



А. Д. ДУБАХ

ЛЕС
КАК ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ
ФАКТОР

ГОСЛЕСБУМИЗДАТ
1951



МИНИСТЕРСТВО ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

А. Д. ДУБАХ
Доктор с.-х. наук

Л Е С
КАК ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ
ФАКТОР

819801

ГОСЛЕСБУМИЗДАТ

Москва

1951

Ленинград

Институт им. В. Г. Белинского
Академии наук БССР

ОГЛАВЛЕНИЕ

От редакции	3
Введение	5
Глава I. Баланс влаги в природе	7
Глава II. Вода в почвогрунте под лесом	12
Глава III. Накопление и таяние снега в лесу и на открытой площади	34
Глава IV. Испарение с облесенных бассейнов	47
Глава V. Внутренний оборот влаги, создаваемый при участии леса	73
Глава VI. Сток с малых площадей в связи с облесенностью бассейна	82
Глава VII. Динамика стока по большим рекам	124
Глава VIII. Схемы водорегулирующего состояния и размещения леса	140
Заключение	153
Литература	157

ОТ РЕДАКЦИИ

Вопрос о гидрологической роли леса давно интересует исследователей и специалистов целого ряда отраслей. Исключительный интерес этот вопрос приобрел в СССР в связи с решениями правительства и партии о выделении лесов водоохранной зоны с особым режимом хозяйства в этой зоне и о развитии защитных лесонасаждений в степных и лесостепных районах европейской части СССР как главного фактора преобразования природы этих районов.

По лесной гидрологии имеется обширная литература, но, несмотря на это, ряд вопросов данной отрасли знаний остается невыясненным. Кроме того, как отмечает и автор данной книги, литература по водоохранному значению леса чрезвычайно противоречива.

В предлагаемой книге освещаются все основные вопросы лесной гидрологии, как-то: почвенно-грунтовые воды под лесом, снегонакопление и снеготаяние, испарение с лесных площадей, влагооборот на территории СССР под влиянием леса, сток с лесных, безлесных и умеренно лесных площадей, гидрологическое значение характера размещения леса на водосборе.

Роль леса в улучшении климата южных и юго-восточных районов европейской части Союза — центральная тема книги — показывается с большой убедительностью.

В труде проф. А. Д. Дубаха дается сводка материала, находившегося до сих пор в разрозненном состоянии. Наряду с этим в книге впервые излагаются автором многие мысли и выводы, являющиеся результатом его личных многолетних исследований по вопросам лесной гидрологии.

Автор свои исследования в основном вел в Центральном научно-исследовательском институте лесного хозяйства, в Государ-

ственном гидрологическом институте и на его опорных пунктах, на гидрологических пунктах Всесоюзного научно-исследовательского института лесного хозяйства и в Сиверском опытном лесхозе ЦНИИЛХ.

Книга проф. А. Д. Дубаха «Лес как гидрологический фактор» является посмертным изданием и была подготовлена автором к печати в 1940 г.

Редакция

ВВЕДЕНИЕ

Кроме своего основного назначения, леса СССР выявляют и другие полезные для народного хозяйства свойства. К таким полезным свойствам лесов относятся:

1) усиление внутреннего оборота влаги, состоящее в том, что выпадающая на материк влага, приносимая с океанов, испаряется с материка и вновь выпадает на сушу с повторением этого процесса несколько раз, прежде чем вода стечет в реки, — климатическое значение леса;

2) регулирование поверхностного и грунтового стока воды, состоящее: а) в удлинении периода стока снеговых и ливневых вод, б) в связанном с этим снижении величины паводков, в) в увеличении меженных расходов рек, — водорегулирующее значение леса;

3) защита бассейнов рек от смыва поверхностного слоя почвы и от глубинного размыва с последующим отложением выносов в руслах рек — почвозащитное (противоэрозионное) значение леса;

4) уменьшение скорости ветра, имеющее следствием уменьшение испарения влаги с прилегающих к лесным полосам полевых площадей, — ветрозащитное значение леса, как обособленный частичный вид климатического значения;

5) задержание пыли, оздоровление воздуха, создание тени и ландшафта — гигиеническое и эстетическое значение леса, весьма учитываемое при планировании новых городов, социалистических промышленных предприятий и при улучшении благоустройства старых населенных мест.

Перечисленные полезные свойства леса и отрицательные последствия массовой вырубки лесов отмечены Ф. Энгельсом следующим образом: «Людям, которые в Месопотамии, в Греции, в Малой Азии и в других местах выкорчевывали леса, чтобы добыть таким путем пахотную землю, и не снилось, что они этим положили начало нынешнему опустошению этих стран, лишив их вместе с лесами центров собирания и хранения влаги. Когда альпийские итальянцы вырубili на южном склоне гор хвойные леса, так заботливо охраняемые на северном, они не

предвидели, что этим подрезывают корни скотоводства в их области; еще меньше они предвидели, что этим лишают свои горные источники воды на большую часть года, с тем еще эффектом, что тем более бешеные потоки они будут изливать в долину в период дождей».¹

В приведенном отрывке Энгельс отмечает влияние леса на накопление влаги, на уменьшение ливневых паводков и на защиту горных склонов от смыва.

В общегосударственном масштабе забота о лесе как водорегулирующем факторе была впервые осуществлена в нашей стране. Постановлением правительства выделена зона водохранимых лесов. В связи с этим конкретной задачей наших лесогидрологов является выявление водохранного значения леса, т. е. какие леса и при каких условиях размещения имеют наибольшее и какие наименьшее значение; задачей работников по лесному хозяйству является установление приемов ведения хозяйства, которые удовлетворяли бы потребность социалистического строительства в древесине и в то же время возможно лучше выявляли полезные влияния леса на режим рек.

Принимаемое иногда простое решение, что всякий лес имеет водохранное значение и потому подлежит сохранению или, по крайней мере, чрезвычайному ограничению в рубках, не может считаться правильным. Лес должен рубиться в зависимости от потребности в древесине с учетом времени достижения какого-то предела малого годичного прироста, чтобы уступить место новому, более продуцирующему насаждению.

Леса привлекают к себе всеобщее внимание во всех отношениях. Гидрологическое значение леса уже давно является предметом интереса специалистов; поэтому литература по водохранному значению леса чрезвычайно обширна и, что специфично, чрезвычайно противоречива. Автор настоящего труда лишь очень кратко останавливается на работах сравнительно даже недавних лет, основное внимание направлено на освещение результатов наблюдений самых последних лет.

Работа базируется на материалах Государственного гидрологического института (Ленинград): а) по кадастру водных объектов СССР, б) по работам сектора гидрологии суши, в) по Тосменской гидрофизической станции, г) по Валдайской гидрологической станции; Центрального научно-исследовательского института лесного хозяйства по Сиверскому опытному лесхозу (Ленинград); Всесоюзного научно-исследовательского института лесного хозяйства: а) по Истринскому гидрологическому пункту, б) Окскому гидрологическому пункту, в) Кучинскому стационару, г) Шипову лесу; исследований и научных работ отдельных лиц.

¹ Ф. Энгельс, Дialeктика природы, Партиздат, М., 1934, стр. 57.

Глава I

БАЛАНС ВЛАГИ В ПРИРОДЕ

Солнечная энергия, достигающая поверхности земного шара, вызывает испарение воды с поверхности мирового океана и с поверхности суши.

Испарение как источник накопления влаги в атмосфере обычно и принимается за первое звено круговорота влаги в природе.

Парообразная вода переносится затем воздушными течениями на расстояния, где создаются условия конденсации паров воды вновь в жидкость.

Конденсирующаяся в атмосфере из паров влага выпадает на океан и на сушу в виде жидких и твердых осадков.

Выпавшие на сушу осадки испаряются и стекают поверхностными и подземными токами в океан.

Таким образом, круговорот воды образуется четырьмя звеньями: 1) испарением, 2) переносом, 3) осадками и 4) стоком.

Перечисленными звеньями характеризуется так называемый большой круговорот влаги. Кроме того, имеется малый круговорот, включающий полностью лишь два звена: испарение с океана и выделение осадков на океан или испарение с суши и выделение осадков на сушу.

Малый круговорот на суше обычно называется внутриматериковым круговоротом.

Звенья большого круговорота характеризуются следующими грубыми цифрами.

Средняя годовая величина испарения с океанов и морей выражается слоем воды в 840 мм. Остальная испарившаяся с океанов и морей влага $840 - 740 = 100$ мм выпадает на поверхность суши. Так как океаны и моря занимают 71% поверхности земного шара, а суша 29%, т. е. в 2,5 раза меньше, то 100 мм слоя испарения с океана, выпав на землю, дают на суше слой осадков в среднем 250 мм. Выпадает же на суше осадков 740 мм, из них

490 мм получается, следовательно, испарением с суши. Стекает с суши в океан столько, сколько приносится с океана, т. е. 250 мм (по среднему расчету по всей поверхности суши).

Приведенные величины лишь приближенны (Л. С. Берг, 1938). Условность их очевидна — наиболее достоверными величинами здесь являются лишь осадки на суши и сток с суши. Относительно испарения с океанов и выпадения осадков на поверхность океана можно утверждать, что эти величины могут оказаться еще дальше от истины. Однако приведенные величины элементов круговорота влаги имеют весьма важное значение, так как показывают, что из выпадающих на суши осадков приносится с океана всего лишь 34%, остальные 66% имеют источником испарения суши (это в среднем по всему земному шару), что в свою очередь свидетельствует о чрезвычайно большой роли поверхностного ландшафта как поверхности испарения.

Поверхностный ландшафт образуется внутренними водами, лесами, полями, лугами и площадями, не покрытыми растительностью. Изменение в ландшафте вызывает изменение в испарении, а это приводит и к изменению величин осадков, так как участие испарения с суши в образовании осадков, как мы это показали, очень велико.

Поэтому следует ожидать, что и лес в каком-то размере существенно влияет на выпадение осадков в районе ли самого леса или за его пределами в направлении воздушных течений.

Каждое звено круговорота влаги образуется в результате нескольких процессов. Первое звено — испарение — составляется из следующих крупных слагаемых: 1) испарения с водной поверхности, 2) испарения растительностью, 3) испарения непосредственно с поверхности земли, 4) испарения животными организмами (дыхание и через тело), промышленностью (паровые двигатели, сжигание топлива) и других второстепенных процессов. При этом испарение растительностью детализируется на: а) испарение воды, задержанной листвой при выпадении осадков (физическое испарение), и б) испарение воды, подаваемой в листья по стволам и стеблям (физиологическое испарение, транспирация). При исследовании леса как гидрологического фактора необходимо растительность еще разделить на древесную и на травяную.

Второе звено — перенос влаги. В этом звене существенно установить, в каком направлении господствует движение слоев атмосферы, переносящих влагу, и каковы расстояния между местом испарения с суши и местом выпадения осадков.

Третье звено — осадки — слагается из выпадения: 1) жидких осадков — дождей, 2) твердых осадков — снегопада — и 3) конденсационной воды, выделяющейся из воздуха, на поверхности и внутри грунта.

Четвертое место — сток — складывается из: 1) стока поверхностного, 2) стока внутрипочвенного, 3) стока грунтового (глубинного).

Деление стока на поверхностный и грунтовой значительно сложнее, чем это иногда представляется. При наличии торфяного, гумусового или песчаного слоя, подстилаемого глиной, выпадающие дожди проходят сквозь их проницаемый слой и движутся на стыке торфа с глиной, выклиниваясь в откосах канав и естественных понижений; в реку эта вода попадает, таким образом, поверхностным стоком (по канавам, балкам, оврагам), а относительно площади выпадения осадков это — внутрипочвенный сток.

Глубинным грунтовым стоком вода доходит непосредственно до рек, выклиниваясь в их русле или у подножья склонов долины.

За многолетний период осадки, испарение и сток в бассейне реки взаимно балансируются: осадки = испарение + сток. Так как искомым чаще является сток, то уравнение баланса пишется: сток = осадки — испарение.

При недостаточно длительном периоде в уравнение баланса входит четвертый член — накопление воды в запас или расходование из запасов бассейна. Так, в засушливый период сток = осадки — испарение × расходование запасов влаги; во влажный период: сток = осадки — испарение — накопление влаги в запас.

Для Днепра месячные накопления и расходования влаги даются в следующих величинах (в мм):

Январь, накопление	11	Июль, накопление	13
Февраль, "	6	Август, "	4
Март, "	1	Сентябрь, "	1
Апрель, расходование	35	Октябрь, "	23
Май, "	55	Ноябрь, "	18
Июнь, "	2	Декабрь, "	18

Уравнение баланса влаги применительно к лесному бассейну состоит из следующих членов:

Приходная часть	Расходная часть
Осадки жидкие	Испарение задержанной влаги с кроны
" твердые	" с почвенного покрова
Конденсация	" через древесную растительность (транспирация)
	Сток поверхностный
	" внутрипочвенный
	" глубинный

За каждый отрезок времени разница в приходе и расходе воды балансируется накоплением воды в грунте и в водоемах, или расходованием воды из грунта и водоемов.

Уравнения баланса иногда составляются не по бассейну в целом, а по отдельным его элементам. Так, составляется баланс влаги поверхности бассейна, баланс грунтовых вод, баланс воды снегового покрова.

В содержание изучения леса как гидрологического фактора входят все перечисленные члены уравнения водного баланса, но основное значение имеют поверхностный и грунтовый стоки.

Влияние леса на сток выясняется двумя комплексами исследований. Первый — это учет влияния леса на уровень грунтовых вод, определение задержанных осадков кронами, изучение свойств лесной подстилки, свойств грунта под лесом, влажности воздуха под кронами и над кронами, наблюдение снегонакопления и снеготаяния, затухания ветра. Этот путь правильнее было бы назвать методом «косвенного изучения стока».

Второй путь — это непосредственное регулярное измерение стока воды с облесенной площади в сопоставлении со стоком с необлесенной площади; его правильнее было бы назвать методом «непосредственного определения стока».

Основная работа по изучению влияния леса на сток или их общего влияния на режим рек должна заключаться в измерениях величины самого стока с лесных и безлесных бассейнов, т. е. вестись методом непосредственного определения стока; это необходимо потому, что иными путями, вследствие многообразия действующих факторов, обоснованного заключения о стоке с лесных и безлесных площадей не получить.

Наряду с основным направлением в работе по определению стока, необходимо вести работу и по изучению влияния леса на каждый из элементов баланса влаги на лесном бассейне, т. е. вести изучение стока и косвенным методом.

Недостаточно лишь констатировать то или иное влияние леса на сток, необходимо проследить и генезис стока с лесного водосбора. Наилучшие результаты получаются при организации наблюдений — прямых и косвенных — одновременно и на одной площадке, поэтому изучение характера стока и генезиса стока должно вестись одновременно и на одних и тех же территориях. Однако это простое требование оказывается трудно осуществимым. В прошлом велись многочисленные снегомерные наблюдения в лесу, но без наблюдения стока, многочисленные исследования свойств лесной подстилки, но изолированно от всех других исследований, наблюдения стока, но без изучения условий его формирования, наблюдения грунтовых вод, но без наблюдений стока и испарения.

В результате односторонних исследований получались и односторонние заключения: то лес являлся расточителем влаги, то собирателем влаги. Между тем, если проследить, куда исчезает вода, расходуемая лесом через значительное испарение, то окажется, что именно свойство леса испарять воду из

грунта является весьма полезным его свойством, так как повышено испаряемая лесом вода на равнине европейской части СССР вновь выпадает на этой же равнине.

Стоком называют количество воды, стекающей с рассматриваемого бассейна за определенное время. Выражается сток различными мерами:

а) высотой слоя воды, мысленно распределенной равномерно по всей водосборной площади; например, с водосборной площади Волги выше Ярославля стекает в среднем за год 240 м;

б) объемом воды, стекающей с рассматриваемой площади за год и за секунду; например, по Волге у Ярославля проходит воды в среднем многолетнем: за год $36,7 \text{ км}^3$, за секунду 1130 м^3 ;

в) коэффициентом стока, выражающим отношение высоты слоя стока к высоте слоя атмосферных осадков, в среднем за год; при высоте осадков на водосборе Волги выше Ярославля 560 мм коэффициент стока будет равен $\frac{240}{560} = 0,43$; вместо коэффициента стока употребляется выражение стока процентом стока от выпадения осадков, для Волги у Ярославля это 43%;

г) модулем стока, показывающим объем стекающей воды в 1 секунду с 1 км^2 водосборной площади реки; для Волги выше Ярославля многолетний модуль стока равен $7,4 \text{ л/сек. с } 1 \text{ км}^2$.

Каждое из приведенных выражений стока имеет свое преимущество в зависимости от дальнейшего назначения.

При характеристике реки как источника энергии приводится сток в объемах воды, от объема переходят на энергию. При сравнении бассейнов рек как источников питания реки приводятся модули стока с облесенной и безлесной площадей. При характеристике климата водосборной площади реки дается коэффициент стока; малый коэффициент стока характеризует засушливый район.

