарившаяся влага,  $\Delta V$  – приращение запаса влаги (в атмосфере, грунте и водных бассейнах).

Следует заметить, что из девяти переменных величин, составляющих данную систему уравнений, только три ( $X_c, Y_c, X_o$ ) измеряются более или менее регулярно и сравнительно точно, остальные же определяются косвенным образом или посредством нерегулярных и менее точных наблюдений.

Если в течение многолетнего периода средние климатические показатели существенно не изменяются и если рассматривается влагооборот какого-либо материка в целом, то уравнения (1) и (2) можно упростить:

$$X_a = Y_a + Y_c + Y_n, \quad (3)$$

$$X_o = Y_c + Y_n + Z. \quad (4)$$

Вычитая уравнение (4) из уравнения (3), получаем:

$$\begin{aligned} X_a - X_o &= Y_a - Z; \\ X_o &= X_a + Z - Y_a. \end{aligned} \quad (5)$$

<sup>1</sup> Осадки – по А.А. Борисову (1948); границы распространения пересыхающих и промерзающих до дна рек приведены по данным А.А. Троицкого (1949).



Из вышеприведенных уравнений следует, что изменение величины речного стока, происходящее в результате естественного изменения условий дренажа или искусственного регулирования, обязательно должно вызвать ряд изменений в других составных частях баланса влаги.

Уменьшение речного стока путем его задержания на материке вызывает увеличение грунтового стока ( $Y_n$ ); одновременно возрастает испарение ( $Z$ ), поскольку возрастает площадь открытых водоемов и болот. Рост влажности воздуха увеличивает вероятность выпадения осадков, слой которых ( $X_o$ ) также увеличивается.

Если местность не характеризуется развитием карста, то увеличение грунтового стока компенсирует только сравнительно небольшую часть убыли речного стока<sup>1</sup>. Для областей, лежащих южнее лесной зоны, уменьшение речного стока вызовет приращение в основном испарения. Если в порядке первого приближения считать, что количество влаги, приносимое воздушными течениями ( $X_a$ ), при этом остается постоянным, то согласно уравнению (5) следует ожидать возрастания осадков ( $X_o$ ) и увеличения количества влаги, уносимой с материка воздушным потоком ( $Y_a$ ).

Увеличение осадков должно быть несколько меньшим, чем рост испарения, не только потому, что унос ветрами влаги с материка ( $Y_a$ ) должен обязательно возрасти, но еще и потому, что усиление испарения вызовет понижение температуры лета, а, следовательно, уменьшение интенсивности циркуляционного обмена воздушных масс океана и суши (т.е. понижение величины  $X_a$ , которую мы в первом приближении считали неизменной).

При современном состоянии климатологии пока еще невозможно точное определение величины приращения осадков, вызываемого частичным или полным сокращением речного стока. Решение этого вопроса особенно осложняется тем, что, как отмечалось выше, только третья часть переменных составляющих уравнения баланса влаги освещена регулярными наблюдениями. Проведенная в 1952 г. Институтом географии Академии Наук СССР дискуссия по вопросу о «внутреннем» влагообороте показала, что даже в оценке роли осадков, формирующихся за счет местного испарения, существует значительное расхождение<sup>2</sup>.

Одни исследователи (Н.Н. Иванов, В.В. Цинзерлинг и др.) считают, что количество осадков «местного» происхождения составляет величину одного порядка с количеством осадков, приносимых воздушными массами, пришедшими непосредственно с океанов. По данным же других исследователей (К.И. Кашин, Х.П. Погосян и др.), роль местного влагооборота значительно скромнее.

Следует заметить, что хотя объем влаги, получаемый за счет местного испарения, сравнительно невелик, но его влияние на вероятность выпадения осадков может быть весьма существенно. По данным О.А. Дроздова (1952), снижение относительной влажности на 10% (с 65 до 55%) вызывает уменьшение слоя осадков в два раза. Для данного случая, следовательно, испарение с суши, если оно даже составляет только  $\frac{1}{6}$  от  $X_a$  может способствовать возрастанию  $X_o$  на 100%.

Наибольшее влияние на климат изменение условий дренажа должно оказывать в лесостепной зоне, где слой стока обычно довольно значительный, а с другой стороны, достаточно тепла, чтобы испарить всю выпавшую в виде осадков влагу.

---

<sup>1</sup> Принято считать, что подземный сток с территории Русской равнины, где карстовые районы не имеют значительного распространения, составляет небольшую часть общего стока. Так Б.Д. Зайков оценивает подземный сток в Каспий менее чем в 2% от стока поверхностного. Впрочем, в отдельных районах подземный сток может достигать большой величины.

<sup>2</sup> «Известия Академии наук СССР», сер. географич., 1952, № 5, 6.

**Особенности климата речных долин.** Непосредственное влияние водных масс, содержащихся в руслах рек, на режим температуры и влажности воздуха междуручечных пространств незначительно по сравнению с влиянием озер и морей. Единовременный запас воды в руслах рек земного шара составляет  $1200 \text{ км}^3$  (Львович, 1945), тогда как объем воды в озерах равен  $750\,000 \text{ км}^3$ , а объем воды мирового океана –  $1\,370\,323\,000 \text{ км}^3$ .

Влияние вод речного потока на характер местной погоды заметно только в пределах самой долины.

На отепляющее влияние больших рек, переносящих воду из более низких широт в высокие, указал впервые А.И. Воейков (1884). По подсчетам В.С. Антонова (1948), средний годовой «тепловой сток» рек в Карское море оценивается  $9510 \cdot 10^{12}$  б. калорий. Отепляющее действие вод Оби заметно сказывается на полуострове Ямал (Суслов, 1947). По данным Е.М. Соколовой (1951), реки Обь, Енисей, Лена, Индигирка и Колыма в низовьях имеют температуру воды на  $3-4^\circ$  выше, чем их притоки и другие реки этих же широт, не получающие стока с юга.

Большие реки, текущие из высоких широт в низкие, способствуют некоторому охлаждению береговой полосы, что особенно заметно в период половодья, когда переносятся большие объемы холодной воды и льда. По подсчетам Е.М. Соколовой (1951), температура воды Волги в период половодья у Самарской Луки на  $3^\circ$ , а у Сталинграда на  $6^\circ$  ниже, чем у ее притоков или других небольших рек на этих же широтах. Б.В. Поляков (1938) установил, что температура воздуха в Камышине на метеорологической станции, расположенной у берега Волги, в апреле, мае и июне в среднем на  $0,3-0,4^\circ$  ниже, чем на метеорологической станции у вокзала, расположенной далее от реки.

По И.А. Гольцберг (1948) и С.А. Сапожниковой (1950), в непосредственной близости к большим рекам длина безморозного периода увеличивается.

В долинах малых рек, если они узки и глубоки, наоборот, длина безморозного периода меньше, чем в плакорных условиях.

Н.Л. Благовидов (1935) установил, что летние инверсии в бассейне р. Тюнг (Якутия) наблюдаются лишь в долинах малых рек, тогда как на пойме р. Тюнг и других речек, имевших большие озеровидные плесы, температура ночью была всегда выше, чем на водоразделе.

Характерной особенностью микроклимата речных долин (особенно в реках, вытекающих из озер) являются частые туманы, на возникновение которых оказывают влияние повышенная влажность воздуха в долине и различие температур воздуха, находящегося над водной поверхностью, и воздуха, поступающего с прилегающих склонов. Наиболее часты туманы там, где форма склонов долины позволяет холодным волнам воздуха беспрепятственно скатываться на водную поверхность. При безветрии на расстоянии нескольких сотен шагов от берега видимость на суше может быть отличная, тогда как на реке движение судов приходится останавливать.

С.П. Суслов (1947) при описании климата тайги Западной Сибири отмечает, что в плакорных условиях число дней с туманами составляет 10-15 в год, тогда как в долинах крупных рек оно заметно увеличивается, например, в Енисейске равно 33.

Не менее характерной особенностью микроклимата долин является обилие рос, что оказывает существенное влияние на развитие пойменной растительности в областях с засушливым климатом, где росы нередко представляют одну из наиболее существенных форм осадков.

В долинах рек наблюдается своеобразная сложная циркуляция воздуха, вызванная рядом причин: разницей температур воды и суши, неодинаковым нагреванием склонов, значительным различием в шероховатости водной поверхности и суши и др.

Температуры воздуха над водой и на берегах всегда различаются на 1-2°. Различию температур способствует не только неодинаковое нагревание воды и грунта, но и неодинаковая температура воды по ширине потока.

Наблюдения, проведенные осенью 1948 г. в 10 пунктах на Енисее, показали, что температура воды на расстоянии 200 м от берега была выше, чем у берега, на 0,6-3,0° (Лисер, 1950).

Разница в температуре воздуха на склонах долины достигает большей величины, вследствие неравномерной нагреваемости их и вследствие опускания холодных масс воздуха в пониженные участки долины.

На дне долин, особенно под поверхностью широких и длинных плесов реки, сила ветра часто бывает большей, чем на водораздельных пространствах. Одновременно с этим вся долина, если она узка и глубока, оказывает направляющее действие на воздушные течения.

В расширениях долин при ветре, направленном под углом к руслу реки, наблюдается образование местной быстрины воздушного потока возле уреза воды. Скорость ветра здесь возрастает на 30-50% и более. На расстоянии 200-300 м (Маккавеев, 1951а) у противоположного берега происходит замедление скорости, вызванное резкой разницей в шероховатости поверхностей воды и поймы.

В табл. 1 приведены примеры распределения скорости ветра в долине Дона у ст. Кременской.

Т а б л и ц а 1

**Распределение скорости ветра в долине Дона у ст. Кременской**  
(Сила ветра измерялась анемометром на высоте 1,5 м над поверхностью. Наблюдатель Е.Н. Епифанова)

Время наблюдения	Пункт наблюдений	Скорость ветра, м/сек	Направление
16. VII. 1953 г.			
19 ч. 05 м.	Середина реки	5,3	ЗСЗ
19 ч. 10 м.	Урез правого берега	5,4	ЗСЗ
19 ч. 17 м.	В 100 м от уреза воды, на прирусловых песках	3,6	ЗСЗ
19 ч. 25 м.	В 170 м от уреза воды, безлесная пойма, высота над урезом 5 м	1,9	СЗ
17. VII 1953 г.			
12 ч. 00 м.	Середина реки	5,1	СЗ
12 ч. 05 м.	Бровка левого берега поймы, на расстоянии 40 м от уреза воды	3,5	СЗ
12 ч. 10 м.	100 м вглубь поймы, полянка, окруженная редким ивняком	1,7	СЗ

Местное увеличение скорости должно вызвать нисходящие токи у подветренного и восходящие у наветренного берегов. На циркуляцию, возникающую таким путем, накладывается циркуляция, вызванная несовпадением направлений воздушного потока в долине и ветра на междуречном пространстве, а также циркуляции, вызываемые неодинаковым нагревом отдельных частей долины.

Исследование циркуляции воздушных потоков в речных долинах, несомненно, представляет большой интерес. Направление местной циркуляции сказывается на путях перемещения развеваемых песков, на характере волнения и характере возбуждаемой под воздействием ветра циркуляции в речном потоке. Система циркуляции, возникающих в речной долине, по-видимому, оказывает некоторое влияние и на движение воздушных масс в междуречных пространствах. Этим можно объяснить то, что большие реки иногда являются климатическими рубежами, правда,



гораздо менее резко выраженными, чем горные хребты. Например, в Поволжье климат резко меняется в сторону засушливости при переходе с правого на левый берег. Левобережье Волги в среднем получает в летние месяцы на 20 мм осадков меньше, чем правобережье (Каминский, 1925; Иванов, 1948; Бова, 1950 и др.). Разница в климате, по-видимому, сказывается здесь на расселении ясеня, распространение которого ограничивается только правобережьем. Аналогичным примером является р. Парана на юге Бразилии, которая представляет собой резкую границу естественной растительности. К востоку от реки распространяются обширные массивы тропических лесов, тогда как западнее сразу же начинаются травянисто-кустарниковые саванны (Джемс, 1949).

## РЕКИ И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

Растительность оказывает существенное влияние, непосредственное и косвенное, на работу рек (эрозионные и русловые процессы).

Непосредственное влияние растительности на эрозию и русловые процессы. Ослабляя смыв со склонов и уменьшая количество твердого материала, поступающего с междуречных пространств, растительный покров создает условия для более глубокого врезания речных долин. Врезанию способствует еще и то, что растительность на коренных берегах, пойме и прирусловых отменях несколько затрудняет боковую эрозию.

На облесенных или хорошо задернованных склонах эрозия потоками дождевой воды ослаблена, так как удары дождевых капель в основном воспринимаются листьями и стеблями растений, а скорости течения в дождевом потоке вследствие большой шероховатости дернины обычно невелики даже на крутых склонах.

Как сообщает С.С. Шульц (1949), Л.Т. Землянички, проводивший исследования на северном склоне Туркестанского хребта, установил, что на склонах крутизной 20-30° смыв почти прекращается при полноте насаждения арчи 0,4-0,5, тогда как на склонах, лишенных арчи, смыв достигает 2500 м<sup>3</sup> почвогрунта с гектара в год.

При более пологих склонах наличие густой дернины практически полностью останавливает смыв. Об этом свидетельствуют многочисленные наблюдения, проведенные при стационарных и экспедиционных исследованиях в различных пунктах СССР (см. сводку в труде Г.В. Лопатина, 1952).

Относительно слабый смыв с междуречных пространств является одной из причин того, что реки Русской равнины с бассейнами, покрытыми лесами, редко имеют среднюю мутность воды, превышающую 50 г на 1 м<sup>3</sup>, тогда как у рек степной полосы средняя мутность обычно вдвое-втрое больше (Шамов, 1949).

Связывание грунта корнями растений способствует ослаблению боковой эрозии неглубоких русловых потоков. Каркас из корней деревьев настолько прочен, что иногда удерживает на подмываемых берегах огромные массы грунта в нависшем положении.

Упругие стебли растений являются отличными гасителями волны. На давно эксплуатируемых судоходных каналах участки берегов, заросшие тростником или камышом, имеют сохранившиеся откосы и правильные линии берега, тогда как на остальных участках везде видны следы разрушения, произведенного судовой волной.

Заросли ивняка, появляясь на прибрежных песках, влияют на режим перекатов и поймы: массивы песков становятся более стабильными, и на поверхности их появляются новые отложения; за счет кольматажа прирусловых отмелей глубина русла увеличивается. Посадки ив в настоящее время используются как одно из подсобных средств для выправления русла (Бородзич, 1950).

Небольшие лесные реки нередко имеют значительную глубину при малой ширине русла. Необходимо, впрочем, отметить два обстоятельства: а) большие глубины в межень рек с заросшим руслом являются в значительной степени следствием огромной относительной шероховатости ложа; б) сильное зарастание русла, особенно его завалы стволами деревьев, могут способствовать довольно значительному развитию боковой эрозии и постепенному отмиранию реки.

**Влияние лесной растительности на сток.** Везде, где появляется лес, он оказывает влияние на сток. Влияние это невелико в условиях лесотундры и северной части лесной зоны, но очень существенно в зонах лесостепной и степной, где посадки леса при площади облесения 15-20% могут привести к полному прекращению поверхностного стока (Львович, 1952).

Почва в лесу отличается повышенной фильтрационной способностью, чему способствует, вероятно, не только наличие слоя рыхлой лесной подстилки, но и своеобразная макроструктура почвы, обусловленная наличием каркаса из корней деревьев. Так, например, по данным Н.Ф. Возыкина, в суглинистой подзолистой почве елового леса после удаления подстилки, вспашки и боронования водопроницаемость уменьшается в пять раз с лишним, а в супесчаной почве соснового бора – вдвое.

Кроме того, значительная часть осадков задерживается на кронах деревьев и испаряется непосредственно с поверхности листвы и стволов. По данным Г.Ф. Морозова (1931), «...полог леса задерживает от 15 до 80% осадков на своих кронах, в зависимости от породы, густоты древостоя, возраста леса и других моментов. Так, сосновые леса задерживают только около 20%, еловые около 40%, а пихтовые около 60% от количества осадков, выпадающих на открытом месте».

По Г.Н. Высоцкому (1952), средняя величина задержания на кронах составляет 20-30% от общего количества осадков, причем в густых хвойных лесах она доходит до 50%.

В тропических лесах величина задержания составляет 65-70% (Н. Иванов, 1948).

В результате указанных причин, а также вследствие слабого развития сети оврагов и значительной шероховатости поверхности почвы в лесу, модуль максимального ливневого поверхностного стока с лесных территорий гораздо меньше, чем с открытых пространств, находящихся в аналогичных условиях.

Весьма существенно также регулирующее действие леса на сток талых вод. В этом случае к факторам, замедляющим сток, добавляется еще задержка снеготаяния, вызванная уменьшением скорости ветра в лесу и защитой поверхности снега кронами деревьев от солнечных лучей. В наиболее густых и защищенных от ветра лесах снег тает приблизительно вдвое медленнее, чем на открытых пространствах (Рихтер, 1948). Благодаря замедлению стока и более слабому промерзанию почвы запасы грунтовых вод под лесом пополняются весной значительно, чем на открытых участках. Из наблюдений, проведенных Г.А. Харитоновым (1950) на юге лесостепной зоны (Шипов лес), следует, что почва в лесу получает в среднем за год на 107 мм больше влаги, чем в поле.