Для сравнительной характеристики стока с различных водосборных площадей недостаточно средних количественных выражений за какой-то период времени. Средние величины должны дополняться характеристикой хода стока за рассматриваемый промежуток времени, например за год, а часто и за многолетний период.

Для сопоставления стока с облесенных и необлесенных площадей необходимо знать:

1) средний модуль стока за год, являющийся функцией величины атмосферных осадков и испарения влаги;

2) максимальные модули стока при весеннем снеготаянии, зависящие от накопления снега, интенсивности таяния снега, проницаемости грунта и насыщенности его водой;

3) минимальные модули стока при летней межени и в зим-

нее время, зависящие от размера грунтового питания (минимальные модули определяются суточные и месячные);

4) время наступления максимумов и минимумов расхода, а также продолжительность весеннего паводка и летней межени;

5) в речной гидрологии, кроме того, изменчивость расходов воды разных категорий и расходы воды различной обеспеченности.

Все перечисленные характеристики чрезвычайно существенны для суждения о водорегулирующем влиянии леса. При этом большой годовой модуль стока характеризует гидрологический режим с положительной стороны, а большой максимальный и малый минимальный модули стока — с отрицательной. Река с большим среднегодовым модулем, притом мало изменяющимся в течение года, является наиболее благоприятным объектом эксплуатации.

Таким образом, каждая из перечисленных характеристик стока обуславливается перечисленными выше факторами: испарением воды, накоплением снега, таянием снега, проникновением осадков в грунт и др.

Поэтому каждая из характеристик стока применительно к лесной площади должна быть изучена двусторонне: во-первых, непосредственным наблюдением стока с лесных и безлесных площадей при прочих равных условиях стока и, во-вторых, самостоятельным изучением влияющего фактора, например испарения, для сравнения среднего модуля стока с лесных и безлесных площадей, так как осадки минус испарение дают сток. Результаты должны быть совпадающими.

Итак, при изучении вопросов влияния леса на сток необходимо выяснение влияния леса на суммарный сток с водосборной площади за год, или, иначе, на средний модуль стока, и влияния леса на распределение стока в течение года, а именно на формирование весеннего паводка и на величину меженного расхода.

Особое внимание при этом должно быть обращено на возможные изменения в режиме крупных и средних рек равнины европейской части СССР, где усиленная деятельность человека за последние десятилетия в направлении вырубки лесов и распашки земли выявилась особенно сильно.

Глава II

ВОДА В ПОЧВОГРУНТЕ ПОД ЛЕСОМ

Вода ниже поверхности земли находится в разных состояниях. Принято различать ниже поверхности земли воду: парообразную, гигроскопическую, пленочную, капиллярную, гравитационную, грунтовую.

Вода парообразная движется между частицами грунта по закону движения газов: под влиянием разности упругости паров в смежных пунктах грунта. Если, например, упругость паров воды в одном горизонте грунта измеряется 5 мм столба ртути, а на расстоянии 0,5 м в другом горизонте 2 мм, то создается движение паров воды из первого горизонта во второй с градиентом $\frac{5-2}{0,5} = 6$ мм на метр; при этом движение паров воды происходит независимо от движения воздуха (Лебедев, 1931).

Вода гигроскопическая является парообразной, но притянутой (адсорбированной) частицами грунта и находящейся в связанном состоянии; гигроскопическая вода притягивается грунтом из паров воды в воздухе при насыщенности его ниже 100%; последним условием гигроскопическая вода отличается от конденсационной, которая выделяется из воздуха только при достижении точки росы. Однако то обстоятельство, что при переходе парообразной (газообразной) воды в воду гигроскопическую выделяется теплота, вносит неясность в понимание гигроскопической воды.

Вода пленочная образует пленку воды вокруг частиц грунта в условиях насыщения почвенного воздуха парами воды; это есть вода конденсационная, но с большой силой удерживаемая почвой — силой сцепления между частицами грунта и молекулами воды. Пленочная вода передвигается от частиц грунта с более толстой пленкой воды к частицам с менее толстой пленкой. Гидростатическое давление через пленочную воду не передается. А. Ф. Лебедев (1931) предложил называть влажность грунта, соответствующую максимальной толщине пленок воды, максимальной молекулярной влагоемкостью. Скорость движения пленочной воды возрастает с уменьшением диаметра зерен грунта.

Вода капиллярная заполняет мелкие пустоты в грунте и передвигается под действием сил натяжения вверх и в стороны, т. е. независимо от направления силы тяжести, но все же до определенного предела высоты от горизонта грунтовой воды; следовательно, сила тяжести также действует на капиллярную воду. Капиллярная вода легко усваивается корнями растений, легко теряется через испарение. Гидростатическое давление передается через капиллярную воду. Поднятие капиллярной воды характеризуется тремя величинами: высотой поднятия, скоростью поднятия и количеством поднимающейся воды.

Высота капиллярного поднятия воды (в миллиметрах) определяется по приводимой в курсах физики формуле:

$$h = 30 \cdot \frac{1 - 0,002t}{d},$$

где d — диаметр капилляра в мм.

Например, при $d = 0,1$ мм и $t = 10^3$ высота поднятия вычисляется равной 294 мм.

Но так как диаметры капиллярных ходов в грунте не определены, то высота поднятия в разных грунтах может определяться лишь наблюдениями.

Практически высота и скорость поднятия грунтовой воды характеризуются величинами, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Высота и скорость поднятия грунтовой воды

Грунт	Высота поднятия в см	Число суток
Песок диаметром 1 мм	24,1	100
" " 0,025 мм	266,7	300
Песчаный ил	122,0	144
Глина	153,7	350

Обстоятельные данные по капиллярному поднятию приводятся И. С. Васильевым (1937) для песчаных грунтов Молог-Шекснинского междуречья по исследованиям 1934—1935 гг.

Наблюдения производились в монолитах, вырезанных без нарушения структуры; в частности имелся монолит мелкого песчаного грунта из-под елово-березового леса. По механическому составу грунт оказался однородным, содержащим на разных горизонтах до глубины 175 см частицы диаметром 0,25—0,02 мм в количестве 75—93%; капиллярная скважность грунта составляла 35—47%.

Поднятие воды в этом монолите высотой 1 м шло следующим образом:

За 1 сутки	26 см
" 5 суток	50 "
" 10 "	60 "
" 24 "	97 "

В другом монолите такого же механического состава, но высотой 130 см и вырезанного на пашне, вода за 2 месяца поднялась на 124 мм.

Предел капиллярного поднятия для тонкозернистых песков Васильев вычисляет 150 см. При этом зона насыщения капиллярной водой имеет высоту 40—50 см, в вышележащем же слое капиллярная влажность сильно падает.

Зная скорости подъема воды на определенной высоте и капиллярную скважность грунта, легко вычислить объем подаваемой сверху воды. Например, в рассмотренном монолите из-под

елово-березового леса на высоте 60 см от уровня воды скорость поднятия определялась 62,4 см в сутки; при капиллярной скважности 40% это дает 250 л в сутки на площади 1 м², или слой воды в 25 см.

В легкосуглинистых монолитах поднятие шло медленнее:

За 1 сутки	20 см
„ 5 суток	32 „
„ 10 „	41 „
„ 24 „	62 „
„ 56 „	72 „

Вода гравитационная передвигается в почве под действием силы тяжести и гидростатического давления; она передвигается по порам грунта, по трещинам, по подземным ходам, просачивается сверху вниз или иногда, под действием гидростатического давления, снизу вверх. На пути просачивания сверху вниз гравитационная вода встречает водоупорный пласт грунта и образует здесь скопление воды, называемой обычно грунтовой водой. Это, на первый взгляд простое и ясное, представление о грунтовой воде осложняется, однако, разнообразием строения грунта; не всегда в действительности имеется нужный водоупорный грунт, который бесспорно задерживает воду и дает классическую схему накопления грунтовой воды.

Понятие «грунтовая вода»

Грунтовая вода не только определяется в литературе различно, но и понимается различно.

В старом основном руководстве Кейльгака (Колупайло, 1933) говорится: «Подземной водой, в противоположность наземной, мы называем всякую жидкую воду, находящуюся под земной поверхностью и проникшую туда естественным путем».

Ясно, что такое определение грунтовой воды является слишком широким, соединяющим в одно и пленочную, и капиллярную, и гравитационную воду. Необходимо иметь такое определение грунтовой воды, которое бы различало ее от капиллярной.

Все имеющиеся такого рода определения можно разбить на две группы, условно называя их геологической и динамической.

Группа геологических определений характеризуется требованием наличия водоупорного грунта, на котором бы собиралась вода; это схема, которую можно называть «классической».

Геолог Никитин (1896) определяет грунтовую воду следующим образом: «Грунтовой, или подпочвенной, водой мы называем воду первого от поверхности водоносного горизонта, расположенного в подпочве или в более глубоких коренных породах на первом от поверхности водонепроницаемом слое, и остающуюся свободной за удовлетворением абсолютной или наименьшей влагоемкости водоносной породы».

Почвовед Рамани считает грунтовой водой ту часть воды, которая просачивается в глубину до непроницаемого слоя, на котором она собирается.

Такого порядка определений много; во всех требуется наличие на некоторой глубине реальной водоупорной породы. В действительности очень часто условия таковы, что труднопроницаемый грунт идет от самой поверхности земли или, наоборот, проницаемый грунт идет от поверхности земли вниз на большую глубину; в таких условиях необходимо другое понимание термина «грунтовая вода».

На рис. 1 показана грунтовая вода (как ее понимают в ограниченном толковании), скопляющаяся на непроницаемом грунте и движущаяся по нему, как по руслу.

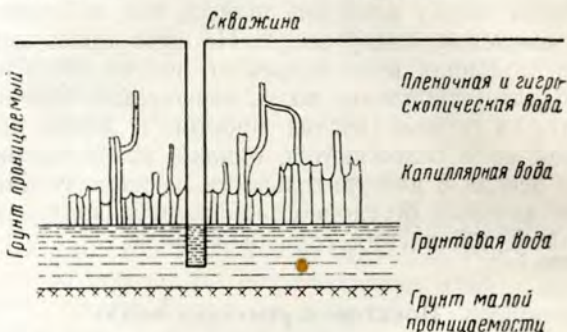


Рис. 1. Грунтовая вода (как ее понимают в ограниченном толковании), скопляющаяся на непроницаемом грунте и движущаяся по нему, как по руслу

На рис. 2 показана грунтовая вода в однородном слабопроницаемом грунте, не имеющая под собой непроницаемого слоя. Грунтовая вода в этих условиях так же поступает в скважину и так же влияет на растительность, как и лежащая на непроницаемой породе.

Автор настоящей работы придерживается того понятия «грунтовая вода», которое он дает ниже и давал в своих работах ранее (1936).

«Поверхность грунтовой воды определяется поверхностью воды, находящейся в грунте сверх его полной капиллярной влагоемкости и стекающей поэтому в делаемые скважины».

В производственном понимании это определение сводится к тому, что грунтовая вода есть та вода, которая под действием силы тяжести стекает из грунта в высверленную в нем скважину и заполняет ее до какого-то горизонта; поверхность скопившейся в скважине воды после принятия ею стационарного для данного времени положения есть уровень грунтовой воды.

Такое толкование понятия «грунтовая вода» наиболее соответствует требованиям агрономии и лесоводства; именно от грунтовой воды в изложенном понимании зависит рост растения, безразлично от того, подвешен этот слой грунтовой воды или лежит на непроницаемом пласте, и именно на всякую гравитационную воду, стекающую в яму или канаву, воздействует мелиоратор.

А. Ф. Лебедев (1931) основным признаком грунтовых вод считает их нахождение под влиянием силы тяжести; однако, по его мнению, этот признак следует ограничить, так как не каждая капля воды, находящаяся в грунте под влиянием силы

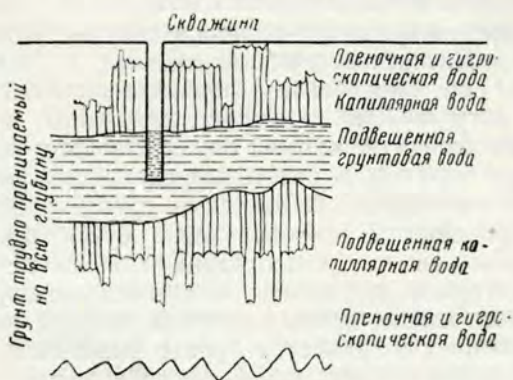


Рис. 2. Грунтовая вода в однородном слабопроницаемом грунте, не имеющая под собой непроницаемого слоя

тяжести, должна быть признана грунтовой водой. «Повидимому, для точного определения понятия «грунтовая вода» существенным является способность этих вод к вытеканию из грунтов в естественных или искусственных разрезах». Грунтовые воды обладают гидростатическим давлением, достаточным для преодоления сил сцепления, трения и натяжения, противодействующих движению воды.

При определении уровня грунтовой воды по горизонту воды в скважинах необходимо быть осторожным в труднопроницаемых грунтах. Дело в том, что в труднопроницаемых грунтах, в глине и в плотных торфах попавшая в скважину вода держится в ней иногда, как в сосуде с глиняными стенками, вне связи с уровнем избыточной воды в самом грунте. В скважину может стечь поверхностная вода и стоять здесь выше действительного уровня грунтовой воды; или испарение из глинистого и торфяного грунта может идти так интенсивно, что снижение грунтовой воды в самом грунте опередит рассасывание воды из скважины.

Мерой ослабления этих обстоятельств являются защита верха скважины от втекания поверхностной воды и устройство скважин возможно меньшего диаметра, чтобы запас воды в них был наименьшим и потому быстрее рассасывался при понижении воды в грунте и, наоборот, быстрее восполнялся при поднятии воды в грунте.

В труднопроницаемых грунтах необходима проверка показаний скважин. При этом из скважин следует отлить воду и затем наблюдать восполнение ее или же высверлить поблизости новую скважину и наблюдать в ней уровень воды.

Если вода стояла в старой скважине, как в сосуде, то восполнения отлитой воды не произойдет.

Изложенные соображения побудили автора провести опытные наблюдения в Лисинском учебном лесхозе, в 70 км от Ленинграда. Рядом со смотровыми скважинами 1928 г. были высверлены в августе 1929 г. свежие скважины и произведено сопоставление уровня воды в 42 парах старых и новых скважин через сутки, 6 суток и в некоторых скважинах через 12 суток после их высверливания. В песчаном грунте уровни воды во вновь высверленных скважинах через сутки были на одной высоте с уровнями в прошлогодних скважинах. В колодцах в глинистом грунте результаты оказались разнородными; при обобщении полученных данных разница уровней воды в старых и новых скважинах в глинистом грунте выразилась следующими величинами: через 6 суток после высверливания — 12,4 см, через 12 суток — 3,6 см.

В тех случаях, когда в глинистом грунте не было воды в старых скважинах, ее не оказывалось и в новых скважинах.

На основании приведенного опыта можно сделать вывод, что вода в смотровых скважинах, даже в ленточных глинах Лисинского лесхоза, находится в сообщении с водой почвогрунта, а не изолирована от нее.

Вполне правильно подошел к определению уровня воды еще в 1906 г. С. Целлариус (1910) при почвенных исследованиях в Охтенской лесной даче. Вода из вырытых ям была вычерпана 31 августа; первое измерение воды было произведено через 4 часа, второе — 1 сентября, третье — 3 сентября, причем при последнем измерении уровень ее был принят за уровень грунтовой воды; можно, однако, думать, что 3 сентября уровень воды в ямах в валунном суглинке еще не дошел до уровня грунтовой воды в самом суглинке.

Отметим кстати, что скважины для определения первого от поверхности земли горизонта грунтовой воды, делаемые спиральным или тарелочным буром в глинистом и торфяном грунтах, не требуют никакой обделки; стенки их держатся без обделки в течение года.

Лес и уровень грунтовой воды находятся в тесном взаимо-

действии: лес, транспирируя воду, влияет на уровень грунтовой воды; уровень же грунтовой воды существенно влияет на рост леса, следовательно, и на транспирацию.

Влияние леса на уровень грунтовой воды

При рассмотрении леса как гидрологического фактора весьма важным является вопрос о том, как лес влияет на уровень грунтовых вод.

Первым серьезным исследователем уровней грунтовой воды в лесах и на открытых местах является П. В. Отоцкий (1905).

Материалы исследований Отоцкого приводятся в многочисленных изданиях по вопросам гидрологии леса.

П. В. Отоцкий определял грунтовые воды в лесу и на прилегающих полях и полянах в период вегетации. В 1897 и 1898 гг. он производил наблюдения в Удельном лесу (ныне парк в черте г. Ленинграда) методом, принятым им и для всех остальных мест. На выбранном ровном месте одинакового, насколько это можно было выяснить, геологического сложения высверливались скважины: одна в лесу, другая — на открытом месте. В Удельном лесу, например, для первой пары скважин условия оказались следующими.