Наряду с этим лесная растительность в период вегетации расходует влаги больше, чем растительность безлесных пространств, и уровень грунтовых вод в лесу понижается летом интенсивнее, чем на открытых участках (Отоцкий, 1905; Высоцкий, 1952, и др.).

Следует заметить, что большой расход влаги в атмосферу вызван не только транспирацией, но еще и тем, что осадки, задержанные кронами деревьев, испаряются быстрее, чем с поверхности почвы на безлесных участках. Г.Р. Брегман и П.С. Кузин (1949) на основании анализа опытных материалов пришли к выводу, что если валовой расход влаги в атмосферу с безлесных пространств принять за 100%, то этот расход в лесу составляет: в лесостепной зоне – 120%, в лесной зоне – 150%.

В.И. Рутковский (1948), анализируя примерно те же данные, что и вышеупомянутые исследователи, вносит существенное уточнение в этот вывод. Большой расход влаги в атмосферу, по сравнению с безлесными пространствами, имеет место лишь в массивах высокопроизводительных лесов. Высокопроизводительные леса, находящиеся в хорошем состоянии и произрастающие на суглинках, расходуют влаги на 40% больше безлесных пространств (залежей). Леса малопродуктивные, молодняки и сосновые насаждения на песках расходуют примерно столько же, сколько залежи, а иногда даже меньше. По подсчетам В.И. Рутковского, в результате вырубки лесов в лесостепной зоне СССР за последнее столетие испарение в общем уменьшилось на 30-40 мм в год. Поскольку при подсчете учитывался только расход на транспирацию, фактическое уменьшение испарения должно быть несколько большим.

Наличие лесной растительности сказывается в увеличении шероховатости земной поверхности, что способствует более интенсивной турбулентности атмосферных течений. Температура воздуха над лесными массивами в жаркий период лета ниже и влажность воздуха выше, чем над безлесными пространствами. Вследствие этого повышается вероятность выпадения летних дождей. Таким образом, леса способствуют увеличению осадков.

Несмотря на увеличение осадков, под влиянием леса норма стока обычно уменьшается. Например, на Валдае средний годовой сток с площадей небольших водосборов (до нескольких сотен гектаров) под влиянием леса уменьшается на 100-110 мм и составляет всего лишь 60% от стока необлесенных водосборов (Урываев, 1953).

С увеличением размеров водосборов разница в норме стока с облесенных и необлесенных территорий уменьшается, так как часть потерь стока в верховьях рек возвращается в их среднем течении и низовьях в виде более значительного притока грунтовых вод. Однако увеличение грунтового питания не может полностью компенсировать потери речного стока, так как, во-первых, часть грунтового стока поступает непосредственно в моря, минуя реки, а во-вторых, увеличение испарения вызывает возрастание количества влаги, удаляемой с материка воздушными течениями.

Влияние леса на равномерность стока также зависит от размера бассейна. Если в малых бассейнах лес весьма существенно сказывается на сглаживании неравномерности стока, то в больших водосборах это влияние скрадывается влиянием ряда других факторов, действующих на режим стока; неодинаковость времени добегания паводков по различным притокам, неодинаковое и неодновременное выпадение осадков в различных частях бассейна, наличие расширений русла и поймы, аккумулирующих значительные объемы воды, и т. п.

По Г.Р. Брегману и П.С. Кузину (1949), лес уменьшает модули максимального весеннего стока у водосборов, имеющих площади не более нескольких сотен гектаров, в степной и лесостепной зонах в несколько десятков раз, а в лесной зоне – до трех-четырёх раз.

В бассейнах с площадью порядка нескольких квадратных километров воздействие леса на сток уже не столь велико. В Ленинградской обл. производились наблюдения над стоком 30 рек с площадями бассейнов от 15 до 2510 км<sup>2</sup>. Данные этих наблюдений сведены А.Д. Дубахом (1941) (табл. 2).

Данные таблицы наглядно показывают, что весеннее половодье и осенний паводок под влиянием леса заметно удлиняются, а межень укорачивается. Модуль стока в наиболее жаркий месяц одинаков в бассейнах с различной степенью облесенности.

Для рек средней полосы Русской равнины с площадью водосбора от 1000 до 30 000 км<sup>2</sup> И.В. Иванов (1950) получил отчетливую корреляцию между степенью облесенности и величиной параметра  $A$  в формуле максимального стока:

$$Q_{max} = AF^{0.75}.$$

С увеличением лесистости параметр  $A$  убывает вначале быстро, а затем все медленнее; при лесистости свыше 50% с дальнейшим увеличением площади леса параметр  $A$  снова несколько возрастает. Таким образом, в южной части лесной полосы регулирующее воздействие леса на сток сказывается наиболее существенно при неполном облесении территории. По-видимому, в этом случае снег располагается менее равномерно и поэтому снеготаяние протекает медленнее, чем при сплошной облесенности бассейна.

Т а б л и ц а 2

Средние модули стока с малых речных бассейнов Ленинградской обл.  
за 1927-1930 гг.  
(л/сек·га)

Лесистость, %	Месяцы						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
16-33	0,44	0,17	0,16	0,12	0,12	0,17	0,11
33-66	0,36	0,27	0,15	0,12	0,12	0,14	0,14
66-87	0,38	0,39	0,18	0,12	0,14	0,15	0,14

Влияние вырубки леса на гидрографическую сеть. В результате вырубки леса гидрографическая сеть испытывает заметные изменения, вызванные увеличением поверхностного стока, возрастанием интенсивности эрозионных процессов и ослаблением местного влагооборота.

Простой, но показательный опыт проведен Батесом и Хенри (Bates and Henry, 1928) в Рио-Грандском лесном массиве на западе США. Были найдены два одинаковых бассейна небольших ручьев ( $A$  и  $B$ ) с аналогичными почвенными и грунтовыми условиями. Бассейны ручьев имели площадь 200 акров каждый и были покрыты елово-сосновым лесом средней густоты. В каждой из долин организовано по несколько метеорологических станций.

По истечении 8 лет, когда убедились, что климатические условия в обеих долинах идентичны, в одной из них ( $B$ ) лес полностью свели. Наблюдения продолжались еще 7 лет, и было установлено, что климатические условия в долине  $B$  изменились: скорость ветра (на высоте 2 м) в среднем втрое увеличилась, температура в полуденные часы возросла на 1-2°, таяние снега стало заканчиваться на 4 дня раньше, годовой сток увеличился с 160 до 184 мм и высота пика половодья возросла в полтора раза. Средний годовой твердый сток ручья возрос в восемь раз. Количество осадков уменьшилось на 2%.

С.Л. Вендров (1953), исследуя изменения уровней нескольких больших рек Русской равнины (Оки, Северной Двины, Волги, Дона и др.), установил, что параллельно с сокращением площадей, занятых лесом, происходило снижение меженного и повышение весеннего стока. Эти изменения структуры годового стока продолжались вплоть до начала широкого внедрения агротехнических мероприятий по борьбе с засухой и эрозией почв.

В результате вырубки леса происходит неравномерное изменение транспортирующей способности потока по длине русловых систем. В верхних звеньях русловой сети (овражно-балочная сеть), вследствие резкого увеличения модуля стока, особенно паводкового, эрозионная и транспортирующая способность потока значительно возрастает. Ниже по течению, по мере возрастания площади водосбора, относительное приращение стока и мощности паводков (а следовательно, транспортирующей способности потока) постепенно становится менее и менее значительным. Таким образом, увеличивается интенсивность эрозии в верхних звеньях сис-

темы и повышается вероятность аккумуляции наносов на всем остальном ее протяжении. Из-за недостатка наблюдений трудно установить, какая часть смытого с водораздельных пространств материала оседает в местных депрессиях рельефа и какая часть – в речных долинах. Все же показательно то, что реки южной половины Русской равнины выносят лишь небольшую часть того материала, который эродируется на территории их водосборов. Так, по подсчетам Г.В. Лопатина (1949), в областях Средне-Русской возвышенности, Подольской возвышенности, южной части Урала, в бассейнах Кубани и Днепра вынос реками из бассейнов продуктов эрозии составляет 3-20% от количества смытых с поверхности склонов частиц.

Увеличение модуля поверхностного стока и развитие оврагов вызывает понижение уровня грунтовых вод на междуречных пространствах.

Заполнение наносами долин и снижение уровня грунтовых вод служат причиной того, что малые реки (верховья рек и притоки высших порядков) после вырубки лесов, как правило, отмирают, т.е. становятся сухими (летом) балками.

Увеличение речного стока должно вызвать понижение интенсивности местного влагооборота, что в свою очередь неизбежно скажется на росте засушливости климата в центральных частях материков. Идея о возможности подобных изменений климата развивалась А.И. Воейковым (1884), Г.Н. Высоцким (1911), И.И. Касаткиным (1921).

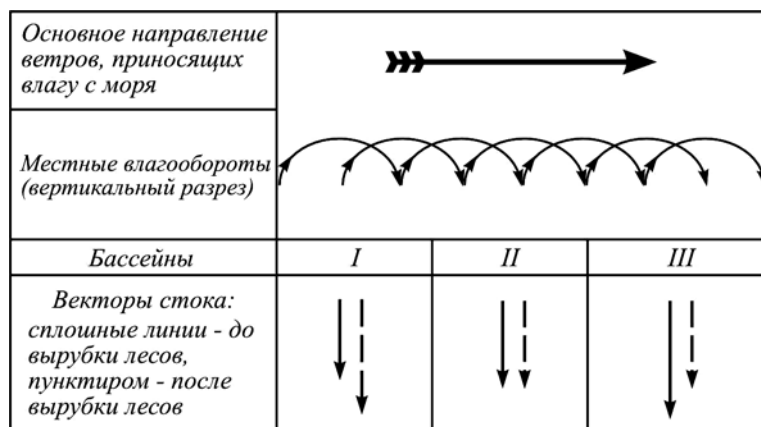
П.С. Кузин (1947) попытался определить влияние вырубки леса на изменение стока рек Русской равнины. Для этой цели им проанализированы данные о стоке ряда рек за 60-летний период. Исходя из неверной предпосылки о том, что вырубка леса якобы всегда уменьшает речной сток, П.С. Кузин, конечно, не нашел подобной зависимости и на этом основании стал отрицать вообще влияние вырубки леса на сток. *«На р. Западной Двине, – утверждает П.С. Кузин (1947), – и реках бассейна Днепра годовой сток последних лет был даже выше начального десятилетия. На Дону сток за последние годы был близок к норме. Между тем известно, что лесные площади в бассейне р. Неман, так же как и в бассейне р. Днепра, особенно в Западной области и Белоруссии, сильно вырубались и распахивались. Однако на годовых расходах воды изменения, происшедшие в ландшафте, не нашли никакого отражения».*

Рассматривая сток рек бассейна Каспийского моря, П.С. Кузин приходит к выводу, что в этих реках модульные коэффициенты годового стока к концу 60-летнего периода уменьшились по сравнению с первым десятилетием. Однако это уменьшение стока, по его мнению, не следует ставить в зависимость от увеличения вырубки лесов, так как основные лесные массивы были сведены здесь ранее рассматриваемого периода. Уменьшение стока рек Каспийского бассейна П.С. Кузин связывает с уменьшением осадков на площади этих бассейнов. Между тем на уменьшение осадков в восточной половине Русской равнины, а также в Западной Сибири и Средней Азии, наряду с изменениями общей циркуляции атмосферы, несомненно, оказало влияние и уничтожение лесов.

Представим себе для упрощения схемы большую равнинную территорию, на которую приносится влага идущим с моря воздушным течением какого-либо преимущественного направления (фиг. 2). Морские воздушные массы, обозначенные на фиг. 2 большой стрелкой, могут достигать непосредственно даже самых отдаленных от моря участков территории. Одновременно какая-то часть влаги неизбежно должна перемещаться «ступенчатым» путем: выпадая в виде осадков, снова испаряясь и снова выпадая. Пути этих местных миграций влаги весьма сложные: местными ветрами часть влаги переносится вглубь материка, но часть – в совершенно противоположную сторону. Все же в результате местных миграций (пусть они будут даже полностью беспорядочны) некоторая часть влаги из областей, более увлажненных, перейдет в области, менее увлажненные.

Допустим, что рассматриваемая территория принадлежит трем большим бассейнам рек, общее направление стока которых перпендикулярно направлению главного пути переноса атмосферной влаги. Удаляя большие объемы воды, реки способствуют прогрессивному затуханию интенсивности местного влагооборота от окраин вглубь материка, т.е. уменьшению в этом направлении осадков, испарения и стока.

Если уничтожить лес на всей площади такого материка, то в ближайшем к морю бассейне сток увеличится (пунктирные стрелки) и уменьшится доля влаги, попадавшая в виде осадков в средний бассейн, где все же, вследствие увеличившегося коэффициента стока, абсолютная величина стока может остаться постоянной. Но в наиболее удаленном бассейне количество осадков может настолько уменьшиться, что, несмотря на увеличенный коэффициент стока, слой стока понизится.



Фиг. 2. Изменение стока рек в результате уничтожения лесов.

Итак, в результате вырубki леса произойдет уменьшение стока в наиболее удаленных от моря бассейнах и увеличение стока в ближайших к морю бассейнах, причем неизбежно должна быть некоторая промежуточная полоса, в пределах которой абсолютная величина стока остается постоянной. На территории Европы в такую промежуточную полосу попадает, вероятно, бассейн Дона, где сток почти не изменился. Правда, в результате некоторого повышения температуры центральной части материка (вызванной уменьшенным испарением) усилится так называемый большой круговорот влаги, т.е. непосредственное проникновение на сушу влаги, испарившейся с поверхности моря, но условия для конденсации влаги в центральной части материка при повышении температуры ухудшатся, и усиление большого круговорота не сможет сгладить увеличившейся неравномерности распределения влаги. Возрастание неравномерности распределения осадков по территории сопровождается усилением неравномерности их выпадения во времени, так как к центру материка главные осадки будут приноситься в периоды глубокого проникновения морских воздушных масс, а роль осадков «местного» происхождения будет менее значительной.

Не трудно видеть, что намеченная схема трансформации стока принципиально не изменится, если вырубka леса произойдет лишь в пределах бассейна *I*; увеличение стока с бассейна периферического неизбежно должно сопровождаться уменьшением стока с центрального бассейна.



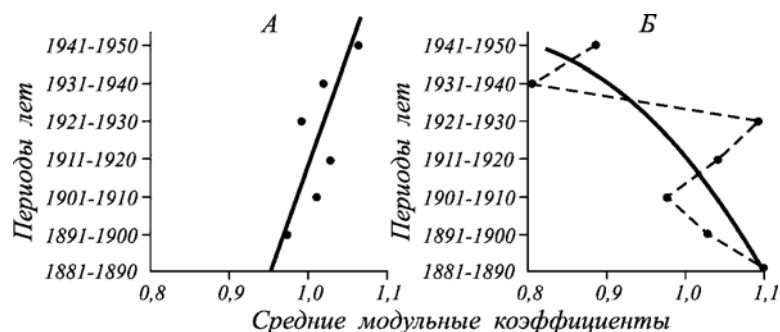
Средние годовые (по десятилетиям) расходы воды и модульные коэффициенты стока главнейших рек Европейской части СССР