Одна скважина заложена на открытом месте на расстоянии 28 м от опушки леса; встреченный красно-бурый глинистый песок перешел с глубины 1 м в синевато-серую вязкую глину, повидимому, значительной мощности; вода встречена на глубине 0,5 м, весьма обильная. Другая скважина высверлена в спелом елово-березовом насаждении также на расстоянии 28 м от опушки; устье скважины на 0,42 м ниже, чем на открытом месте; геологическое строение одинаковое: красно-бурый безвалунный песок на глубине 0,75 м, ниже — очень вязкая, однородная серовато-синяя глина; вода встречена на глубине 3 м; затем она поднялась и остановилась на расстоянии 1,70 м от поверхности земли. Следовательно, уровень воды в лесу оказался на 1,62 м ниже, чем на открытом месте, всего на расстоянии 56 м. В этом же парке наблюдения были проведены еще по четырем скважинам.

Такие же результаты в районе Ленинграда были получены Отоцким в 1897 г. в парке ныне Слуцкой обсерватории и в 1900 г. в Обуховском лесу. В Дружносельском лесу, в 68 км от Ленинграда, в 1897 г. влияние леса на понижение грунтовой воды выявилось особенно резко. Наблюдения производились также в Теребутинском лесу в 1899 г. и в лесу Задняя Гора в 1899—1902 гг.

В результате своих исследований Отоцкий делает вывод, что под лесом уровень первого горизонта грунтовых вод является в период вегетации пониженным по сравнению с соседним безлесным пространством.

П. В. Отоцким также были проведены наблюдения в степной зоне. Основным местом для исследований явился Шипов лес. Здесь наблюдения велись им в период 1891—1895 и 1898—1901 гг.

На основе своих наблюдений Отоцкий пришел к выводу, что вследствие усиленной транспирации лес расходует влаги больше, чем одинаковая площадь, покрытая какой-либо иной растительностью.

Выводы Отоцкого проверялись в том же Шиповом лесу Г. Ф. Морозовым. В 1901 г. были выбраны две лесные площади по 1,64 га каждая и в центре каждой заложены колодцы на расстоянии 250 м один от другого для наблюдения грунтовой воды.

Состав леса 5ДЗЯс2Ос, полнота 0,7, возраст 80—85 лет. В мае 1903 г. на одной из площадок лес был вырублен; в течение двух лет изменений в режиме колодцев не наблюдалось, но через пять лет после рубки уровень воды в колодце на вырубленной площадке поднялся на 0,7 м по сравнению с колодцем в лесу; вообще же грунтовая вода в обоих колодцах стояла очень глубоко (18 м от поверхности земли).

Выводы Отоцкого проверялись также в 1901 г. в Велико-Анадольской даче Марнупольского района лесоводом-гидрологом Г. Н. Высоцким (1911). Колодцы в виде деревянных труб были опущены — один на поляне в 42 м от опушки леса и другой в бересто-ясеновом лесу (посадки 1870 г.) в 78 м от первого колодца. Производившиеся в течение двух лет наблюдения показали, что уровень грунтовой воды в лесу за вегетационный период сильно снижался, с опадением же листвы уровни в обоих колодцах сближались.

В том же 1901 г. были начаты сравнительные наблюдения над уровнем воды в лесу и на лесосеках в Парфинской даче, в 12 км от г. Старая Русса, А. П. Тольским (1902). Почва района характеризуется, как песчаная на глине. Здесь четыре скважины были заложены в спелом хвойном насаждении и четыре — на лесосеке. За период наблюдений с 6 ноября 1901 г. по 15 октября 1902 г. вода в лесу стояла все время ниже, чем вне его.

В 1928—1930 гг. в той же Парфинской даче были проведены наблюдения над грунтовой водой В. Любимовым по 250 скважинам. Почвенный профиль на участке характеризуется следующим образом: 0—30 см — торф травяно-сфагнового происхождения, 30—60 см — оподзоленный суглинок или песок, 60—100 см — глина, ниже 100 см — глина валунная.

Поверхность ровная; лес сосновый III бонитета. Почвенно-грунтовая вода в мокром 1928 году стояла у поверхности. В 1929 г. с весны вода была у поверхности, к началу июля воды в скважинах глубиной 1 м не было ни в лесу, ни на гари, ни

на болоте. Но в лесу вода в скважинах не появлялась до середины декабря, а в некоторых и в течение зимы; на болоте же и на гари она появилась в начале ноября.

В 1930 г. вода в скважинах в лесу исчезла 13 июня и не появлялась до конца лета, несмотря на дожди; на гари и на болоте вода появилась в конце июля.

Выводы Отоцкого подвергались проверке и за границей (Анри, Эбермайер, Энглер).

Совершенно правильные суждения высказал для равнинных условий Франции Анри: 1) леса являются лучшим средством для осушения и оздоровления болотистых местностей; 2) леса, черпая воду из глубоких горизонтов, отдают ее атмосфере и способствуют этим орошению как лесных площадей, так и прилегающих; 3) леса способствуют конденсации водяных паров над кронами и вызывают частые дожди во время вегетации.

На основе своих наблюдений во Франции Анри также сделал вывод, что во всех парах скважин во все времена года уровень воды под лесом ниже, чем под открытым местом.

Эбермайер на основе наблюдений в 1900—1903 гг. в Баварии, в дубовом лесу на глинистой почве и в сосновом и дубовом лесу на песчаной почве и на открытых местах, пришел к выводу, что при затрудненном стоке грунтовой воды лес снижает уровень по сравнению с открытым местом. Наибольшее снижение воды наблюдается в период вегетации; при наличии же потока грунтовой воды в проницаемом грунте действие леса оказывается незаметным.

Несмотря на это, выводы Отоцкого относительно грунтовой воды длительное время оспаривались, они и по настоящее время многими еще не осознаны, так как не все видят гидрологическое значение леса в том, в чем оно действительно состоит.

Следует отметить возражения швейцарского лесоведа-гидролога Энглера Отоцкому. Основные положения Энглера сводятся к тому, что лесная почва прорезана корнями, имеет более пористое строение, и поэтому грунтовая вода движется под лесом быстрее и опускается ниже. Корни деревьев пронизывают не только слои глины и мергеля, но и камень, вследствие чего водопроницаемый горизонт проходит в лесу на большую глубину. Поэтому при том же количестве грунтовой воды уровень ее в лесу может стоять ниже и меньше колебаться, чем на открытом месте.

Это существенное соображение Энглера поколебало казавшиеся безусловными выводы Отоцкого; но оно имеет значение лишь при близком залегании уровня грунтовой воды, как это наблюдалось в лесной зоне; в степной же зоне, где грунтовая вода стоит на десятках метров ниже поверхности, т. е. ниже зоны корней, доводы Энглера теряют свое значение.

После исследований и оживленных обсуждений в печати

в 1900-х годах вопрос о влиянии леса на грунтовую воду не поднимался, и длительное время никаких новых сравнительных исследований по уровню грунтовой воды в лесу и в поле не проводилось.

Вопрос этот был вновь поднят уже в советское время. В 1933 г. наблюдения были начаты двумя организациями: Государственным гидрологическим институтом по Тосненской гидрологической станции и экспедицией Академии наук на междуречье Молога—Шексна.

На Тосненской гидрологической станции (см. главу о стоке) В. И. Рутковским были организованы наблюдения над грунтовой водой в лиственном лесу и на лугу среди обширной поляны. Здесь, в моренном суглинке, в теплые 1936 и 1937 гг. уровень воды в березовом лесу спускался ниже 3 м от поверхности, не поднимаясь и осенью и появляясь лишь к весне; на лугу же вода летом не спускалась ниже 2 м, а осенью всегда поднималась выше. К началу весеннего снеготаяния уровень воды был на следующих расстояниях от поверхности земли (табл. 2):

Таблица 2

Уровень грунтовой воды на Тосненской гидрологической станции (в см)

Год наблюдений	В лесу	На лугу
1935	199	126
1936	72	96
1937	269	150

После засушливого лета 1936 г. уровень грунтовой воды в лесу в течение всей зимы стоял ниже, чем на лугу; после сухой осени 1934 г. вода также стояла в лесу до самой весны ниже, чем на лугу, и только после дождливой осени 1935 г. вода в лесу и на лугу стояла в течение зимы почти на одном уровне, в лесу несколько выше.

Экспедиция Академии наук производила в 1933—1935 гг. детальное почвенное, ботаническое и гидрологическое изучение междуречья Молога—Шексна (И. С. Васильев, 1937). Здесь из числа многих площадок стационарных наблюдений были две смежные: одна (№ 2), покрытая березово-еловым лесом, и другая (№ 3) — выгонно-заброшенная пашня из-под того же березово-елового леса; почва одинаковая — дерново-подзолистая на тонкозернистом песке; высотное положение участков почти одинаковое: 23,63 м лесного и 23,90 м полевого. Уровень грунтовой воды на лесном участке оказывался в течение двух с половиной лет наблюдений постоянно ниже, чем на выгонной площади (несмотря на то, что лесной участок был на 30 см ниже выгонного).

Уровни воды по месяцам на лесном и выгонном участках оказались в следующих расстояниях от поверхности земли (табл. 3):

Таблица 3

Уровни грунтовой воды от поверхности в лесу
и на выгоне в Молого-Шекснинском междуречье (в см)

Время наблюдения	Лес	Выгон
1933 г.		
Сентябрь	155	120
Октябрь	126	93
Ноябрь	98	71
Декабрь	140	120
Среднее	129	101
1934 г.		
Январь	167	146
Февраль	169	147
Март	172	145
Апрель	49	26
Май	69	71
Июнь	87	70
Июль	157	132
Август	154	140
Сентябрь	136	119
Октябрь	130	109
Ноябрь	85	74
Декабрь	163	95
Среднее	123	106
1935 г.		
Январь	139	128
Февраль	143	127
Март	101	81
Апрель	33	25
Май	42	44
Июнь	111	95
Июль	140	103
Август	123	89
Сентябрь	53	28
Октябрь	14	6
Ноябрь	28	31
Декабрь	91	79
Среднее	85	70

Из табл. 3 видно, что наименьшая разница между уровнями грунтовой воды в лесу и на выгоне была в мае, когда грунт насыщался снеговой водой. Наибольшая разница была осенью в результате большего испарения с лесной площади в течение лета.

Заслуживают внимания также результаты наблюдений над грунтовыми водами на Кучинском гидрологическом стационаре Всесоюзного научно-исследовательского института лесного хозяйства. Стационар находится в 26 км от Москвы, в Подмосковном лесхозе, у с. Безменково.

Грунтовая вода находилась на глубине 3—4 м, в предледниковых чистых и глинистых песках мощностью 26—29 м, подстилаемых юрской глиной; коэффициент водоотдачи песка — в пределах 8—10%; рельеф равнинный, уклон 0,001; поверхностный сток отсутствовал.

Скважины были расположены следующим образом: 15 скважин в сосново-еловом лесу I бонитета, в возрасте 60—80 лет, полнотой 0,9, с большим количеством елового молодняка; пять скважин в сосновом лесу в возрасте 70—80 лет, полнотой 0,6, где ель полностью была выбрана, и шесть скважин — на поляне.

Наблюдения грунтовой воды велись в трубах диаметром 100 мм, снабженных на нижнем конце фильтром.

Судя по графику колебаний грунтовых вод за 1938 г. по девяти скважинам, динамика грунтовой воды характеризуется данными, приведенным в табл. 4.

Таблица 4

Динамика грунтовых вод за 1938 г. (по 9 скважинам)
на Кучинском гидрологическом стационаре

Место наблюдения	Предвесенний минимум	Весенний максимум	Величина подъема с мин. до макс. в см	Начало периода спада воды
Сосново-еловый лес . .	21/III	18/V	77	Вторая декада июня
Сосновый разреженный лес	21/III	8/V	60	" " "
Поляна	21/III	13/IV	84	" " "

Снег сошел в лесу 24 апреля, в поле — 30 марта.

Подъем воды на поляне произошел с минимума до максимума за 28 суток, в основном даже за 12 суток; в сосновом лесу за 48 суток, в сосново-еловом лесу за 58 суток, т. е. на 35 суток позже; это объясняется поздним таянием снега в лесу. Абсолютное положение грунтовой воды под полем было всегда выше и везде ближе к поверхности земли примерно на 1 м.

Динамика грунтовой воды

Большое число наблюдений уровня воды было произведено в 1928—1931 гг. в Сиверском опытном лесхозе, но без сопоставления с уровнем воды на открытых местах. В разных местах Онцевского участка этого лесхоза автором было организовано устройство 378 смотровых скважин простейшего типа: большая часть скважин была высверлена тарелочным буром на глубину 1 м и оставлена в торфяном и суглинистом грунте без всякой обделки; меньшая часть скважин была закреплена деревянными трубами. Кроме обычной обработки наблюдений по месяцам, автором (1936) были прослежены снижения воды в бездождевые периоды и поднятия воды после выпадения дождей.

Размеры снижения уровня грунтовой воды за сутки в периоды бездождя приведены в табл. 5.

Таблица 5

Суточное снижение уровня грунтовой воды в Сиверском лесхозе
в периоды бездождя

Время наблюдения	Начальное рас- стояние от по- верхности в см	Конечное рас- стояние от по- верхности в см	Суточное сни- жение в мм	Квартал	Грунт скважины	Число скважин
1928 г.						
Май 3—7	22,25	25,62	8,4	30	Глина 0,5—2 м на песке	16
	10,95	18,00	5,1	38		
Май 23	25,75	25,75	11,0	30	Торф 0,45 м на валунном суглинке	16
Июнь 3	12,95	17,10	8,3	38		
Июль 9—20	26,4	44,9	18,4	30	То же	—
	9,58	17,9	8,3	38		
1929 г.						
Июнь 26	33,2	52,0	13,7	37	Суглинок моренный	25
Июль 4	5,1	15,3	14,5	37	" "	26
	12,0	26,8	21,1	37	" "	19
Июль 6	41,5	71,0	10,9	37	" "	—
Август 8	11,3	36,8	9,5	37	" "	—
	18,3	77,0	21,7	37	" "	—
Сентябрь 15—20 .	35,0	27,1	3,0	37	" "	—
	9,8	12,0	7,3	37	" "	—
	8,5	11,3	9,3	37	" "	—
1931 г.						
Май 26—27	30,5	40,7	8,0	12 и 22	Суглинок	6
Сентябрь 2	15,4	27,0	23,0	12 и 22	"	6
1933 г.						
Август 26—31 . .	9,16	13,12	6,6	37	Суглинок моренный	25
	6,35	10,32	6,5	37	" "	26
	2,26	6,45	7,0	37	" "	19

Приведенные в табл. 5 величины суточного снижения грунтовой воды в Сиверском лесхозе не могут быть использованы для окончательных выводов, так как неизвестен процент водоотдачи грунта и, следовательно, суточное снижение грунтовой воды нельзя перечислить на уменьшение запаса грунтовой воды. Из приведенных данных можно лишь сделать заключение, что в суглинке под Ленинградом грунтовая вода в бездождевые периоды в сосновом лесу снижается на 6—20 мм за сутки, в зави-

Таблица 6

Коэффициент поднятия грунтовой воды после выпадения осадков
в Сиверском лесхозе

Время наблюдения	Осадки в мм	Расстояние грун- товой воды от поверхности в см		Козфи- циент поднятия	Квартал
		началь- ное	конеч- ное		
1929 г.					
Июль 5	32,3	52,0	33,0	5,9	37
		15,5	6,7	2,6	37
		26,8	10,4	5,0	37
Август 18 и 19	28,8	62,4	38,7	8,0	37
		24,6	14,8	3,4	37
		38,2	17,0	7,4	37
Сентябрь 21 и 22	17,6	37,1	24,8	7,0	37
		12,0	8,9	1,7	37
		11,3	7,3	2,3	37
		66,6	51,0	9,0	30
1930 г.					
Май 26—27	17,9	25,8	23,4	1,1	38
		29,8	13,2	9,2	37
		20,1	9,5	5,9	37
		36,0	13,1	12,8	37
1931 г.					
Август	22,2	43,0	35,0	3,6	14 и 22
1932 г.					
Август 18 и 19	44,6	36,5	11,5	5,7	37
		21,9	7,5	3,2	37
		33,1	3,1	6,7	37
Сентябрь 13—15	39,8	15,8	6,8	2,3	37
		12,3	5,2	1,2	37
		9,1	2,4	1,7	37

симости от температуры воздуха и от расстояния воды от поверхности.

Аналогичные вычисления для сфагновых болот (1936) показали суточное снижение грунтовой воды в среднем 9 мм для неосушенных и 15 мм для осушенных болот.

В Сиверском лесхозе прослежен и обратный процесс — поднятие грунтовой воды после выпадения осадков (между ясно выраженным бездождем до и после выпадения дождя). В табл. 6 приведены коэффициенты поднятия грунтовой воды, т. е. отношение высоты поднятия грунтовой воды к высоте выпавших осадков.

Оказалось, что на миллиметр выпавшего дождя в лесу в районе Ленинграда приходится 2—9 мм поднятия грунтовой воды при начальных расстояниях воды от поверхности 10—50 см. Наблюдения на болотах показали коэффициент поднятия 4—6 мм.

Влажность почвогрунта под лесом

От уровня грунтовой воды идет подъем воды по капиллярам. До определенной, в зависимости от свойств грунта, высоты капиллярная вода насыщает все капиллярные промежутки полностью, образуя зону капиллярного насыщения; выше этой зоны содержание воды в грунте быстро уменьшается, снижаясь на предельной высоте капиллярного поднятия до содержания лишь пленочной и гигроскопической воды. Если капиллярное поднятие не доходит до поверхности земли, то испарение воды с поверхности земли идет очень замедленно. Количество воды, удерживаемое грунтом в пленочном состоянии, А. Ф. Лебедев (1931) называет максимальной молекулярной влагоемкостью. Влажность же почвы и грунта характеризуется содержанием в почве или грунте воды всех категорий: гравитационной, капиллярной, пленочной и гигроскопической; при этом величина влажности определяется в процентах веса воды по отношению к абсолютно сухому веществу грунта.

Корни древесной и травяной растительности распространяются, как правило, в зоне пленочной и капиллярной воды, следовательно, испарение через древесную растительность (транспирация) расходует прежде всего капиллярную воду, пополняемую из запасов грунтовой воды. Чем больше испарение, тем меньше содержание влаги в почвогрунте. Поэтому для выяснения испарения лесом сравнительно с другими видами угодий произведено большое число исследований влажности почвогрунта под лесом, лугом и пашней.

Г. Ф. Морозов в «Учении о лесе» (1912) формулирует результаты исследований влажности почвы под лесом следующим образом:

«Многочисленные исследования влажности почвенной среды под лесом, произведенные в России и в Западной Европе, — все

без единого исключения доказывают один основной факт, что почва под пологом леса только в самых поверхностных горизонтах, поскольку они не пронизаны корнями, влажнее под лесом, чем вне его; более же глубокие горизонты, в которых помещается корневая система верхнего яруса, подлеска и т. п., суше соответствующих горизонтов, не покрытых лесом».

Г. Ф. Морозов вел исследования влажности почв в Хреновском бору и в Шиповом дубовом лесу (1900 и 1901). Неоднократные определения влажности в последнем на глубине 10, 25, 50, 100, 150 и 200 см показали, что грунт под лесом в вегетационное время суше грунта безлесного пространства. Это явление в отношении Шипова леса отмечалось уже ранее Адомовым. Что же касается верхних слоев, то по отношению к ним нельзя сделать определенного вывода.

В Хреновском бору при наличии местами ортштейновых прослоек Морозовым получены такие же выводы: «Сложная форма леса не составляет исключения и так же иссушает грунт, как и одноярусные насаждения». Весной, по таянии снега, влажность почвы в слое на глубине 10—200 см оказывалась под лесом большей, а к середине лета меньшей, чем на полянах; к осени разница увеличивалась. Таково же действие и соснового жердяка, и березового молодняка и др.

Совершенно аналогичные результаты получил и Г. Н. Высоцкий при изучении влажности в Велико-Анадольском лесничестве (табл. 7).

Таблица 7

Влажность грунта осенью в Велико-Анадольском лесничестве (в %)

Глубина в м	В поле		Под лесом	
	1892 г.	1901 г.	1892 г.	1901 г.
0—1	16,6	14,1	17,3	15,7
1—2	19,0	13,9	14,5	13,0
2—5	20,0	14,5	14,0	14,0

Исследования влажности грунта под лесом в Велико-Анадольском степном лесничестве привели Г. Н. Высоцкого к следующему выводу: «Грунт иссушается корнями растений, особенно целинных трав и лесной растительности, на большую глубину. Количество же просачивающейся на плато и пологих склонах в грунт влаги таково, что ее недостает для промачивания всего высушенного корнями слоя. Поэтому внешняя влага проникает лишь до определенной глубины (в благоприятные годы до 4 м), ниже которой грунт остается обыкновенно более или менее иссушенным и лишенным передвижения в нем жидкой

влаги». Верхний слой грунта до предела промокания Высоцкий назвал «живым» слоем, а нижний, куда промокание не доходит, «мертвым» слоем. В «мертвом» слое, по мнению Высоцкого, не замечается никаких изменений во влажности в течение круглого года.

По мнению А. Ф. Лебедева, влажность грунта в «мертвом» слое равна максимальной молекулярной влажности; в начале весны почва и грунт верхнего слоя увлажняются настолько, что гравитационная вода доходит до «мертвого» слоя и просачивается по нему до глубины грунтовой воды.

По сообщению Фишера (Н. С. Нестеров, 1933), по всему пространству Муюн-Кума — района, самого богатого саксауловыми лесами в бассейне р. Сыр-Дарьи, — на открытых местах подпочвенная вода залегает так близко к дневной поверхности, что население роет здесь колодцы, доставляющие в изобилии питьевую воду.

Наиболее подробные исследования влажности почвогрунтов произведены в советское время.

В 1923—1926 гг. в течение трех лет велись наблюдения влажности почвогрунта под лесом и под многолетней залежью Н. А. Качинским (1927) в подзолистой зоне центральной части РСФСР. Условия наблюдения характеризуются следующим образом: лес лиственный — береза, дуб, осина, клен, крушина, ель, возраст 20 лет, полнота средняя. Поверхностный горизонт лесной почвы имеет большую смоченность на весьма короткий промежуток времени весной, после схода снега. «В дальнейшем, вплоть до глубокой осени, перегнойно-аккумулятивный горизонт лесной почвы увлажнен относительно меньше, нежели пахотный слой почвы поля».

«В глубинных подгоризонтах (до 2 м) столь определенного соотношения нет, и преимущество в смысле увлажнения отмечается то в лесу, то в поле». При грубом обобщении, в осенние месяцы (октябрь, ноябрь) большая смоченность в глубинных горизонтах получается в полевой почве; весной же (апрель, май) явное преимущество за годы наблюдений остается на стороне леса.

Но, по мнению Качинского, свести картину об увлажнении почвы под лесом к установившемуся шаблону, по которому поверхностный горизонт лесной почвы всегда сырее, а глубинные горизонты обычно суше соответствующих горизонтов полевой почвы, нельзя. По годам имеются значительные вариации в распространении влажности.

По влажности почвогрунта под лесом и под лугом получен в самое последнее время материал В. И. Рутковским на Тосненской гидрологической станции. Наблюдения влажности велись под березовым лесом и под лугом в суглинистых грунтах.

Содержание влаги в слое почвогрунта на глубине 1 м в годы наблюдений (1934—1938) оказывалось под лесом всегда меньше,

чем под лугом; особо значительна разница в сентябре—декабре; с осени под лугом грунт насыщается осенними дождями, под лесом же насыщение грунта влагой достигается обычно только весной за счет талых вод.

Материал по влажности почвогрунта под елово-березовым лесом и на смежном выгоне по заброшенной пашне (из-под того же леса) приводится И. С. Васильевым (1937) на основании результатов работ почвенного отряда экспедиции Академии наук на Молого-Шекснинском междуречье.

Влажность определялась каждую пятидневку в июне—октябре 1934 и 1935 гг. Полученные результаты приведены в табл. 8.

Таблица 8.

Абсолютная и относительная от полной влагоемкости влажность почвы на Молого-Шекснинском междуречье

Глубина в см	1934 г.				1935 г.			
	абсолютная влажность		относительная влажность		абсолютная влажность		относительная влажность	
	лес	выгон	лес	выгон	лес	выгон	лес	выгон
0—5	56	45	62	52	56	48	62	55
5—15	20	35	72	84	23	31	34	75
15—25	24	23	62	64	30	26	76	72
25—35	23	22	72	61	28	27	88	86
35—45	21	22	83	71	26	28	102	103
55—65	23	25	85	91	26	29	97	104
75—85	24	26	89	92	26	28	95	101
95—105	—	25	—	87	—	—	—	—
105—115	24	—	87	—	26	—	94	—

Величины влажности, приведенные в табл. 8, ясно показывают, что на опытных площадках Молого-Шекснинского междуречья как абсолютная, так и относительная влажность песчаной почвы под елово-березовым лесом на глубине более 50 см была меньшей, чем под выгоном; в самом верхнем горизонте почва в лесу влажнее, а на глубине 15—50 см влажность одинаковая.

Послойный состав почв лесной и выгонной площадок подробно приведен в материалах экспедиции; почвы одинаковы, с резким преобладанием частиц 0,25—0,02 мм, что соответствует мелкому песку. Абсолютные высоты площадок почти одинаковы: лесной 93,63 м, выгонной 93,90 м. И. С. Васильев считает площади по условиям однородными.

Наблюдения влажности почвогрунта под лесом и под лугом производились в 1935 и 1936 гг. также в Погонно-Лосиноостров-

ском лесхозе, в верховье р. Ички, притока Яузы, в квартале 31. Пробы брались до глубины 1,5—2 м послойно через 10 см.

В ельнике I бонитета на сильно оподзоленной суглинистой почве, согласно данным Н. В. Родникова (1938), условия влажности характеризуются таким образом.

Весной, до полной вегетации, запасы почвенной влаги под лесом были обычно во всех горизонтах выше, чем под лугом. В вегетационный период влажность почвы под лесом становилась меньшей, чем под лугом. В сентябре 1936 г. под средневозрастным ельником-кисличником в 1,5-метровом слое почвы воды было на 130—140 мм меньше, чем под лугом. Летом влажность почвы под лесом опускалась в иллювиальном горизонте с глубины 99 см иногда до двойной максимальной гигроскопичности, т. е. до физиологически неусвояемого запаса. В почве под лугом влажность до этого предела никогда не спускалась.

Изменения влажности на вырубках

Осушение почвы под лесом подтверждается еще тем фактом, что после вырубki леса влажность почвы на лесосеке увеличивается. Это доказано многочисленными наблюдениями.

В России хронологически первый болотовед-лесовод Танфильев писал, что леса заболачиваются вследствие сплошных рубок и пожаров. Для Лисинской дачи он описывает следующий ход заболачивания лесосеки (В. Н. Сукачев, 1925). Лес, где было заложено изучение лесосеки, рос на песчаной почве и не имел следов заболачивания. Но рядом, в расстоянии всего 2—4,5 м, при такой же почве на лесосеке прошлого года уже видно было начало заболачивания; кукушкин лен заглушал блестящие мхи, чернику и бруснику. На лесосеках трехлетнего возраста к сплошному ковру из кукушкина льна присоединялся сфагнум, образующий отдельные подушки, число которых с каждым годом возрастало.

Явление увеличения влажности почвы, в частности песчаной, после вырубki леса уже давно показал австрийский лесовод Раманн. На глубоком свежем суглинке близ Бены, по исследованиям 1898—1899 гг., оказалось, что верхний слой почвы с глубины 15—25 см под буковым лесом был обычно суше того же слоя соседней вырубki. Нижележащие слои, исследованные до глубины 75 см, были постоянно суше под лесом, чем на вырубке.¹

Но наиболее полный материал по динамике влажности лесных почвогрунтов после вырубki леса дали исследования А. Л. Кашеева, проведенные под руководством проф. И. В. Тюрина в Лисинском лесхозе.

¹ Конспект статьи Раманна в «Лесном журнале» за 1901 г.

А. Л. Кашеев проследил (1934) процесс заболачивания почвы после вырубки леса, а также другой очень важный процесс — разболачивания почвы при возобновившейся испаряющей деятельности вновь развившейся на лесосеке древесной растительности. Оказалось, что если на лесосеке успешно возобновился лес, то к 20 годам процесс заболачивания заметно ослабевает, а к 30-летнему возрасту леса влажность грунта начинает снижаться и постепенно восстанавливается то состояние, которое было до вырубки леса.

Заболачивание лесосек выявляется также из работы В. З. Гулисавили и А. И. Стратоновича (1935) в условиях Ленинградской области, в районе Средней Волги и Воронежской области. По Паше-Капецкому лесничеству Ленинградской области ими получено следующее содержание влаги в образцах, взятых под пологом леса и на вырубке (табл. 9):

Таблица 9

Влажность почвы в Паше-Капецком лесничестве

Тип леса	Грунт	Число образцов	Процент воды от сухого вещества		Возраст лесосеки (лет)
			в лесу	на вырубках	
Ельник-кисличник II бонитета	Тяжелый суглинок	15	33,5	42,2	7
Ельник политрих. III-IV бонитета	То же	12	33,2	37,7	7
Сосняк-брусничник I бонитета	Легкий суглинок	10	16,8	18,1	7

Данные табл. 9 свидетельствуют о том, что верхний слой суглинка под древесным покровом суше, чем на вырубке.

В Воронежской области, в Шиповом лесу, дубовый древостой оказал тоже иссушающее влияние. Состав леса 8Д2Яс, возраст 100—110 лет, второй ярус — клен, липа, ильм. Равнинное плато. Почва — темносерый суглинок.

Влажность образцов грунта в процентах от сухого вещества оказалась следующей: под пологом леса — 25,2 (4 образца); на одногодичной лесосеке — 33,3 (7 образцов); на пятилетней лесосеке — 29,7 (4 образца) и на 15-летней лесосеке — 29,6 (8 образцов).

Разноречивый результат был получен по району Средней Волги (табл. 10).

Таблица 10

Влажность почвы в районе Средней Волги

Тип леса	Грунт	Число образцов	Процент воды от сухого вещества		Возраст лесосеки (лет)
			в лесу	на вырубке	
Сосняк-лишайник . . .	Песчаный	20	8,1	10,2	10
Сосняк с липовым под- ростом	Суглини- стый	12	11,5	8,4	10

В Эберсвальдском лесничестве были поставлены наблюдения влажности в 20—25-летних сосняках на песчаной почве. Часть сосняков к 1912 г. оставалась без мер ухода, часть их была прорежена. На прореженных площадях на одной части сучья были оставлены на месте, на другой части — удалены. Все площади были смежные. В 1912 и 1913 гг. на них ежедневно наблюдалась влажность почвы. Прочистка сосняков с уборкой сучьев вызвала увеличение влажности почвы, а с оставлением сучьев на месте — еще большее увеличение влажности.

Сказанное подтверждается данными, приведенными в табл. 11.

Таблица 11

Влажность почвы в Эберсвальдском лесничестве

Время наблюдения	Глубина в см	Содержание воды в % на площадях		
		прорежен- ных с остав- лением сучьев	прорежен- ных с убор- кой сучьев	без про- реживания
1912 г.				
С 1 мая по 15 сентября	20	8,07	7,43	6,31
	40	6,71	5,83	5,09
1913 г.				
С 1 мая по 15 сентября	20	6,24	6,65	4,42
	40	4,87	4,34	3,63

Приведенного материала и выдержек из работ авторитетных лесогидрологов и ряда работников за последнее время достаточно, для того чтобы считать лес фактором, осушающим путем транспирации непосредственно то место, на котором он произрастает. Это утверждение относится и к лиственным лесам в степном районе, и к хвойным лесам в таежном районе. Явление это вполне положительно характеризует гидрологическое значение леса.

Испарение является фактором, вызывающим здесь же или вдалеке осадки, а осадки являются фактором, вызывающим жизнь. Быстрый оборот влаги увеличивает осадки, а консервирование воды в грунте, например в болоте, ослабляет темп жизни и, как далее будет развито, ослабляет речной сток там, где он особенно нужен.

Глава III

НАКОПЛЕНИЕ И ТАЯНИЕ СНЕГА В ЛЕСУ И НА ОТКРЫТОЙ ПЛОЩАДИ

Весенний паводок формируется в зависимости от процесса таяния снега на всех частях водосбора реки и от процесса стока талой воды с места таяния.

Процесс таяния снега на элементарной площадке определяется: запасом воды в снеге к началу таяния, временем начала таяния и окончания таяния, интенсивностью таяния. На водосборе реки таяние снега начинается одновременно, в зависимости от растительного покрова и направления склонов.

Сочетанием всех перечисленных характеристик создается комплексное влияние леса на формирование весеннего паводка реки, главным образом в части величин максимального расхода и времени наступления этого максимума.

Обычные метеорологические станции почти игнорируют наблюдения над накоплением и таянием снегового покрова; устанавливаемая для этой цели в ограде метеорологической станции рейка дает показания, не соответствующие действительному ходу явлений в поле и в лесу. Для получения величин и сроков накопления и таяния снега, соответствующих действительности, необходимы наблюдения по снегомерным линиям и площадям с обязательным определением не только высоты, но и плотности снега.