Десятилетие	Бассейны Балтийского, Черного, Азовского морей							Бассейн Каспийского моря						
	р. Неман – Сталинский, $F = 81\ 230\ \text{км}^2$	р. Западная Двина – Ви-тебск, $F = 21\ 270\ \text{км}^2$	р. Днепр – Смоленск, $F = 14\ 080\ \text{км}^2$	р. Березина – Бобруйск, $F = 20\ 240\ \text{км}^2$	р. Припять – Мозырь, $F = 97\ 190\ \text{км}^2$	р. Днепр – Верхне-Днепровск, $F = 434\ 600\ \text{км}^2$	р. Дон – Калач, $F = 221\ 600\ \text{км}^2$	р. Волга – Чкалов, $F = 227\ 900\ \text{км}^2$	р. Ока – Горбагов, $F = 24\ 500\ \text{км}^2$	р. Чусовая – Верхне-Чусовские Городки, $F = 23\ 900\ \text{км}^2$	р. Кама – Мологов, $F = 167\ 800\ \text{км}^2$	р. Белая – Уфа, $F = 100\ 500\ \text{км}^2$	р. Вятка – Киров, $F = 48\ 300\ \text{км}^2$	р. Волга – Сталинград, $F = 1\ 354\ 000\ \text{км}^2$
Средние годовые расходы воды ( $\text{м}^3/\text{сек}$ )														
1881-1890	551	191	85,0	113	(375)	1436	734	1633	1505	267	1680	829	404	9085
1891-1900	552	219	26,4	111	365	1485	647	1652	1244	222	1710	760	430	8255
1901-1910	580	256	113	123	348	1558	574	1790	1228	196	1540	695	382	7751
1911-1920	534	217	91,2	124	436	1644	783	1756	1188	243	1690	828	395	8477
1921-1930	575	237	93,8	110	364	1440	717	1776	1227	260	1860	846	403	8972
1931-1940	598	205	99,7	127	418	1843	543	1450	1136	172	1330	517	268	6430
1941-1945	543	-	-	-	-	(1936)	667	1300	1035	-	1600	-	-	7474
Средние	562	219	96,5	118	385	1585	666	1650	1240	226	1630	746	380	8110
Модульные коэффициенты														
1881-1890	0,98	0,87	0,88	0,96	(0,97)	0,91	1,10	0,99	1,21	1,16	1,03	1,08	1,06	1,12
1891-1900	0,98	1,00	1,00	0,94	0,95	0,94	0,97	1,00	1,00	0,96	1,05	1,00	1,13	1,02
1901-1910	1,03	1,17	1,17	1,04	0,90	0,98	0,86	1,08	0,99	0,85	0,95	0,91	1,01	0,96
1911-1920	0,95	0,94	0,94	1,05	1,13	1,04	1,18	1,06	0,96	1,05	1,04	1,08	1,04	1,05
1921-1930	1,02	1,08	0,97	0,93	0,95	0,91	1,08	1,08	0,99	1,12	1,14	1,11	1,06	1,11
1931-1940	1,06	0,94	1,03	1,08	1,09	1,16	0,82	0,88	0,92	0,74	0,82	0,68	0,71	0,80
1941-1945	0,97	-	-	-	-	(1,22)	1,00	0,79	0,84	-	0,98	-	-	0,92

Примечание. Скобками обозначен неполный период наблюдений.

Для иллюстрации этой схемы рассмотрим данные о стоке рек средней и южной частей Русской равнины, опубликованные в вышеупомянутой работе П.С. Кузина. В табл. 3 приведены средние годовые расходы воды за отдельные десятилетия, начиная с 1881 г. Если подсчитать средние значения модульных коэффициентов отдельно для рек, впадающих в Каспийское море, и отдельно для рек черноморско-азовского и балтийского бассейнов (табл. 4), то отчетливо заметна тенденция в первом случае в сторону уменьшения стока, а во втором – увеличения.

Попутно отметим, что на графике, построенном по данным табл. 4 (фиг. 3), разброс точек, соответствующих десятилетним величинам модульных коэффициентов рек бассейнов Балтийского, Азовского и Черного морей, относительно невелик, что же касается рек Каспийского бассейна, то соответствующие точки сильно отклоняются от общего направления кривой. Соединив точки в хронологическом порядке пунктирной линией, мы обнаружим два периода сильного уменьшения стока: в 1900-х годах и в 1930-х годах.



Фиг. 3. Изменение модульных коэффициентов стока рек Русской равнины за период с 1881 по 1945 г.

*А – бассейны Балтийского, Черного и Азовского морей; Б – бассейн Каспийского моря.*

Т а б л и ц а 4

**Средние значения модульных коэффициентов стока по десятилетиям**

Бассейны Балтийского, Черного и Азовского морей		Бассейн Каспийского моря	
Годы	Средние модульные коэффициенты	Годы	Средние модульные коэффициенты
1881-1890	0,95	1881-1890	1,09
1891-1900	0,97	1891-1900	1,02
1901-1910	1,01	1901-1910	0,97
1911-1920	1,03	1911-1920	1,04
1921-1930	0,99	1921-1930	1,09
1931-1940	1,02	1931-1940	0,80
1941-1945	1,06	1941-1945	0,88

Имеется еще ряд доказательств того, что уменьшение лесных площадей на территории Европы вызвало изменения климата в Восточной Европе и прилегающей части Азии, приблизительно соответствующие вышеприведенной схеме.



С.В. Бруевич (1949), на основании анализа химического состава отложений в восточной части южного и среднего Каспия, утверждает, что последнее тысячелетие характеризуется понижением волжского стока и усиленным приносом эолового материала, что свидетельствует об увеличении сухости климата Прикаспийской впадины. Развалины значительных городов на ныне пересыхающих реках Центрального Казахстана и северного Приаралья и остатки крупных оросительных систем, питавшихся этими реками (Маргулин, 1950), свидетельствуют об уменьшении стока рек данных областей. М.Е. Массон (1948), на основании исследований характера годовых колец срезов деревьев в балках исторических зданий и анализа исторических данных, считает возможным утверждать, что в Средней Азии с X в. началось сокращение осадков и некоторое потепление; особенно отчетливо нарастание засушливости проявилось с середины XVI в. Ряд фактов, свидетельствующих о расширении среднеазиатских пустынь на памяти человека, собрал П.П. Предтеченский (1946). Уменьшение густоты гидрографической сети Западной Сибири, происшедшее за последние 100-150 лет, установлено исследованиями Н.М. Ядринцева (1886), Н. Высоцкого (1896), М.С. Цыганова (1950), И.В. Зыкова (1950) и др. Вследствие этого трудно согласиться с утверждениями некоторых авторов о стабильности климатических условий в Средней Азии.

Что же касается территорий к западу от Дона, то здесь сток рек если и не возрос в течение исторического периода, то и не уменьшился сколько-нибудь значительно. Так, Б.Б. Польшов (1926) утверждал, что сток Дона, по крайней мере со времени Петра I, существенно не изменяется. Во всяком случае, глубины в межень на р. Дон в то время не были больше современных. К. Крюйс, составивший первое детальное описание фарватера этой реки, указывал, что движение судов возможно лишь с апреля по июнь, а *«в июле, августе и все последующие месяцы горизонт падает настолько значительно, что в некоторых местах воды остается только 1,5 фута»* (цитируется по Штукенбергу – Stuckenberg, 1844).

Е.В. Оппоков (1932), проанализировав собранные им сведения об уровнях Днепра, считал, что сток этой реки в исторический период *«во всяком случае не уменьшился»*. К аналогичному выводу еще ранее пришел Н.И. Максимович (1901), ссылающийся на летопись, согласно которой в XI и XII вв. Днепр легко переходили вброд в нескольких местах от Киева до порогов. Мелким был Днепр на ряде участков и во времена Петра I. В письме гетмана Мазепы к графу Головкину от 6 октября 1708 г. сообщается: *«Во время нынешней настоящей суши на многих местах так Днепр повысыхал, что вброд коньми через оный переезжают, а меж Переяславлем и Теректемировым два броды так мелкие вновь на Днепре появились, что через оный люди возами ездят»* (Максимович, 1901).

В отношении рек Западной Европы одно время считалось доказанным, что сток их уменьшился в результате вырубки лесов. Основанием для такого суждения явились результаты исследования Векса (Wex, 1874), который, собрав сведения об уровнях воды на Рейне (за период 50-70 лет), Эльбе (за 142 года), Одере (за 58 лет), Висле (за 63 года) и некоторых других реках, установил, что среднегодовой и минимальный уровни имеют заметную тенденцию к снижению. Отсюда Веке вывел заключение о том, что сток рек Европы уменьшается. Этот вывод лишен серьезного основания; в тот период, для которого Векс собрал сведения об уровнях, на реках Западной Европы производились в весьма широком масштабе работы по регулированию русел (спрямление излучин, выравнивание порогов и т. п.), значительно «посадившие» уровни рек. В течение последних десятилетий, когда начались систематические измерения расходов воды в реках, никакой тенденции к уменьшению стока рек Западной Европы не замечено.

Некоторые авторы (В.В. Рахманов, Л.М. Сидоркина и др.) до сих пор еще поддерживают ошибочное мнение о том, что будто бы облесение водосбора увеличивает норму речного стока. Так, Д.Л. Соколовский в своем труде «Речной сток» (1952) приводит составленную Л.М. Сидоркиной таблицу, в которой подобраны данные о слое стока и проценте лесистости ряда водосборов. При поверхностном ознакомлении с таблицей действительно складывается впечатление о прямой зависимости между лесистостью и нормой стока. Более внимательный анализ, однако, показывает, что автор перепутал причину и следствие. В лесостепи и южной половине лесной полосы наилучшие условия для произрастания леса создаются на участках с большим количеством осадков и слоем стока. Например, сравниваемые в таблице бассейны рек Керженца и Меши, несомненно, имеют разные условия для произрастания леса и формирования стока, так как бассейн первой на 300 км западнее бассейна второй.

Существенно, что наиболее сильным засухам на юге Русской равнины в текущее столетие (в 1920-1921 и 1946 гг.) предшествовали периоды массового истребления строевых лесов на западных окраинах СССР и в ряде стран Западной Европы, когда эти территории становились театрами военных действий. Особенно значительные площади были обезлесены в последнюю войну: *«В СССР немецко-фашистскими захватчиками и их пособниками было опустошено и вырублено свыше 2,0 млн. га лесов. Англия принуждена была вырубить на Британских островах две трети своих хвойных и треть лиственных лесов. Польша потеряла около четверти, Франция 15% запасов древесины на корню. В Чехословакии, Бельгии и Дании гитлеровцы вырубili 200% годичной лесосеки, а в Греции – 25% запасов строевой древесины. Гитлеровская Германия затратила 40% запасов своих лесов...»* (Гурвич, 1950).

Уменьшение интенсивности местного влагооборота, несомненно, сказывалось на увеличении вероятности сильных засух.

Устройство крупных водохранилищ на западе нашей страны, а также в Польше, Чехословакии, Венгрии, Румынии и Болгарии, развитие орошения на юге Русской равнины, задержание поверхностного стока агротехническими, лесотехническими и гидротехническими методами, увеличение урожайности, вызывающее повышение продуктивного испарения, – все эти мероприятия в значительной мере увеличат интенсивность местного влагооборота и будут способствовать повышению обеспеченности осадками юга равнины и Арало-Каспийской впадины. По данным С.Л. Вендрова (1953), структура стока Дона в последние годы заметно изменяется в сторону снижения максимальных паводочных расходов и повышения меженных, в чем, безусловно, сказываются новая колхозная агротехническая практика, улучшение лесного хозяйства и увеличение числа водохранилищ.

Влияние поверхностного стока на растительность. Если растительность является существенным фактором, воздействующим на гидрологические процессы, то, в свою очередь, *«наиболее отчетливо роль стока как географического фактора проявляется в распределении наземной растительности»* (Муравейский, 1948).

Гидрографическая сеть, будучи коллектором склонового стока и стока грунтового, определяет условия дренажа территории. Дренирующее влияние рек наиболее отчетливо сказывается в заболоченных районах, где хороший строевой лес встречается только по берегам рек и качество леса ухудшается по мере приближения к водоразделу.

С другой стороны, именно речные долины, являющиеся пониженными элементами рельефа, становятся в ряде случаев центрами наиболее интенсивного заболачивания. Многие мощные месторождения торфа располагаются на террасах речных

долин; выровненные поверхности террас способствуют застаиванию талых и дождевых вод.

Заболоченность речных пойм в значительной мере определяется особенностями режима уровней рек. Если половодье продолжительное и годовая амплитуда уровней воды в реке небольшая, то поверхность поймы не только подвергается длительному затоплению полыми водами, но и в межень почва находится под воздействием капиллярного увлажнения вследствие высокого уровня грунтовых вод.

На реках, режим которых характеризуется большой амплитудой уровней, в период межени наблюдается довольно значительное понижение грунтовых вод в пойме, вследствие чего заболоченность здесь меньше.

Классическим примером реки с заболоченной поймой является Припять выше Мозыря, вследствие малой амплитуды уровней воды и продолжительности половодья; широкая пойма этой реки почти сплошь заболочена. В противоположность этому верхняя Ока, имеющая высокое и непродолжительное половодье, характеризуется поймой, настолько хорошо дренированной, что ее площадь широко используется под огородные, технические и даже зерновые культуры.

Нельзя не отметить, что поскольку степень заболоченности долины зависит от ряда факторов, не связанных непосредственно с климатическими условиями, постольку по изменению характера остатков растительности в отложениях террас нельзя точно определить ход изменений климата. Ф.Н. Мильков (1950), например, основываясь на значительном распространении погребенных торфяников с остатками керамики бронзового века в долине Илека и в долинах притоков Самары, считает, что в суббореальный период на территории степного Заволжья был довольно влажный климат. Между тем режим современной Самары в значительной мере определяется режимом половодий Волги (подпор в половодье распространяется примерно на 500 км вверх по Самаре), и без данных о режиме Волги в суббореальный период нельзя судить по степени заболоченности пойм ее малых притоков о характере климата в это время.

Эволюция речных систем вызывает изменения гидрологического режима рек, в свою очередь влекущие за собой трансформацию водного режима почв долины, перемещение микроклиматических «зон» и коренное изменение растительного покрова. Все эти изменения на поверхности поймы могут совершаться в известной степени независимо от тех колебаний климата, которые происходят на междуречных пространствах.

Особенности микроклимата речных долин, характерные свойства почв, развивающихся на аллювии, и, наконец, легкость расселения растений по направлению течения реки – все это способствует значительному нарушению границ растительных зон в местах пересечения их долинами. Общеизвестно, что *«реки служат проводниками лесной растительности и на север – в тундры и на юг – в степи и полупустыни»* (Келлер, 1938).

В долине Лены, например, лесные заросли распространяются до 72-ой параллели, не доходя всего 100 км до моря, тогда как в плакорных условиях северная граница леса расположена в 250-300 км от побережья.

Сосновые боры довольно далеко заходят в глубину степной зоны по долинам рек. По днепровской долине прерывистая полоса боров доходит до Черкасс, по долине Дона – до впадения р. Боровой. В долине р. Воронежа сосновые леса есть у Липецка, Мичуринска и Воронежа. На р. Битюг расположен Хреновской бор.

Наличие температурных инверсий, медленное таяние снегов, затененные крутыми склонами, плохой дренаж отдельных участков поверхности широких террас, сильное нагревание песчаных наносов – факторы, способствующие нарушению указанной закономерности. Нередко приходится наблюдать, как на северной границе

лесов представители более северных элементов флоры местами далеко распространяются к югу по речным долинам (Сочава, 1948; Шенников, 1938; Грушвицкий, 1948, и др.), или как полосы степей (Приволжская возвышенность, Забайкалье) по речным террасам вклиниваются в лесную зону, а развеваемые пески пустыни вклиниваются в степь. Сложная смена климатических и почвенных условий способствует значительной пестроте в распределении растительных группировок в речных долинах.

## РЕКИ И ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Водные потоки производят сортировку наносов по их удельному весу и крупности и перемещают огромные количества растворенных веществ, непрерывно видоизменяя свойства почв и условия для произрастания растительности.

Сортировка наносов по крупности и удельному весу частиц иногда сказывается на характере почв значительной части площади той или иной равнины. Так, в туркменских Кара-Кумах, пески которых представляют собой в основном перевеянный аллювий Аму-Дарьи, Мургаба и Теджена<sup>1</sup>, наблюдается довольно последовательное изменение механического и минералогического состава поверхностных отложений с юго-востока на северо-запад. В указанном направлении уменьшается крупность наносов и уменьшается процент тяжелых частиц (Прохорова, 1950). В покровных отложениях южной половины Русской равнины также намечается постепенное увеличение процента содержания мелких частиц по направлению течения главных водных артерий, т.е. с севера на юг, причем это явление наблюдается не только в пределах долин, но до некоторой степени и на междуречных пространствах (Берг, 1947).

Огромное количество продуктов смыва почв междуречных пространств сносится в речные долины, отлагаясь частично в поймах, где за счет принесенного материала формируются высокоплодородные почвы. По образному выражению Р.А. Еленевского (1936): *«Пойма, благодаря своему топографическому положению и специфическим особенностям своей природы, является той грандиозной природной копилкой, в которую сносится и где накапливается в течение многих веков и тысячелетий... большое потенциальное богатство».*

Миграция растворенных веществ также приводит к своеобразному распределению продуктов выветривания по направлению движения водных потоков. По Б.Б. Польшову, следует различать три типа режима миграций, которые соответствуют трем характерным пунктам. Из них первый расположен на водоразделе и не получает материала со стороны; второй расположен на склоне и получает материал с вышележащих участков, одновременно являясь поставщиком материала для нижележащих участков. Третий пункт расположен в депрессии; *«он получает материал отовсюду и ничего не отдает»* (Польшов, 1944).

Поток продуктов выветривания, двигающийся в сторону преобладающего направления стока вод, определяет некоторую геохимическую «зональность» в пределах речных бассейнов, выражающуюся в обеднении легкорастворимыми веществами областей истоков и накоплении этих элементов в области дельт. Образование солончаковых почв наблюдается в дельтовых областях при весьма различных климатических условиях, например в дельте Инда, Риона, Енисея (Польшов, 1934). По пути к приемным бассейнам, в зависимости от ряда условий (характера почвообразования, биологических процессов, первичного состава коренных пород и т.д.), химизм вод непрерывно меняется. В связи с этим *«каждая река имеет свою химиче-*

---

<sup>1</sup> За исключением районов древнекаспийских трансгрессий.