В литературе таких данных по регулярным наблюдениям высоты и плотности снега нет, ибо регулярных наблюдений у нас до 1937 г. не велось; имеются лишь кратковременные наблюдения, производившиеся по инициативе отдельных лиц в ряде пунктов, но продолжительность этих наблюдений в лучшем случае 3 года. Исключение составляют опубликованные в 1939 г. результаты длительных наблюдений в лесной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии возле Москвы. Наибольший материал имеется о времени окончания таяния, так как этот момент определяется глазомерно; мало материала по запасам воды и снега, и почти совершенно не уделялось внимания фиксации времени начала снеготаяния; как будет ясно из дальнейшего, разница во времени начала снеготаяния в лесу и в поле имеет не меньшее значение, чем сравнительное время окончания снеготаяния.

Запасы воды в снеговом покрове

Первыми обстоятельно проведенными в лесу наблюдениями запасов воды в снеговом покрове были наблюдения Н. С. Нестерова (1909) в лесной даче ныне Тимирязевской сельскохозяйственной академии в Петровском-Разумовском, под Москвой. В 1905 г. 8 и 9 марта здесь запасы воды в снеге на площадях различного растительного покрова определялись величинами, приведенными в табл. 12.

Таблица 12

Запас воды в снеговом покрове (по наблюдениям Н. С. Нестерова)

Поверхность	Возраст насаждения (лет)	Запас воды в мм
Еловые насаждения	25—35	54
Сосновые насаждения	25—35	76
	60—90	81
Сосна с примесью лиственницы	25—35	79
" " ели (0,2 до 0,5)	35	73
Еловые насаждения с примесью лиственницы	—	78
Березовые насаждения	35—75	128
Дубовые "	25 и 90	141
Молодые посадки, питомники, небольшие поляны	—	129
Поле опытное сельскохозяйственное	—	79

Таким образом, наблюдения Н. С. Нестерова показали, что наибольший запас воды в снеге был в лиственном лесу; в сосновом лесу он составлял всего 59% от запаса в лиственном лесу, в еловом — всего 40% от запаса в лиственном лесу, в поле 59%.

В Брянском опытном лесничестве исследования производились Тюриным и Сулковским (1914). Полученные ими результаты приведены в табл. 13.

Таблица 13

Запасы воды в снеговом покрове в Брянском лесничестве

Поверхность	Возраст насаждения (лет)	Запас воды в мм	
		1912/13 г.	1913/14 г.
Еловые насаждения	80—100	39	45
	40—60	45	66
Сосновые	60—80	50	63
	100—120	57	51
„ „ с густым еловым подростом	60	28	38
Лиственные насаждения	—	73	80
Небольшие поляны в лесу	—	73	74
Лесосеки шириной 50 м в бору . .	—	78	89

В Раменской даче, под Москвой, автором определены в 1909 г. (17 марта) следующие наибольшие запасы воды в снеге: в сосновом лесу — 89 мм, на больших полянах — 93 мм; под Вороножем, на территории Сельскохозяйственного института, в 1927 г. (12 марта) — в дубовом средневозрастном лесу — 109 мм, на полях и в кустарниках — 135 мм.

На Тосненской гидрофизической станции Гидрологического института, в 60 км к югу от Ленинграда, в 1934 г. (12 марта) исследования производились В. И. Рутковским. Результаты определений запасов воды в снеге даны в табл. 14.

Таблица 14

Запасы воды в снеговом покрове на Тосненской лесной даче

Поверхность	Запас воды в мм	Поверхность	Запас воды в мм
Спелый еловый древостой	82	Молодой березовый древостой	133
Молодая сосна	120	Заброшенная пахля	125
Спелый березовый древостой	112		

Приведенные в табл. 14 данные показывают, что молодой сосняк, березняк и поле имели одинаковый запас воды в снеге; еловый лес имел 66% запаса воды по сравнению с молодым сосняком и березняком.

На той же Тосненской станции по другим комплексам определений получены следующие максимальные запасы воды в снеге (табл. 15):

Таблица 15

Запасы воды в снеговом покрове на Тосненской лесной даче в различные годы

Поверхность	Запас воды в мм		
	1935 г.	1936 г.	1937 г.
Березовый лес	89	130	78
Поляна 150 × 400 мм	84	109	80
„ 500 × 500 „	—	117	87

Как видно из данных табл. 15, разницы в запасах воды в березовом лесу и на полянах здесь не оказалось.

В Сиверском опытном лесхозе Центрального научно-исследовательского института лесного хозяйства 15 февраля 1935 г. А. И. Асосковым получены следующие запасы воды (табл. 16):

Таблица 16

Запасы воды в снеговом покрове в Сиверском лесхозе

Поверхность	Возраст насаждения (лет)	Запас воды в мм
Еловый лес спелый, полнота 0,6	—	65
Еловый и сосновый лес (8С2Е)	80	72
Смешанный лиственный и еловый молодняк	50	74
Сосновый лес V бонитета	150	86
Смешанный сосново-лиственный	25	85
Сосновый молодняк I класса возраста	—	102
Открытая сплошная вырубка 1 × 1 км	—	93

Наиболее объемлющие сведения о запасах воды в снеговом покрове опубликованы Г. Р. Эйтингеном (1938) по материалам наблюдений в лесу и в поле Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Запасы воды в снеге здесь за 1905, 1909, 1910—1911, 1913, 1915—1917, 1925 и 1938 гг. в среднем приведены в табл. 17.

Таблица 17

Запасы воды в снеговом покрове, по Эйтингену (в мм)

Поверхность	Средний	Наименьший	Наибольший
Еловые насаждения	77,9	18,0	142
Сосновые	99,4	39,0	162
Березовые	120,6	51,0	195
Поляны	131,0	58,0	201
Поле	107,4	41,0	175

Приведенные материалы позволяют утверждать, что по накоплению снега различные виды растительного покрова располагаются в следующем нисходящем порядке: 1) лиственный лес (береза, дуб), поляны, небольшие лесосеки; 2) сосновый лес и большие открытые площади (поля, луга); 3) ельники. При этом в ельниках запасы воды в снеговом покрове составляют 40—60% от запаса в лиственном лесу. Чем сомкнутее лес, тем меньшая доля снеговых осадков доходит до земли.

Из изложенного следует логический вывод, что наименьший весенний паводок формируется на водосборах с густым еловым лесом, где происходит наименьшее накопление снега и, как далее будет показано, наименьшая интенсивность таяния и наименьшее промерзание грунта.

Время окончания снеготаяния

О времени исчезновения снега в лесу и в поле имеется очень много наблюдений, но в большинстве своем они проводились по инициативе отдельных лиц и потому продолжались 1—2 года; метода установления момента «снег сошел» не имеется.

Из многочисленных отрывочных материалов достоверные сроки исчезновения снега в лесу и на открытых местах приведены в табл. 18.

Таблица 18

Окончание таяния снега

Место наблюдения	Год	Тип леса	Сход снега		Запозда- ние (сутки)	Наблюда- тель или руководи- тель работ
			лес	поле		
Парфинская дача, близ г. Старая Русса	1901	Сосновый	18/IV	5/IV	13	Тольский
Талицкий завод на Урале	1902	"	—	—	30	Охлябинин
Петровское-Разумовское, у Москвы . .	1908	Березовый	16/IV	9/IV	7	} Нестеров
		Сосновый	23/IV	9/IV	14	
		Еловый	2/V	9/IV	23	
Раменская дача, Московской области .	1909	Сосновый	30/IV	13/IV	17	Дубах
Новгородская болотная станция . . .	1927	Смешанный	10/IV	25/III	16	Грамматин
Сиверский опытный лесхоз, в 70 км от Ленинграда	1935	Еловый	5/V	5/IV	30	} Асосков
		Сосновый	25/IV	5/IV	20	
Истринский пункт .	1938	Еловый	25/IV	28/III	27	} Лучшев и Петровский
Окский " .	1938	Сосновый	16/IV	22/III	22	
Районы Москвы . .	1924	Лиственный	19/IV	9/IV	10	} Качинский
	1925	(береза, дуб, осина)	17/IV	9/IV	8	
	1927	"	27/IV	22/IV	5	
Бузулукский бор . .	1902	Сосновый	—	—	7	Охлябинин
Валдайская гидрологическая станция .	1938	"	5/V	25/IV	10	Спенглер
Тосненская гидрофизическая станция	1934	Березовый	21/IV	15/IV	6	} Рутковский
	1935	с подростом ели	25/IV	7/IV	18	
	1936	"	26/IV	18/IV	8	
	1937	"	20/IV	10/IV	10	
	1938	"	27/IV	24/III	34	
Петровское-Разумовское	Среднее многолетие	Сосновый и еловый	—	—	19—37	Нестеров и Эйтинген

В Раменской даче, под Москвой, автором определены в 1909 г. (17 марта) следующие наибольшие запасы воды в снеге: в сосновом лесу — 89 мм, на больших полянах — 93 мм; под Вороножом, на территории Сельскохозяйственного института, в 1927 г. (12 марта) — в дубовом средневозрастном лесу — 109 мм, на полях и в кустарниках — 135 мм.

На Тосненской гидрофизической станции Гидрологического института, в 60 км к югу от Ленинграда, в 1934 г. (12 марта) исследования производились В. И. Рутковским. Результаты определений запасов воды в снеге даны в табл. 14.

Таблица 14

Запасы воды в снеговом покрове на Тосненской лесной даче

Поверхность	Запас воды в мм	Поверхность	Запас воды в мм
Спелый еловый дре- стой	82	Молодой березовый дре- востой	133
Молодая сосна	120	Заброшенная пашня . .	125
Спелый березовый дре- востой	112		

Приведенные в табл. 14 данные показывают, что молодой сосняк, березняк и поле имели одинаковый запас воды в снеге; еловый лес имел 66% запаса воды по сравнению с молодым сосняком и березняком.

На той же Тосненской станции по другим комплексам определений получены следующие максимальные запасы воды в снеге (табл. 15):

Таблица 15

Запасы воды в снеговом покрове на Тосненской лесной даче
в различные годы

Поверхность	Запас воды в мм		
	1935 г.	1936 г.	1937 г.
Березовый лес	89	130	78
Поляна 150 × 400 мм	84	109	80
„ 500 × 500 „	—	117	87

Как видно из данных табл. 15, разницы в запасах воды в березовом лесу и на полянах здесь не оказалось.

снега, где при ночном понижении температуры она замерзает, увеличивая плотность снега.

Снег, как и почва, обладает влагоемкостью и водопроницаемостью. Лишь после насыщения снега водой до полной его влагоемкости начинается сток воды из снегового покрова, т. е. уменьшение запаса воды в снеге; обычно сток из снега начинается при достижении плотности 0,35, иногда 0,40, а плотность снега до таяния составляет 0,10—0,20. Таким образом, от начала снеготаяния до начала поступления воды из снега на поверхность земли проходит некоторое время, исчисляемое для леса 10—20 сутками; за это время на поверхности снега образуется наст, внутри снег приобретает зернистое строение; от оттепелей и выпадения свежего снега образуется чередование плотных и рыхлых слоев.

Начало снеготаяния в лесу и на поле приходится, по существу, на один день, но идет оно с резко различной интенсивностью. Это объясняется тем, что солнечная инсоляция в лесу значительно меньшая и что скорость ветра, т. е. проход теплого воздуха по снегу в лесу, также значительно слабее.

Таблица 19

Солнечная инсоляция (граммкалорий на 1 см² за сутки)
на Тосненской гидрологической станции

Время наблюдения	Луг	Лес	Отношение $\frac{\text{лес}}{\text{луг}}$
М а р т			
26	224	82	0,37
28	83	37	0,45
29	383	124	0,32
31	136	50	0,37
А п р е л ь			
1	166	76	0,46
2	174	96	0,56
3	190	82	0,43
4	154	68	0,44
5	358	145	0,41
6	386	135	0,36
7	148	56	0,38
8	73	48	0,59
9	152	74	0,49
13	138	58	0,42
14	190	97	0,51
15	417	178	0,43
16	230	112	0,49
18	325	157	0,48
19	406	139	0,34
20	464	188	0,40

В табл. 19 приведены данные о солнечной инсоляции поверхности снега на лугу и в лесу по измерениям В. И. Рутковского на Тосненской гидрологической станции в 1938 г. Состав леса — осина 65 лет, высотой 19 м, диаметром 10 см и полнотой 0,7.

Таким образом, в среднем за период снеготаяния с 26 марта по 20 апреля на поверхность снега в осиновом лесу поступило калорий лучистой энергии 40% от количества калорий, поступивших за это же время на поверхность поля. Количество теплого воздуха, проходящего под снегом в лесу, также значительно меньшее; разница в скоростях ветра весной на высоте 2 м в лесу и над полем по определениям на Тосненской и Окской станциях оказалась в лесу в 6—9 раз меньше, чем в поле (см. главу об испарении).

Совокупность разницы в солнечной инсоляции и в скоростях ветра в лесу и на поле приводит к тому, что ко времени полного схода снега на открытых местах в лесу стает лишь половина запасов снега (Тосненская станция, Петровское-Разумовское, Истринский и Окский пункты).

За 1879—1925 гг. в Петровском-Разумовском температура ниже нуля держалась (Эйтинген, 1939) в лесу 181 сутки в году, а в поле 139 суток в году.

В 1938 г., по данным Всесоюзного научно-исследовательского института лесного хозяйства, для схода всего снега потребовалось следующее число градусо-часов положительной температуры: на Истринском пункте на поле — 673, в лесу — 2 413; на Окском пункте на поле — 610, в лесу — 1 414.

В лесу потребовалось на таяние снега значительно большее число градусо-часов вследствие имеющегося там застоя воздуха.

Время начала убыли запаса воды в снеге

Приведенные данные указывают на значительное замедление таяния снега в лесу, но не дают материала для суждения о времени начала стока воды из снега; эти сведения могут дать лишь регулярные определения запасов воды в снеге. К сожалению, таких сведений почти не имеется, несмотря на то, что за последние годы снегомерные съемочные работы производились в большом масштабе. Это объясняется тем, что исследователи не придавали моменту начала убыли воды в снеге того основного значения, которое он имеет для суждения об интенсивности таяния снега. Имеющийся по этому вопросу материал автора (1938) сводится к следующему.

В Раменской даче, Московской области, изменение запасов воды в снеге в 1909 г. шло так, как это показано в табл. 20 и на рис. 3.

Снеготаяние в Раменской даче (в мм)

Время наблюдения	Большие поляны	Лес сосновый
Март 17	93	89
" 30	84	97
Апрель 4	48	87
" 12	58	90
" 17	0	56
" 22	0	Пятнами

На рис. 3 ясно видно, что в Раменской даче сток воды из снега в сосновом лесу начался на 22 суток позднее, чем на

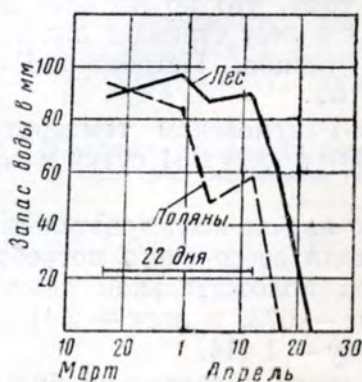


Рис. 3. Снеготаяние в Раменской даче

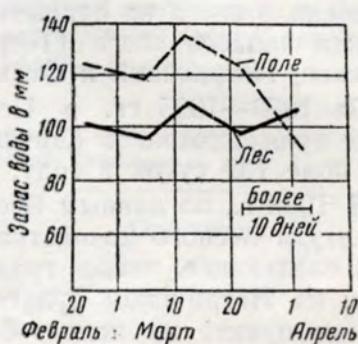


Рис. 4. Снеготаяние возле г. Воронежа

больших полянах (период опоздания отмечен на графиках горизонтальной чертой).

Под Воронежом в 1927 г. изменение запаса воды в снеге по ходовой линии 525 м в дубовом лесу среднего возраста и 950 м на открытой площади шло следующим образом (табл. 21 и рис. 4):

Таблица 21

Снеготаяние возле Воронежа (в мм)

Время наблюдения	Поля и кустарники	Дубовый лес
Февраль 22	124	101
Март 5	119	96
" 12	135	109
" 22	123	99
Апрель 2	96	107

Как видно на рис. 4, опоздание начала стока воды из снега в дубовом лесу определяется сроком более 10 суток.

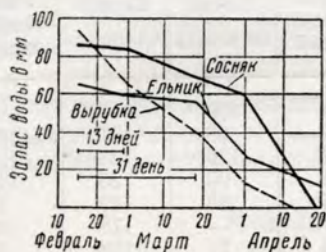


Рис. 5. Снеготаяние в Сиверском лесхозе

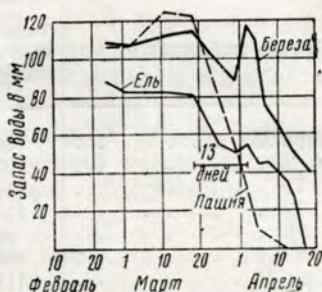


Рис. 6. Снеготаяние на Тосненской станции

В Сиверском лесхозе в 1935 г. запасы воды в снеговом покрове изменялись, как это показано в табл. 22 и на рис. 5.

Таблица 22

Снеготаяние в Сиверском лесхозе (в мм)

Время наблюдения	Еловый лес спелый	Елово-сосновый лес 8С2Е, 80 лет, полнота 0,7	Листо-венно-еловый лес	Сосняк на болоте	Вырубка сплошная 1 × 1 км
Февраль 15	65	72	65	86	93
Март 1	59	67	67	84	66
" 18	56	62	62	68	40
Апрель 1	26	67	70	61	13
" 17—18	13	7	35	0	0

На рис. 5 видно, что убыль воды в снеге в елово-сосновом лесу 80 лет и в спелом еловом лесу Сиверского лесхоза началась на 31 сутки позднее, а в сосняке на 13 суток позднее по сравнению со сплошной вырубкой.

Наконец, на Тосненской станции в 1934 г. сток воды из снега начался на всех площадях в период 12—26 марта (табл. 23), но затем в лесу он прекратился, возобновившись 7 апреля; на открытом же водосборе начавшееся 12—26 марта таяние снега шло, не останавливаясь, до полного схода снега 11 апреля. На рис. 6 (горизонтальной чертой) показано опоздание начала снеготаяния в лесу на 13 суток сравнительно с открытым местом.

Снеготаяние в Тосненской даче (в мм)

Время наблюдения	Березо- вый лес спелый	Еловый лес спелый	Сосна молодняк	Береза молодняк	Пашня забро- шенная
Февраль 25	108	88	100	—	107
Март 2	107	82	98	131	107
" 12	112	82	120	133	125
" 19	114	81	98	125	122
" 26	96	54	80	119	74
" 29	89	51	—	118	59
Апрель 2	118	55	71	118	32
" 5	108	45	60	113	11
" 7	74	46	51	112	5
" 11	63	—	35	88	0
" 12	—	38	—	—	—
" 14	52	28	30	72	—
" 17	43	0	13	70	—

Приведенный в таблицах сравнительный материал по началу стока воды из снега позволяет только установить, что в лесу начало стока воды из снега запаздывает в среднем на 15 суток по сравнению с открытым местом. Для установления более надежного срока запаздывания этот материал недостаточен и, кроме того, он не расчленен по составу леса.

Материал по снеготаянию будет считаться исчерпывающим тогда, когда окажется возможным выражать зависимость числа дней таяния снега (со дня убывания воды в снеге) от температуры воздуха, действия солнечных лучей, состава леса, возраста и полноты леса, а также запаса воды в снеге.

* * *

При опаздывании начала стока воды из снега в сосновом лесу на 15 суток по сравнению с полем и при опаздывании схода снега в сосновом лесу также на 15 суток по сравнению с полем интенсивность таяния снега в сосновом лесу и в поле должна приниматься почти одинаковой, различающейся лишь соответственно различию запасов снега в сосновом лесу и на поле.

На открытых местах убыль воды в снеге начинается под действием дневных солнечных лучей, прекращаясь на ночь, и идет, таким образом, с переборами в течение суток. В лесу, вследствие затенения и застоя воздуха, убыль воды в снеге начинается позднее и, начавшись, идет с меньшими переборами в течение су-

ток, при среднесуточной температуре, высшей по сравнению с временем таяния снега на полях.

Изложенные положения о запаздывании начала и окончания стока воды из снега в сосновом лесу на 15 суток, а в еловом лесу еще на большее число суток имеют решающее значение для дальнейшего логического построения суждений о влиянии леса на весенний паводок.

Поэтому считаем необходимым проверить эти положения на приведенных ниже материалах наблюдений весенних паводков на больших реках с водосборами разной облесенности.

Модули весеннего стока

Изложенные на основе рассмотрения процесса снеготаяния условия формирования снегового паводка при различной облесенности водосбора можно подтвердить материалами гидрометрических наблюдений по рекам второго порядка.

Д. Л. Соколовский (1937) собрал обильный цифровой материал по наблюдениям за максимальным расходом на реках СССР. Эта работа дает возможность сопоставить весенние максимальные модули стока с лесистостью водосбора рек.

Рассмотрим модули максимальных стоков с водосборов в пределах 10—60 тыс. км², с продолжительностью наблюдения от 10 лет, исключив при этом реки озерного питания.

Выбранные с такими ограничениями реки второго порядка распределяем по трем группам облесенности (табл. 24).

Приведенные в табл. 24 выборочные данные дают весьма важный цифровой материал для суждения о влиянии лесистости на наивысший и средний максимумы. Не подводя средних арифметических величин, так как материал разнороден, можно достаточно обоснованно сделать некоторые выводы.

1. На северных реках, водосборы которых сильно облесены, средние максимальные модули большие по сравнению с реками средней облесенности. Северная река Мезень имеет наибольшую из всех приведенных рек величину среднего максимального модуля (111 л); очень большой модуль имеет река Пинега; все остальные северные реки второго порядка — Вага, Вычегда, Юг — имеют также большие модули. Реки Сухоны в таблице нет, так как она имеет исток из озера.

Большие модули весеннего паводка перечисленных рек объясняются тем, что при большой облесенности таяние снега происходит по всему бассейну одновременно. Кроме того, конечно, большое значение имеют насыщенность грунта водой вследствие слабого испарения и мерзлота грунта.

2. Существенным оказалось также и то, что наивысший максимальный модуль по северной реке Пинега уступал лишь максимуму по реке Оке, режим которой известен как особенно бурный. И по остальным рекам Северной равнины наивысший

Максимальные весенние модули стока

Реки второго порядка	Пункт	Площадь водо- сбора в км ²	Число лет наблю- дений	Средний макси- мальный модуль с 1 км ² в л/сек.	Наивысший мак- симум модуля с 1 км ² в л/сек.
С сильно облесенными водосборами:					
Вага, приток Сев. Двины . . .	Власовская	30 000	15	78	102
То же	Лежовская	42 000	13	85	133
Вычегда, приток Сев. Двины .	Сыктывкар	68 300	9	71	129
Пинега, приток Сев. Двины . .	Кулакары	38 000	19	97	174
Юг, приток Сев. Двины	Гаврино	35 070	25	68	115
Мезень	Нисагоры	54 400	10	111	166
Средней облесенности:					
Молога, приток Волги	Весьегонск	31 510	16	58	105
Шексна, "	Череповец	20 000	35	—	53
То же "	Вахново	36 600	33	46	68
Клязьма, приток Оки	Ковров	25 600	43	68	123
Унжа, приток Волги	Макарьев	18 740	35	82	125
Ветлуга, приток Волги	Воскресенск	35 040	26	—	62
Вятка, приток Камы	Ж.-д. мост	52 300	48	70	113
Волга	Калинин	24 600	48	105	158
Березина	—	20 410	50	35	119
Малой облесенности:					
Дон	Гремячее	60 100	35	65	131
Северный Донец, приток Дона	Изюм	22 130	8	24	40,5
Хопер, приток Дона	Поворино	19 330	—	63	140
Медведица, приток Дона	Ж.-д. мост	11 500	—	—	174
Ока	Калуга	54 750	47	95	201
То же	"	69 000	45	102	154
Сура, приток Волги	Промзино	27 480	18	62	156
Сула, приток Днепра	—	17 420	17	13	24
Псел, приток Днепра	—	11 430	17	46	162
Ворскла, приток Днепра	—	10 160	17	61	198
Сейм, приток Десны	—	27 720	9	—	114

максимум, как правило, превышает таковой на реках средней облесенности.

3. Наименьшие весенние максимумы обоих порядков имеют реки средней облесенности: Молога, Шексна, Унжа, Ветлуга, Вятка, Березина, Клязьма. Это обстоятельство особенно следует подчеркнуть, так как оно подтверждает основное положение о процессе формирования весенних паводков: сначала идет вода полей, потом вода лесов. Если водосбор сплошь лесной, паводок большой; если водосбор сплошь полевой, паводок еще больше.

4. Реки степные малой облесенности имеют низкие средние максимумы, что объясняется малыми в среднем запасами снега на их водосборе; но наивысший максимум степных рек оказывается очень большим; он создается редкими годами с большими запасами снега и быстрым его таянием.

Изложенное о высоких паводках на реках Севера с сильно облесенными водосборами вполне подтверждает выведенные ранее на основе наблюдений над таянием снега положения о значении лесистости водосборной площади.

Глава IV

ИСПАРЕНИЕ С ОБЛЕСЕННЫХ БАССЕЙНОВ

Переход от одиноко стоящих деревьев к лесу сопровождается изменением условий испарения. Одиноко стоящие деревья, несомненно, увеличивают суммарное испарение с площади, так как к испарению с поверхности земли и травяного покрова прибавляется испарение через листву дерева.

С увеличением числа деревьев на площади начинается уменьшающее влияние древостоя на испарение непосредственно с поверхности земли вследствие замедления ветра, затенения поверхности и наличия на поверхности земли лесного опада.

При наличии сомкнутого древостоя условия испарения резко изменяются: между поверхностью земли и пологом создается специфический климат, характеризующийся застойным влажным воздухом; на земле образуется слой лесной подстилки с особыми водными свойствами.

Испарение с площади, покрытой лесом, складывается из трех резко выраженных компонентов: 1) испарение с поверхности земли, 2) испарение из грунта через листву (транспирация) и 3) испарение воды, задерживаемой кронами. Рассмотрение испарения начнем с третьего слагаемого, как стоящего обособленно и наиболее просто определяемого. Принимается при этом, что испарение с крон равно количеству задерживаемой на листве и ветвях влаги. Затем будут приведены некоторые сведения по испарению с поверхности земли, скудные — по транспирации и, наконец, более точные материалы по суммарному испарению с облесенного бассейна.

Задержание атмосферных осадков пологом леса

В работах лесных опытных станций и в лесоводственной литературе большое внимание уделяется определениям задержания снега и дождя пологом леса с последующим испарением задержанных осадков обратно в атмосферу.

Вопрос этот по состоянию на 1926 г. изложен в посмертном издании проф. Н. С. Нестерова (1933) «Очерки по лесоведению».

В этом труде приводятся наблюдения Гоппе близ Вены, проведенные в 90-х годах в течение всего лишь двух вегетационных периодов, без зимних периодов. На основании наблюдений по 40 подкронным дождемерам в каждом насаждении, с учетом и стока воды по стволам, Гоппе определил следующие проценты задержания воды пологам елового, соснового и букowego лесов (табл. 25):

Таблица 25

Задержание кронами жидких атмосферных осадков

Количество дождя в мм	Ель 61 год	Сосна 64 лет	Бук 84 лет	Бук 88 лет	Сток воды по стволам в % от количества осад- ков		
	в процентах				ель	сосна	бук
<5 мм	71	49	38	36	0	0	9
5—10 мм	57	38	24	29	—	—	—
10—15 "	44	23	19	19	0,7	0,1	9
15—20 "	31	25	13	19	—	—	—
>20 мм	24	8	10	—	4,8	1,8	21

Наблюдениями Гоппе установлено основное положение: чем слабее дождь, тем больший процент воды задерживается пологом леса. Дождь свыше 20 мм задерживается сосной всего лишь в размере 8%; отсюда возможен вывод, подтверждающийся позднейшими наблюдениями, что сильный ливень в 40 мм (а бывают ливни и в 70 мм и более) целиком пройдет через полог леса и достигнет поверхности почвы.

Далее, проф. Нестеров указывает, что «баварские, швейцарские и прусские исследования на лесометеорологических станциях лишены серьезного основания», так как наблюдения производились лишь по одному дождемеру, поставленному под пологом леса.

Большой материал по вопросу о задержании дождя и снега лесным пологом был получен исследователями в нашей стране.

Длительные наблюдения проведены в лесу Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Здесь проф. Нестеровым были поставлены в 1901—1907 гг. дождемеры в числе пяти в каждой из следующих пород леса: в сосновом лесу 38 лет (культура); в сосновом лесу 87 лет (естественном); в еловом лесу 38 лет (культура); в березовом лесу 76 лет (естественном). Возраст древостоев отнесен к началу наблюдений.

Наблюдения велись до 1926 г. под руководством проф. Нестерова, а затем проф. Эйтингеном. Для сопоставления осадков, прошедших через полог леса, с осадками, выпадавшими на открытой местности, в каждой породе леса находился дождемер среди поляны.

Результаты этих наблюдений по задержанию осадков пологом леса частично опубликованы проф. Нестеровым, а подробно — проф. Эйтингеном (1938). Выводы проф. Эйтингена за время по 1934 г. включительно приводим ниже.

В спелом березняке (500 стволов с площадью оснований на 1 га 26 м^2) не достигают почвы в среднем в год лишь 9% осадков, выпадающих на открытом месте; при этом зимой оголенный от листьев полог леса не задерживает снега, и все осадки достигают почвы. В остальные сезоны не достигают почвы 14—24% осадков. В годы наибольшего проникновения осадков через полог березового леса задержание равно 6%. Наибольший процент осадков задерживается осенью при мелких дождях.

В средневозрастном сосняке (2 300 стволов на 1 га с площадью основания 37 м^2) и в спелом сосняке (546 стволов на 1 га с площадью основания 37 м^2) задерживалось пологом 13—15% годового количества осадков; при этом зимой достигало почвы леса столько же снега, сколько выпадало его на открытом месте. В остальные сезоны полог сосняка задерживал влаги — 19—25% выпадавших осадков. В годы наибольшего задержания осадков оно составляло 68% в молодом и 83% в спелом сосняке.

В средневозрастном густом чистом ельнике (2 300 стволов на 1 га с площадью основания 29 м^2) задерживалось покровом леса 37% годового количества осадков; зимой ельник задерживал в среднем 22% снега; весной, летом и осенью — 36—46% дождя. В годы наименьшего задержания осадков оно составляло 22% за год, причем зимой всего лишь 5%, в годы наибольшего задержания — 51%.

Таким образом, наличие березового леса, по материалам Нестерова и Эйтингена, лишь незначительно уменьшает количество попадающих на поверхность земли атмосферных осадков по сравнению с открытым местом.

Если же учесть тот факт, что на открытом месте имеется травостой или посевы, листва которых также задерживает на себе часть выпадающих атмосферных осадков, то отличие леса как фактора, задерживающего часть атмосферных осадков, окажется еще меньшим.

Задержание воды травяным покровом

По задержанию осадков травяным и сфагновым покровом опубликован опыт В. И. Рутковского, проведенный на Тосненской гидрологической станции в 1934 г.

С поверхности земли срезался моховой покров с травой без захвата земли; срез укладывался на металлическую сетку, закрепленную в сосуде на некоторой высоте от дна; площадь сосуда 1 000 см². Сосуд со срезом мха и травы помещался рядом с пустым сосудом такого же сечения. После дождя определялось количество воды на дне сосуда со срезом мха на сетке и на дне пустого сосуда; разность показывала задержание воды срезом мха и травы. Получились очень большие проценты задержания воды мхом и травой (табл. 26).

Таблица 26

Задержание дождя травяным покровом

Количество осадков в мм	Травяно-моховой покров		Моховой покров	
	задержано осадков в %	число наблюдений	задержано осадков в %	число наблюдений
0,3—1	80—100	6	70—80	2
2,5—4	57	2	50—55	2
5—7	45	6	21—31	2
15—18	—	—	11—14	4

Но вообще трудно делать сопоставления в процентах прохождения осадков в почву леса и луга, так как в лесу прошедшие через полог леса осадки встречают на своем пути лесную подстилку, а на лугу — дернину.

В. П. Лохов (1938) поливанием молодых деревьев из лейки и затем взвешиванием их в политом и обсохшем состоянии определял предельные количества воды, удерживаемой листвой при дожде. Эти предельные количества задерживаемого листвой слоя дождевой воды мы приводим в табл. 27.

Таблица 27

Задержание воды листвой при поливе

Порода	Возраст (лет)	Полнота	Предельное количество задерживаемой воды в мм
Осина	30	0,8	0,5
	14	1,0	0,5
Береза	35	1,0	1,1
	35	—	1,2
Сосна	12	0,8	0,9
	14	0,9	1,3
Ель	24	—	2,8
	43	1,0	4,6

Таким образом, все то количество дождя, которое выпадает за один прием сверх предельного задержания листвою, проникает до почвы. Если, например, за один прием на 24-летний ельник выпадает 5 мм дождя, то из них задержится пологом 2,8 мм, проникнет сквозь полог 2,2 мм; если те же осадки выпадут в два приема, то они целиком задержатся кронами.

Из приведенных величин предельных количеств воды, задерживаемой пологом молодняка, ясно, что при ливне в 40 мм задерживающая способность полога леса оказывается в процентном отношении близкой к нулю, и смягчение паводка может осуществляться лишь другими факторами: влагоемкостью лесной подстилки или проникновением воды в почвенные горизонты.