скую индивидуальность...» (Вернадский, 1936). Наряду с этим прослеживается наличие определенной общей зональности в химизме речных вод. Так, В.И. Вернадский установил, что в Северной Америке к востоку от Миссури, в реках, имеющих области питания на хорошо увлажненных, богатых растительностью территориях, состав растворенных солей характеризуется обилием  $\text{CaCO}_3$ ; в областях с засушливым климатом, расположенных к западу от Миссури, речная вода содержит более сульфатов, чем карбонатов, а в составе катионов видное место занимает натрий. Такого же характера смена солевого состава речной воды установлена для равнинных территорий СССР (Абрамович, 1948; Алекин, 1950, и др.).

Минерализация речных вод на территории Русской равнины в среднем увеличивается к югу и юго-востоку. По мере роста минерализации в этих же направлениях повышается удельное содержание  $\text{SO}_4$ , а затем  $\text{Cl}$ ; параллельно с этим ослабляется доминирующая роль  $\text{Ca}$  – главным образом за счет повышения содержания  $\text{Na}$ .

### ТЕКТОНИКА И РАБОТА РЕК

Вопрос о влиянии тектонических движений земной коры на работу рек становится все более актуальным, так как правильное решение ряда практических задач, стоящих перед современной гидротехникой, невозможно без учета того комплекса изменений, которые испытывает речная система под влиянием факторов, не зависящих от работы потока.

По Н.И. Николаеву (1949), новейшие тектонические движения проявляются на всей территории Европейской части СССР.

В течение четвертичного периода, по его подсчетам, амплитуда тектонических колебаний Русской платформы составила величину порядка 200-300 м, а для зоны альпийской складчатости – порядка 3-5 км. Отсюда средняя скорость вертикальных перемещений определяется для Русской платформы десятками и сотыми долями миллиметра в год, а для зоны альпийской складчатости скорости доходят до 2-3 см в год.

Интересные данные были получены Ю.А. Мещеряковым и М.И. Синягиной (1951) в результате сличения повторных нивелировок в Предкавказье, Донбассе и на Средне-Русской возвышенности. По этим данным, обычные скорости поднятия или опускания отдельных участков поверхности Русской равнины составляют 3-10 мм в год. Положительные «структурно-геоморфологические» элементы характеризуются поднятием, отрицательные – опусканием, и в настоящее время Азово-Кубанская впадина опускается со скоростью 3-5 мм в год, поднятие Донбасса и Азовского массива происходит со скоростью 6-10 мм в год. Данные этих наблюдений еще требуют проверки и уточнения, но, во всяком случае, представление о стабильности Русской равнины должно быть забыто.

Колебательные движения земной коры могут вызвать миграцию рек, изменение режима стока и изменение интенсивности эрозии. В литературе по региональным описаниям различных стран можно найти немало примеров миграции речных систем.

Миграциям речной сети Австралии, например, уделено много внимания в трудах В. Хаукина (Howchin, 1931), по мнению которого, разрывы современной речной сети и бессточные бассейны в Южной Австралии произошли в результате недавнего поднятия, образовавшего на прибрежной равнине новый водораздел, отлогий склон которого простирается на 500 миль от Аделаиды до Керии. Реки не могли преодолеть этого барьера и, заполнив долины наносами, прекратили свое существование.

В связи с наблюдающимся в настоящее время относительным поднятием северного побережья Великих озер Северной Америки имеется много предположений о судьбе гидрографической сети в этом районе. Так, по мнению Фримэна (Physics of the Earth, 1942), сток из оз. Великого происходил в прошлом через р. Оттаву, а р. Св.



Лаврентия образовалась недавно. В будущем сток из озера должен направиться в долину Миссисипи.

Большое внимание в литературе по региональной геологии уделяется исследованию влияния местных тектонических движений на детали морфологии речных долин и русел. Так, по мнению Н.С. Шатского (1922), конфигурация излучин р. Волги в районе Камышин-Вольск определена дугообразными разломами. М.Ф. Колбин (1948) произвел весьма интересные наблюдения на нижней Волге, показавшие, что некоторые изгибы правого коренного берега связаны с куполовидными поднятиями. Этими же куполами, по мнению М.Ф. Колбина, вызвано отклонение течения Волги к востоку ниже Сталинграда. В.В. Ламакин (1948) объясняет чередование сужения и расширения (четковидность) в речных долинах местными прогибами земной коры, чередующимися вдоль по течению с участками относительного поднятия (например, долины средней Печоры и верхней Вычегды). Связь гидрографической сети с системами тектонических трещин в известняках установлена в районе Самарской Луки А.С. Барковым и Н.И. Соколовым (1933). Последний из названных авторов считает, что на формирование русла р. Ангары также заметное влияние оказало направление трещиноватости в породах (1937).

Необходимо все же отметить, что многие исследователи рассматривают трещины в долинах рек как следствие долинообразования. В результате углубления долины слагающие ее склоны породы испытывают своеобразные напряжения, которые способствуют образованию «трещин скола», параллельных бровкам долин. *«Они обнаружены в породах различной плотности и возраста (известняки палеозоя, верхнемеловые породы и т.д.) в долинах рек Дона, Волги и некоторых других»* (Инженерно-геологические исследования для гидроэнергетического строительства, 1950). Описанию «отседания» склонов речных долин в Средней Сибири посвящена статья Е.И. Сахарова (1950), по данным которого, такие трещины можно наблюдать как в траппах, так и в осадочных породах; блоки породы медленно сползают в сторону долины, и следы трещин скола хорошо заметны в рельефе в виде ложбин, параллельных долине.

Вообще в геоморфологической и геологической литературе для объяснения многих особенностей эрозионного рельефа, которые логичнее было бы связывать с закономерностями эрозионных процессов (особенностей конфигурации водосборов, поперечного и продольного профилей долин и т. п.), принято привлекать в первую очередь причины тектонические. Некоторые авторы (Р. Хортон, А.А. Вирский и др.) настолько далеко идут в этом отношении, что полностью игнорируют активную роль эрозии в формировании рельефа, считая, что гидрографическая сеть может только приспособляться к тем первичным поверхностям, которые создаются тектоникой. А.А. Вирский (1948), например, заявляет, что ему *«пришлось отказаться от признания возможности изменения структуры рельефа современным эрозионным процессом»*.

Тектонические колебания земной поверхности, несомненно, оказывают огромное влияние на конфигурацию речной сети и формы долин, но не следует забывать, что в формировании рельефа земной поверхности эндогенный и экзогенный (денудационный) процессы *«представляют величины одного порядка»* (Марков, 1948). Вследствие этого при анализе рельефа областей со сложной тектонической структурой можно обнаружить примеры несогласия эрозионного рельефа с элементами «первичного», созданного тектоникой, рельефа в количестве не меньшем, чем примеры «соответствия».

Так, анализируя строение рельефа Урала, И.П. Герасимов (1948) приходит к выводу, что одной из характернейших его особенностей является *«несоответствие современного орографического строения Южного и Среднего Урала типам его»*

геологических структур». Далее И.П. Герасимов отмечает, что *«подобное несоответствие не исключает случаев частного соответствия морфологических и структурных форм. Однако такие случаи обязаны преимущественно пассивной роли тектоники, определяющей выход на поверхность, а также те или иные контуры горных пород различной устойчивости размыву»*. В Центрально-Казахстанском мелкосопочнике также наблюдается слабая выраженность в рельефе основных тектонических линий. *«Если в некоторых случаях они и имеют известное отражение, то это обычно объясняется тем, что такого рода линии связаны с контактами пород различной устойчивости к выветриванию»* (Герасимов, 1943). В южных Карпатах, по Э. Мартонну (1945), *«наблюдается замечательное несоответствие между гидрографической сетью и рельефом, с одной стороны, и тектоникой – с другой»*. Особенно поразительно несоответствие основной схемы зависящего от тектоники рельефа и гидрографической сети в Южных Андах: реки западного склона прорезали эти колоссальные горы и берут начало у подошвы восточного склона.

Результаты взаимодействия тектоники и эрозии в основном зависят от скорости тектонических движений, от интенсивности эрозии и от противоэрозионной стойкости пород.

Причины того, что многие реки сохраняют свое направление, несмотря на влияние поднятий и складок, заключаются в том, что деформации речных русел, происходящие в результате эрозии или аккумуляции, по своей интенсивности в ряде случаев представляют величину иного порядка, чем процессы тектонические.

Интенсивность эпейрогенических колебаний, как указывалось выше, редко превосходит несколько сантиметров в год, между тем как река, текущая в ложе из осадочных пород, может в несколько дней или даже часов изменять отметки дна (в результате аккумуляции или размыва) в отдельном отрезке своего течения на такую величину, которая с избытком перекрывает результаты деятельности тектоники более длительного периода.