В. П. Лохов также показал чрезвычайно большую задерживающую способность лесной подстилки. Еловая подстилка мощностью 2,5 см задерживает 4,3 мм дождя; та же подстилка мощностью 5 см задерживает 19,4 мм дождя.

Кроме того, им определена дождеванием задерживающая способность злаковых растений, равная способности крон березы и сосны, и задерживающая способность мхов и лишайников, равная задерживающей способности лесной подстилки. Приводим полученные им данные по задержанию воды (в мм): луг заливной — 1,4; рожь — 0,8; злаки на лесосеке — 0,7; зеленые мхи — 9,8 и лишайники — 4,5.

Изложенное свидетельствует о том, что лишь лесная подстилка и сплошной моховой покров удерживают значительные количества дождя, именно 10—20 мм, травяная же и древесная растительность удерживает лишь 1—2 мм и только ель — до 5 мм, т. е. лесной полог сам по себе, при отсутствии лесной подстилки, задерживает очень малый процент ливневых вод.

Испарение с поверхности земли под пологом леса

При исследовании испарения следует иметь в виду, что величина испарения с поверхности земли зависит от метеорологических, почвенных и водных факторов.

Метеорологические факторы: 1) движение воздуха (ветер); 2) дефицит влажности, обусловливаемый содержанием влаги в воздухе и температурой воздуха; 3) давление атмосферы.

Почвенные факторы: 1) живой растительный покров; 2) мертвый покров; 3) крупность частиц почвы (мелкозернистые почвы испаряют больше); 4) строение почвогрунта (морфология, стратиграфия); 5) химический состав почвы; 6) температура почвы; 7) капиллярность почвы; 8) цвет почвы.

Водные факторы: 1) расстояние уровня грунтовой воды от поверхности; 2) влажность почвы; 3) капиллярное поднятие.

Наконец, большое значение имеет направление склона поверхности (на юг, на север), действующее на испарение косвенно, влияя непосредственно на ветер и температуру. Совершенно очевидно, что действие каждого из факторов может оцениваться качественно; количественно оно оценивается с большим трудом или вовсе не может быть оценено. Суммарное же влияние всех факторов, выражающееся в величине испарения, как будет показано далее, определять возможно, но, несмотря на это, фактического материала все же почти не имеется.

В последующем кратко рассматривается значение отдельных факторов испарения с поверхности земли и с травяного покрова. Сильно влияющим фактором является ветер, поэтому с него и начинаем изложение.

Ветер в лесу и его влияние на испарение

Величины скоростей ветра в лесу и на обширной поляне определялись В. И. Рутковским на Тосненской гидрологической станции, в 60 км к югу от Ленинграда. Анемометр Фусса показал, в 1934 г. за время с 7 августа по 1 ноября следующие средние скорости на разных высотах (табл. 28):

Таблица 28

Скорости ветра на разных высотах

Место наблюдения	Средняя скорость в м/сек.	Число часов наблюдений
Луг на высоте 10 м	2,7	520
Лес на высоте 10 м среди стволов .	0,8	527
Лес на высоте 22 м над кронами .	1,3	484

Наблюдения, произведенные весной 1938 г. на высоте 10 м в березовом лесу с примесью осины (запас 210 м³, полнота 0,8, бонитет I), дали следующие средние скорости: на лугу 2,8, в лесу 0,5 м/сек.

Обращает внимание и существенно в наблюдениях на Тосненской станции то, что скорости ветра над пологом леса (22 м) в 2 раза меньше, чем скорость на открытом лугу; шероховатая поверхность верхней границы лесного полога оказывает сильное задерживающее влияние на ветер.

Сравнительные измерения скорости ветра производились в 1938 г. (1—15 апреля) на Окском опытном пункте Всесоюзным научно-исследовательским институтом лесного хозяйства в чистом сосновом лесу и в поле на высоте 2 м. Средняя скорость ветра оказалась в поле 2,9, в лесу 0,3 м/сек.

Следовательно, и на Тосненской и на Окской станциях скорость ветра в лесу оказалась в 9 раз меньшей, чем в поле.

Затухание движения ветра в лесу уменьшает испарение влаги с поверхности почвы и травяного покрова. Влияние ветра на испарение с поверхности воды учитывается распространенной в гидрологии формулой Майера:

$$E = 15 (V - v) \cdot (1 + 0,224 w),$$

где:

$(V - v)$ — дефицит влажности воздуха в мм;
 w — скорость ветра в м/сек. на высоте 9 м;
 E — испарение за месяц в мм.

Внося в формулу Майера полученные на Тосненской станции скорости ветра 0,8 м в лесу на высоте 10 м и 2,7 м на лугу, получаем соотношение испарения под пологом леса и на лугу под влиянием различия в скоростях ветра:

$$\frac{1 + 0,224 \cdot 0,8}{1 + 0,224 \cdot 2,7} = \frac{1,07}{1,61},$$

т. е. вследствие разности скоростей ветра испарение с лесной почвы в 1,5 раза меньше, чем с почвы открытой местности. Кроме того, испарение под пологом леса уменьшается вследствие большей влажности воздуха.

Замедляющее влияние леса на скорость ветра проявляется в большой мере и в специфичных условиях лесными полосами в степях. По этому вопросу имеется обширная литература. Приводим лишь последние материалы. По сообщению Н. М. Горшенина (1938), на Росташевском опытном пункте в совхозе им. Нансена производились наблюдения над испарением из фарфоровых чашек, расставленных в степи на разных расстояниях от лесной полосы. Результаты двухмесячных наблюдений В. Боброва приведены в табл. 29.

Таблица 29

Испарение воды из чашек в степи

Расстояние от лесной полосы в м	Испарение в мм	Диаметр чашек	Расположение чашек
10	24,2	} 10 см	} На высоте 50 см от поверхности
50	24,7		
100	27,9		
200	30,9		
350	32,5		
500	33,2		
950	33,3		
Степь	35,9		

Из табл. 29 видно, что защита от ветра уменьшала в степи испарение с водной поверхности на 10 мм в сутки. Н. М. Горшенин по этому поводу указывает: «Можно считать, что лесные полосы сокращают испарение на расстоянии до 60 высот полосы, в зависимости от скорости ветра. Максимальное сокращение испарения приходится на зону, равную 10—20-кратной высоте полос».

Влажность воздуха

О различии влажности воздуха в лесу и на открытом месте имеется много отрывочных сведений, приводимых в лесоводственной литературе.

Наиболее полными и новыми, хотя и охватывающими кратковременный период, следует считать наблюдения, проведенные в 1933—1934 гг. кафедрой климатологии Ленинградского университета под руководством проф. А. А. Каминского и Л. К. Завадовского. Местом наблюдения был район железнодорожной станции Саблино, в 50 км от Ленинграда. Наблюдения влажности воздуха велись параллельно: 1) в еловом лесу с примесью сосны и березы на суходоле, 2) на лугу и 3) на сфагновом болоте (И. И. Касаткин, 1932 и Н. А. Качинский, 1927). Задачей этих исследований было выявление гидрологических свойств болота, а не леса, поэтому обработка наблюдений проводилась в соответствующем направлении.

Лесной участок был выбран возле болота на суходоле, покрытом елью с примесью сосны и березы, с сомкнутой кроной, без признаков заболачивания. Луговой участок находился при метеорологической станции в Саблине, в нескольких километрах от болота.

Наблюдения влажности велись на высоте 0,5, 1 и 2 м над поверхностью земли. Материал за 1934 г. обработан В. П. Курской. Наблюдения в 1934 г. велись в июле ежедневно с 7 до 21 часа, в августе — через каждые два часа.

В. П. Курская на основании подробных таблиц приходит к выводу, что «относительная влажность больше всего в лесу»; такое положение наблюдалось в большинстве случаев, но были и довольно значительные отклонения: «...разности между болотом и лесом доходили в отдельных случаях до 25%. Таким образом, мы получаем довольно значительное понижение относительной влажности над болотом по сравнению с лесом и несколько меньше с суходолом».

Изложенный вывод иллюстрируется приведенной ниже сводной таблицей разностей относительной влажности в лесу и над болотом (табл. 30).

В еловом лесу относительная влажность воздуха на высотах 0,5, 1 и 2 м оказалась во все часы дня и вечера также большей, чем над болотом.

Относительная влажность в лесу минус влажность над болотом

Время наблю- дения	Высота над по- верх- ностью земли в м	Ч а с ы								Превыше- ние относи- тельной влажности в среднем за сутки в лесу по сравнению с болотом
		7	9	11	13	15	17	19	21	
Июль	2,0	+8	+9	+9	+8	+8	+9	+8	+4	7,6
"	1,0	+8	+10	+12	+9	+8	+8	+8	+4	8,4
"	0,5	+9	+13	+12	+10	+10	+11	+10	+3	9,0
Август	2,0	+7	+6	+4	+3	+5	+9	+14	+3	6,4
"	1,0	+7	+11	+7	+7	+7	+10	+13	+2	8,0
"	0,5	+9	+12	+9	+10	+11	+13	+12	+2	9,8

Наличие большей влажности воздуха в лесу, чем на болоте, можно объяснять двояко: или тем, что с влажной поверхности лесной почвы идет сильнее испарение, или тем, что в лесу слабо движение воздуха и пары воды застаиваются; таким образом, на основании приведенных данных нельзя разрешить вопрос о том, с какой поверхности испарение больше — с лесной или со сфагнового болота.

Более определенные выводы можно сделать при сравнении влажности над сфагновым болотом и суходольным лугом на площадке метеорологической станции Ленинградского университета в Саблине (табл. 31).

Таблица 31

Относительная влажность над лугом минус влажность над болотом

Время наблюдения	Высота над по- верх- ностью земли в м	Ч а с ы							
		7	9	11	13	15	17	19	21
Июль	2,0	-5	-1	0	+2	-1	+3	+1	+2
"	1,0	0	+2	+1	+2	+1	0	-2	-3
"	0,5	+1	+2	+3	+1	0	+1	-1	-5
Август	2,0	-1	-1	+1	-1	+2	0	+1	-5
"	1,0	-1	+2	+3	-1	+3	0	-4	-5
"	0,5	+3	+2	+2	+3	+2	-2	-4	-3

Из табл. 31 видно, что в утренние часы на высоте 2 м влажность на болоте значительно больше, чем на лугу, а у поверхности болота меньше. В полуденные часы влажность над лугом, как правило, больше, чем над болотом. Это обстоятельство заслуживает внимания; оно свидетельствует о большем испарении с луга, чем со сфагнового болота.

К вечеру, вследствие быстрого охлаждения поверхностного горизонта сфагнового болота, влажность над болотом увеличивается в большей мере, чем на лугу; происходит образование тумана.

Кроме ежедневных стационарных наблюдений на опорных точках леса, луга и болота, производились и так называемые маршрутные наблюдения по линиям, пересекающим лес, луг и болото.

Маршрутные исследования в районе Саблина показали, что в лесу во все полуденные часы влажность воздуха больше, чем над лугом, и значительно больше, чем над сфагновым болотом.

Однако по большей влажности воздуха под кронами деревьев нельзя сделать никакого вывода об испарении; с одной стороны, влажность воздуха указывает на наличие испарения, создающего эту влажность, но, с другой стороны, влажный воздух в лесу остается малоподвижным и потому не воспринимает новой влаги из почвы.

Надо отметить, что в соотношениях влажности воздуха в лесу и над лугом имеются и отступления от изложенного выше. Например, в Боровом лесничестве (б. Самарской губ.) С. Д. Охлябинин (1911) в течение трех лет наблюдал в метеорологической будке на поляне размером 1 км $\times$ 1 км на песчаном грунте абсолютную и относительную влажность, несколько большую, чем в сосновом лесу на песчаной же почве.

Методы наблюдения над испарением с поверхности почвы и с травяного покрова и полученные величины испарения

Испарение из грунта через поверхность его и через растительный покров следует различать действительное, т. е. происходящее в естественных условиях влажности грунта, температуры, действия ветра, растительного покрова и пр., и возможное, наблюдаемое в искусственных условиях, именно в сосудах, при создаваемой определенной влажности грунта, определенном состоянии грунтовой воды от поверхности и пр.

Испарение с поверхности земли является до настоящего времени в количественном отношении еще недостаточно изученным. Многочисленные эксперименты в этом направлении вследствие неверности применяемого метода наблюдений в большинстве своем не дали ожидаемых результатов.

Первоначальным и наиболее грубым методом наблюдения является применявшаяся почвоводами насыпка грунта в порош-

кообразном состоянии в трубки. Ясно, что этот метод ничего полезного дать не мог.

Второй метод, наиболее распространенный и применявшийся издавна на метеорологических станциях, состоит в следующем: вырезанные из грунта монолиты незначительных размеров, обычно 500—1 000 см² и высотой 20—30 см, помещают в сосуды-испарители; испаритель помещается во второй сосуд-футляр, который устанавливают в землю в уровень с поверхностью; испарение определяется путем взвешивания испарителя и учетом выпавших осадков (например, прибор системы Рыкачева). Вырезанный монолит в производившихся опытах оставался в испарителе беспрерывно в течение всего сезона наблюдения; эта беспрерывность монолитов значительно снижала ценность получавшихся результатов. Метод разнообразился в некоторых случаях тем, что в испаритель добавлялась вода, поддерживавшая постоянство влажности монолита; этот метод также не дал положительных результатов, так как влажность монолита не соответствовала влажности грунта, откуда он был вырезан.

Третий метод представляет собой исправление второго, состоящее в том, что монолиты в испарителе сменные и притом сменяются возможно чаще. Этим достигается приближение условий испарений с монолита к испарению с действительной поверхности луга, поля, леса; при этом испаритель должен устанавливаться на том же участке, откуда он вырезан, а не помещаться в ограде метеорологической станции.

Четвертый метод — наблюдение испарения из лизиметров — больших сосудов размерами около 1 м³, в которых создается и поддерживается уровень грунтовой воды на желаемой высоте, а именно на высоте стояния ее в натуре.

Пятый метод (назовем его гидрологическим) состоит в наблюдении стока по речке или балке и наблюдении осадков на этой площади. Вычитание стока из осадков дает величину испарения как разность.

В многотомном руководстве по почвоведению, изданном в 1930 г. на немецком языке,¹ приведено очень много материала наблюдений над испарением с различного рода почв разными исследователями. Однако большая часть этих наблюдений не может иметь никакого значения для разрешения вопроса об испарении с поверхности луга, поля, болота, лесной почвы, так как опыты испарения производились преимущественно в трубках и притом с «порошками» вместо грунтов. На таких опытах мы поэтому останавливаться не будем.

Наибольший интерес представляют собой продолжительные наблюдения по испарителям Рыкачева на Новгородской болотной опытной станции. В табл. 32 приведены средние величины

¹ Handbuch der Bodenlehre, Herausgegeben von D-r Blanck, 1930.

испарения в миллиметрах с различных поверхностей, полученные за 10 лет наблюдений.

Таблица 32

**Испарение по наблюдениям Новгородской болотной станции
(в мм за сутки)**

Поверхность	Месяцы					Среднее за май — август
	май	июнь	июль	август	сентябрь	
Болото моховое	3,8	2,7	2,8	2,6	1,5	2,9
" переходное	3,2	3,3	3,2	2,8	1,5	3,1
Луг искусственный	3,9	4,1	3,9	1,9	1,4	3,4
Рожь озимая	4,2	4,0	3,0	2,0	—	3,2
Овес	2,8	3,7	3,8	2,8	—	3,1
Черный пар	2,6	2,1	2,2	2,3	2,7	2,3

Оказалось, что больше всех поверхностей испаряет луг искусственный, т. е. злаки кормовые; за ними следуют зерновые культуры и болото переходного типа, т. е. поверхность, также покрытая травяной растительностью; меньше испаряет болото моховое и совсем мало черный пар (обработанная, поддерживаемая в комковатом строении, незасеянная поверхность).

Из многих кратковременных наблюдений над испарением с монолитов приведем лишь те, которые имеют прямое или косвенное отношение к лесу.

На болоте «Галицкий мох» близ железнодорожной станции Редькино, между г. Калининым и Москвой, произведены были с 15 мая по 21 октября 1927 г. наблюдения (Доктуровский, 1932) в испарителе Рыкачева с торфяных монолитов на открытой поверхности и в редком болотном лесу (табл. 33).

Таблица 33

Испарение с Галицкого болота

Место наблюдения	Среднесуточное испарение в мм		Среднесуточные осадки в мм
	со сфагнового покрова	из сосуда с водой	
Безлесная площадь	2,1	1,5	3,0
Лес	1,8	1,3	2,5

Приведенные в табл. 33 данные показывают, что испарение со сфагновых монолитов было значительно меньше, чем выпадение.

ние осадков; такое соотношение получалось почти во всех случаях.