Даже такая «спокойная» река, как Ока, образовала, например, за период половодья 1926 г. в районе Молитова глубокий плес. По сохранившимся промерам Молитовского рейда можно установить, что меженная глубина здесь увеличилась с 3-4 до 10 м, т.е. отметки дна снизились на 7 м. Так как большие глубины образовались также возле ледорезов, находящихся на 1,5 км выше по реке, то, следовательно, размыв произошел на значительной площади. Большая глубина здесь существовала 3-4 года. Западная Двина, перегороженная в 1901 г. ледяным затором, прорыла в девонских доломитах и мергелях в течение 34 часов боковую ложбину глубиной от 1 до 3,5 м. В новом устье р. Риони мы наблюдали в 1941 г. размывы, глубина которых в течение двух недель достигла 16,5 м. На р. Миссури Л.Г. Штрауб наблюдал понижения дна русла до 15 футов в течение одного дня (Physics of the Earth, 1942). В августе 1933 г. в результате сильного паводка р. Желтая у Лунгмена углубила в течение 12 часов русло на 10 м на ширине 1000 м и на значительном протяжении по длине, так что объем размыва составил около 7 млрд. кубических футов (Hydrology of Jellow river, 1937). Б.К. Штегман (1948) описывает случай почти моментального образования террас на малых реках в предгорьях Заилийского Ала-Тау во время ливня 16 мая 1947 г., когда русла рек врезались на 1-1,5 м, образовав террасы, прослеживаемые на значительном расстоянии. Эти террасы, по словам Штегмана, *«могли бы навести на мысль о недавнем вертикальном перемещении базисов эрозии ручьев»*.

Следовательно, те нарушения формы продольного профиля или конфигурации русла в плане, которые происходят при местных колебаниях земной коры, могут сглаживаться работой течения практически моментально и не оказывать заметного влияния на развитие речной системы, за исключением, конечно, таких случаев, ко-

гда: а) тектонические деформации носят катастрофический характер<sup>1</sup> и б) когда скорость размыва меньше, чем скорость смещения русла под влиянием тектонических движений. Последнее имеет место обычно в тех случаях, когда долина реки проходит в плотных скальных породах или когда мощность потока незначительна.

Скорость прорезывания русла в скальных породах сравнительно невелика. Так, по наблюдениям Мартэна (Penck, 1894), камни на гребне переливной плотины, построенной в 1844 г. выше Ворчестера в Северне, были истерты к 1887 г. на 40 см, т.е. в среднем гребень плотины понижался на 1 см в год. По данным Ляйэля, р. Симето, будучи перегорожена 200 лет назад потоком лавы из Этны, прорезала в толще лавы новое русло глубиной 12-15 м и шириной от 15 до 100 м. Следовательно, средняя годовая величина врезания русла была порядка 6-7 см. Таким образом, на участках выходов скальных пород углубление русла может значительно задерживаться по сравнению с участками, сложенными более мягкими породами. При этом необходимо иметь в виду, что более или менее интенсивная эрозия скальных пород начинается только тогда, когда тектоническое смещение вызовет значительную деформацию русла, способствующую достаточно сильному местному увеличению скорости течения.

Все же выходы твердых пород не всегда сказываются на конфигурации русла. В Забайкалье, например, реки (Селенга, Джида, Хилок и др.) зачастую обходят депрессии, сложенные рыхлыми осадочными породами, отклоняясь к подножьям обрамляющих их хребтов. При этом, по словам Н.А. Флоренсова (1948), они *«углубляются в область предгорий, всегда сложенных кристаллическими породами, образуют в них короткие эпигенетические ущелья и оставляют отрезанные от основного горного массива останцовые возвышенности»*. Поразительным примером подобного рода может служить р. Ориноко: протекая по окраине огромной низменной равнины, она врезается в кристаллический массив Гвианского нагорья, отчленяя его отроги, вместо того, чтобы спокойно течь по равнине.

В гидротехнической практике часто приходится встречаться со случаями, когда река размывает каменные сооружения и продолжает аккумуляцию на тех отмелях, которые предполагалось при помощи этих сооружений размыть. Поэтому неудивительно, что реки иногда продолжают прокладывать дорогу на «неудобных», поднимающихся участках, оставляя в стороне более «удобные» – сложенные рыхлыми породами и низменные места.

Эпейрогенетические колебания, несомненно, оказывают огромное влияние на русловые процессы в тех случаях, когда они распространяются на значительную территорию бассейна речной системы, изменяют общее падение реки и (при значительных амплитудах колебаний) климатические условия бассейна, т.е. постепенно изменяют характер всего ландшафта, а следовательно, и режим рек. Чтобы судить о скорости, с которой может происходить образование долин, приведем результаты подсчета, выполненного Лейтером для системы р. Колорадо (Leuter, 1936). Реставрировав приблизительно «первичный» рельеф, т.е. рельеф, существовавший во время отступления моря, он определил объем снесенного материала равным 38100 км<sup>3</sup> и, разделив эту цифру на объем среднегодового твердого стока Колорадо в створе у Юма, получил, что время, необходимое для врезания речных долин, составляет 1500000 лет.

При определении твердого стока Лейтер, однако, не учитывал влекомые наносы и растворенные в воде вещества. Если прибавить и эти элементы твердого стока, то средний годовой объем выноса получается на 25% больше (Волин, 1946). Если же учесть, что в среднем течении русло реки врезалось в кристаллические сланцы ар-

---

<sup>1</sup> После большого семиреченского землетрясения в 1911 г. на р. Б. Ак-Су и ее притоках появилось несколько порогов и подпруженных ими озер (Мушкетов, 1924).



хея<sup>1</sup>, а также и то, что часть твердого материала, возможно, была удалена ветром, то период, полученный вышеприведенным расчетом, можно уменьшить по крайней мере на 50%. Следовательно, система каньонов, глубина которых доходит до 1800 м при средней ширине 20 км, могла быть образована за период короче 1 млн. лет.

Необходимо заметить, что р. Колорадо по интенсивности современной эрозии не представляет какого-либо исключения среди других полугорных рек аналогичного размера. В табл. 5 приведены величины средних модулей смыва для рек Колорадо, По, Куры, Аму-Дарья (Волин, 1946), Вахша (Шульц, 1949), Чинг-Хо (Hydrology of the Jellow river, 1947).

Т а б л и ц а 5

**Модули твердого стока больших полугорных рек**

Река	Пункт наблюдения	Вес материала, выносимого с 1 км <sup>2</sup> за год, т
Колорадо	Юма	357
По	Понтелагоскуро	327
Кура	Мингечаур	459
Аму-Дарья	Керки	800
Вахш	Сарбантская	2612
Чинг-Хо (приток р. Хуанхэ)	Чангчиашэн	7190

Теми примерами, которые приведены в настоящей главе, далеко не исчерпываются все разнообразие взаимосвязей, определяющих роль рек в процессе развития физико-географической среды. Если бы мы ставили своей задачей систематическое рассмотрение всей проблемы взаимосвязи в целом, то следовало бы остановиться еще на ряде вопросов, как например, влияние на тектонические процессы разгрузок и нагрузок земной коры, происходящих в результате эрозионно-аккумулятивной деятельности потоков; взаимное влияние эрозионно-аккумулятивной работы морских течений и рек, влияние рек на животный мир и др. Тем не менее изложенного здесь достаточно, чтобы обоснованно утверждать, что водная сеть любой территории является продуктом взаимодействия всех факторов, формирующих ландшафт, и что в зависимости от конкретных условий развития последнего должно изменяться и «гидрологическое звено» физико-географических процессов. Отсюда следует, что возможность изолированного развития «водно-эрозионных циклов» так же неправдоподобна, как возможность развития почвенного покрова вне связи с климатом, растительностью, рельефом и прочими элементами физико-географической среды. Нельзя, например, установить универсальные законы развития рек, если рассмотреть только взаимоотношение тектоники и эрозии, как это было сделано В. Дэвисом для построения его известной схемы циклов. Такие схемы могут быть верными только в отдельных, частных случаях. Аналогичный недостаток присущ многим схемам «чистой» гидрологии, рассматривающим речной сток без достаточного учета влияния на него геоморфологических факторов: глубины эрозионного вреза, конфигурации и размера водосбора, среднего продольного уклона и др.

<sup>1</sup> По Б.В. Полякову (1946, а, б), объем твердого стока, при прочих равных условиях, в реках с каменным ложем в среднем вдвое меньше, чем в руслах песчано-глинистых, и вчетверо меньше, чем в руслах с лёссовыми берегами. Вследствие этого можно предполагать, что р. Колорадо несла больше наносов во время врезания через вышележащие толщи глин, известняков и песчаников.