Интересные для сравнения величины испарения (в миллиметрах за сутки) с различных поверхностей приведены инж. Бифани для опытной станции Гош, Дальневосточного края, за время июнь — август 1930 г. (условия опыта не указаны):

Открытое озеро	3,8	Моховое болото	2,6
Затененная водная поверхность	1,5	Кустарниковая поверхность	2,3
Луг осоковый	2,7	Посев овса	5,3
Разнотравие осоковое	4,4	Будка Вильда	2,6

При исследовании водных свойств почв Молого-Шекснинского междуречья И. С. Васильевым (1937) получены приведенные в табл. 34 небольшие величины среднесуточного испарения с подстилки и травяного покрова в елово-березовом лесу в сопоставлении с выгоном за июнь — октябрь.

Таблица 34

Испарение с Молого-Шекснинского междуречья

Время наблюдения	Среднесуточное испарение в мм		Среднесуточные осадки в мм		Отношение испарения лес : пашня
	почва под лесом	выгон	лес	выгон	
1934 г., июнь — октябрь	1,10	2,16	2,4	2,4	0,51
1935 г., июнь — октябрь	0,85	2,26	3,2	3,4	0,38

Испарение с почвы под покровом елово-березового леса оказалось вдвое меньшим по сравнению с соседним выгоном.

Очень тщательные наблюдения испарения с лесного покрова в самом лесу проведены были в 1938 г. Н. Ф. Созыкиным на Окском опытном пункте Всесоюзного научно-исследовательского института лесного хозяйства (близ г. Серпухова). В табл. 35 приведены результаты исследований, производившихся за время 18 июня—31 октября 1938 г. над испарением из приборов системы Попова с монолитов, вырезанных с лесной подстилкой и без лесной подстилки в сосновом бору-брусничнике в возрасте 60 лет, полной 0,5, на песчаной почве.

Из табл. 35 видно, что испарение с лесного покрова оказалось равным 41% от выпавших осадков при наличии подстилки из зеленомохового покрова 5,5 см и равным 48% при снятии подстилки с песчаной почвы. Определениями влажности грунта установлено, что при наличии подстилки большая часть просочившейся влаги задержалась в верхних 30 см почвы, а при снятой подстилке влага ушла глубже.

Испарение на Окском пункте

Время наблюдения	Среднесуточное испарение в мм		Среднесуточные осадки в мм
	с монолита с лесной под- стилкой	с монолита без подстилки	
1938 г., 18 июня — 31 ок- тября	0,32	0,38	0,78

Чтобы показывать испарение, соответствующее действительному испарению с поверхности суши, монолит в сосуде должен иметь ту же влажность, что и верхний горизонт изучаемой поверхности; растительный покров также должен быть идентичным с покровом изучаемой поверхности. Соблюдение этих условий возможно лишь при каждодневной смене монолитов; следовательно, необходимо ежедневно вставлять в прибор Рыкачева свежесрезанный из грунта монолит.

Автор настоящей работы производил такие исследования в период 1936—1938 гг. в Сиверском опытном лесхозе Центрального научно-исследовательского института лесного хозяйства (под Ленинградом). При этом смена монолитов осуществлялась через каждые пять суток.

Монолиты вырезались с площадей трех видов: 1) из сосняка по сфагновому болоту с преобладанием *Sphagnum recurvum* с примесью пушицы и *Sph. Russowii*, 2) из заболоченной лесной площади (сосна) с покровом политрихума, брусники и частично сфагнума, 3) из дернинной луговины, покрытой злаками и разнотравием.

Сечение монолитов было 25 см × 40 см при высоте 30 см. Сосуды с монолитами вставлялись в футлярные сосуды, заглубленные вровень с поверхностью земли в ограде метеорологической станции, окруженной лесом. Результаты наблюдений приведены в табл. 36.

Сопоставление испарения с разных поверхностей в Сиверском лесхозе ясно показывает, что сфагновые монолиты испаряли наименьшее количество воды по сравнению с монолитами лугово-дернинными и политрихово-брусничными; обстоятельство это важно для суждения о гидрологическом влиянии лесных сфагновых болот: они испаряют мало и дают повышенный суммарный сток.

Косвенный, но хороший материал для сравнения испарения под лесом и на открытом месте дают опыты с просачиванием воды, произведенные в Гайденаузе близ Боденского озера. Цитируем по Нестерову (1933): «На открытом месте были постав-

Испарение в Сиверском лесхозе

Время наблюдения	Среднесуточное испарение с монолитов в мм			Средняя температура
	лугово-дернинных	политрихово-брусничных	сфагново-пушицевых	
1936 г.				
Июнь	2,4	2,2	1,3	17,9
Июль	2,7	2,2	1,3	19,5
Август	1,8	1,4	0,7	15,3
Сентябрь	1,0	0,9	0,6	8,0
1937 г.				
Июнь	2,1	2,6	1,6	16,8
Июль	2,3	2,6	2,0	16,7
Август	1,5	1,6	0,8	17,3
Сентябрь	0,5	1,0	0,5	11,3
1938 г.				
Август (с 5-го числа) .	1,8	1,5	0,8	18,0
Сентябрь	0,9	1,6	0,3	12,3
Октябрь 1—15	0,5	0,1	0,0	8,8

лены два ящика, величиною в 2 м³ каждый, наполненные суглинком; такие же ящики, наполненные суглинком, были вкопаны в землю в соседнем буковом 50-летнем насаждении и в 40-летнем ельнике. По наблюдениям за 4 года количество просочившейся воды в процентах от осадков оказалось на открытом месте 32, в буковом лесу 50, в ельнике 45».

Из приведенного материала можно заключить, что остаток от просачивания расходовался на испарение. Поэтому испарение с поверхности суглинка оказалось (в процентах от осадков): на открытом месте — 68, в буковом лесу — 50 и в ельнике — 55. Следовательно, в буковом лесу испарение составило 73% от испарения на открытом месте, а в ельнике 80%.

Л. И. Яшнов (1929) указывает, что, по данным лесометеорологических заграничных станций (за 12—18 лет), в еловом лесу водная поверхность испаряла на 48% меньше, чем в поле, в сосновом лесу — на 47%, в буковом — на 42%. По исследованиям Бюлова, спелый дубовый и грабовый лес уменьшают испарение с поверхности воды на 53%, а молодняк дугласовой сосны даже до 75%.

Таким образом, вывод по вопросу испарения с поверхности лесной подстилки, мха, травяной растительности под кронами

деревьев совершенно ясен и по логическим суждениям, и по материалам наблюдений.

Вычисления по скорости ветра за весенний период показывают, что испарение с поверхности земли в лесу составляет 60% испарения с открытого места; исходя же из большей влажности воздуха под кронами, испарение должно быть снижено еще более. Судя по наблюдениям на монолитах, испарение с поверхностей под разреженным лесом составляет 60—70% испарения с открытой поверхности.

Испарение транспирационное (физиологическое)

Транспирацией называют процесс испарения воды живых клеток растения (Иванов, 1938). Транспирация происходит главным образом через листву растения. В курсах физиологии растений, земледелия и лесоводства приводятся величины коэффициента транспирации в пределах от 300 (сорго) до 1 000 (люцерна) весовых единиц воды для построения одной единицы сухого вещества растения. Для сельскохозяйственных растений потребление воды устанавливается достаточно точно культурой их в лимитрах.

Л. А. Иванов указывает на три возможных метода определения величин транспирации для древесных пород: 1) по испарению срезанных веток, с пересчетом затем на испарение с модельного дерева и на испарение с 1 га; 2) по скорости тока воды в стволе дерева; 3) по учету лучистой энергии, достигающей до листвы леса.

По методу учета испарения с листвы срезанных веточек значительные работы произведены в 1938 г. Н. П. Красулиным на Окском опытном пункте Всесоюзного научно-исследовательского института лесного хозяйства. Производившиеся здесь определения транспирации воды соснами и березами дали очень интересный материал, но еще совсем недостаточный для пересчета на испарение с 1 га за год.

Работа велась следующим образом. С западной стороны, с середины кроны дерева срезались в вазелиновом масле веточки с листьями. Срезанная ветка взвешивалась и немедленно подвешивалась на крючке на прежнее свое место; через 3 минуты веточка вновь взвешивалась; разница в весе показывала испарение; затем хвоя или листья отделялись от ветки, взвешивались в сыром и в воздушно-сухом состоянии; убыль в весе веточки за 3 минуты испарения относилась на вес листвы.

Такие наблюдения транспирации производились в 1938 г. на Окском пункте на трех площадях в следующих условиях:

№ 1 — гребень дюны, сосновый бор лишайниковый, 10С, с примесью березы, возраст сосны 15 лет, средний диаметр 4,8 см, высота 2,3 м, полнота 0,9;

№ 2 — пологий рельеф, сосновый бор-брусничник, 10С, возраст 9 лет, средний диаметр 3,3 см, высота 3,5 м, полнота 1,0;

№ 3 — пойма реки, 10Б, возраст 8 лет, диаметр 2,2 см, высота 4,2 м, полнота 1,0.

Результаты наблюдений (первые две серии определений — июнь и июль) транспирации сосны в процентах к воздушно-сухой массе листвы на участке № 1 приведены в табл. 37.

Таблица 37

Испарение транспирацией в % от веса сухой массы листвы

Время наблюдения	Испарение за день	Температура воздуха за день	Среднее испарение в день за июнь и за июль
23 июня, с 8 по 18 час.	2,3	15—22	} 2,0
24 " " 9 " 20 "	2,1	15—18	
25 " " 8 " 21 "	1,6	12—18	
26 " " 8 " 21 "	1,9	18—24	
20 июля " 8 " 21 "	0,8	21—33	} 0,9
21 " " 8 " 20 "	0,8	24—33	
23 " " 8 " 20 "	1,1	28—31	
26 " " 8 " 19 "	0,9	21—33	

Третья серия определений проведена 18—23 августа; здесь испарение составляло 0,5—1,1%.

Влажность почвы в июне была очень высокая, близкая к полной влагоемкости, в июле сильно сниженная, в августе почва была сухая; определения влажности велись послойно на глубину до 1,2 м.

Затем определялся вес листвы на модельных деревьях, вычислялось испарение со всей листвы модельного дерева, а отсюда определялось испарение на 1 га.

Таким путем Н. П. Красулин вычислил испарение с 1 га путем транспирации в условиях сухого и жаркого лета 1938 г. (табл. 38).

Таблица 38

Испарение за день в условиях сухого и жаркого лета

Площади	Испарение в мм за день ¹		
	июнь	июль	август
№ 1 — сосна на дюне	0,9	0,3	0,2
№ 2 — сосна на равнине	—	0,9	0,6
№ 3 — береза в пойме	—	0,3	0,2

¹ Принято только время наблюдений с 8 до 21 часа. Ночное испарение не учитывалось.

В работе остается непонятным, почему березовый молодняк 8 лет в пойме реки транспирировал воды значительно меньше, чем 9-летний сосняк-брусничник. Непонятно также, почему совершенно не учтено испарение за ночные и утренние часы, когда испарение, несомненно, имеется.

По полученным цифрам вычисляется, что за июль—август сосновый лес на равнине в сухое время 1938 г. испарил транспирацией в сумме 45 мм слоя воды.

Эта совершенно незначительная величина испарения получена без учета транспирации с 11 часов вечера до 8 часов утра и все же она возбуждает сомнение; для получения испарения с лесной площади к величине суточной транспирации следует прибавить испарение с поверхности земли.

Проф. М. Е. Ткаченко в учебнике «Общее лесоводство» (1939) указывает, что «...на транспирацию лесные насаждения расходуют значительное количество воды. Возникает вопрос, как складывается в лесу баланс воды по сравнению с участками, покрытыми травянистой дикой или культурной растительностью». Далее он указывает, что этот баланс будет различен в тайге и в степных насаждениях и вообще в зависимости от условий. И, наконец, проф. Ткаченко заключает: «К сожалению, до сих пор не имеется достаточно точного метода для определения расхода воды на транспирацию древостоев».¹

В незначительном размере испарение через древесную растительность происходит и зимой. Методом срезки и взвешиванием ветвей 25-летней сосны в парке Лесотехнической академии (Л. А. Иванов, 1925) показано, что и при температуре минус 20° срезанные ветки уменьшались в весе вследствие испарения воды из них; подрезанное у основания дерево сосны, искусственно приставленное затем к пню, показывало в зимнее время уменьшение содержания влаги в хвое. Однако величины потери влаги при этих опытах оказывались незначительными.

Испарение с поверхности снега

Наша равнина на многие дни покрывается снегом. По климатологическому справочнику по СССР (1932) продолжительность снегового покрова для главнейших пунктов следующая (в сутках):

¹ В. И. Рутковский в своей работе «Обоснование лесохозяйственных мероприятий по усилению защитных и водоохраных свойств леса» (1948 г.) делает вывод: «1) Леса высокопроизводительные, находящиеся в хорошем состоянии и произрастающие на суглинках, расходуют влаги на 100—150 мм, или примерно на 40%, больше безлесных (залежных) пространств. 2) Леса малопродуктивные, молодняки и сосновые насаждения на песках расходуют примерно столько же, сколько залежь, а в некоторых случаях даже меньше». — Р е д.

Имандра	215
Олонец	160
Слуцк	137
Валдай	161
Новгород	142
Смоленск	133
Брянск	127
Москва	149
Рязань	136
Тамбов	145
Минск	110
Гомель	107
Житомир	93
Харьков	106
Полтава	85
Одесса	34

Киров	168
Иваново	154
Горький	157
Казань	157
Пенза	152
Бузулук	155
Чкалов	148
Орел	126
Курск	119
Воронеж	115
Павловск	108
Саратов	130
Сталинград	98
Ростов-на-Дону	70
Краснодар	40

При наличии снегового покрова испарение с поверхности суши, а также и транспирация растительностью находятся в особых условиях.

Установление величины испарения со снегового покрова осуществляется тройко: 1) по сопоставлению количества выпавшего снега по показанию дождемеров и по показанию снегомерной съемки, 2) по наблюдению испарения из сосудов, 3) по формуле испарения.

Разница в сумме твердых осадков, установленной по дождемеру, и показаниями запаса воды в снеге по снегомерным съемкам должна показывать величину испарения за зиму, если не было сильных оттепелей. Метод этот очень неточен, так как снег очень неточно улавливается дождемером, снегомерная съемка также требует большой тщательности для получения надежного показания.

За зиму (с 17 ноября 1934 г. по 1 апреля 1935 г.) на площадях Сельскохозяйственной академии им. Тимирязева получены следующие (табл. 39) результаты показаний дождемеров и снегомерных съемок (Г. Р. Эйтинген, 1939):

Таблица 39

Запасы воды в снеговом покрове (в мм)
на площадях Сельскохозяйственной академии им. Тимирязева в 1934—1935 гг.

Поверхность	По дожде- меру	По снего- мерной съемке	Испарение в мм
Ельники средневозрастные	149	146	3
Лесосеки	248	193	55

Еще менее надежные результаты получились там же к концу марта 1937 г. (табл. 40).

**Запасы воды в снеговом покрове
на площадях Сельскохозяйственной академии им. Тимирязева в 1937 г.**

Поверхность	По дождемерам	По снегомерной съемке
Березняки	101,0	110,9
Сосняки	98,0	99,6
Поляны в лесу	125,0	135,9
Поля	82,5	116,5

Как видно из табл. 40, дождемеры показали меньшие запасы воды в снеге, особенно на поле.

Явление выдувания снега из дождемеров или, вернее, затрудненное попадание снега в дождемеры констатировано многими исследователями.

В 1938 г. на Валдайской гидрологической станции подробная снегосъемка 15 марта показала запас воды в снеге 190 мм, а дождемер рядом показал общее количество выпавших твердых осадков всего лишь 132 мм. В том же году съемка по бассейнам ручьев станции 5 марта показала запас воды 156 мм, а по дождемерам сумма твердых осадков составила 143 мм.

Приведенных примеров достаточно, чтобы убедиться в невозможности определения испарения со снегового покрова по разности показаний дождемера и снегосъемки.

Соответствующими действительности могут быть величины испарения, наблюдавшиеся лишь в сосудах со снегом, установленных среди снегового покрова. Таких наблюдений производилось немного, несмотря на их простоту.

А. Ф. Рудовиц в парке Лесотехнической академии в Ленинграде определил наибольшую величину суточного испарения со снега в 0,5 мм.

На Истринском гидрологическом пункте Всесоюзного научно-исследовательского института лесного хозяйства в 1938 г. из испарителя Рыкачева в 500 см² в лесу с поверхности снега испарилось: за период 27 марта — 10 апреля 4,2 мм, или 0,3 мм в сутки, и за период 11 — 25 апреля 2,6 мм, или 0,2 мм в сутки, при температуре выше нуля, за исключением отдельных суток.

На Валдайской гидрологической станции Гидрологического института обстоятельные наблюдения по испарению со снега произвел в 1938 г. О. А. Спенглер. Снег помещали в цилиндрические стеклянные чашки диаметром 10 см. Испарение происходило только в дни с положительной температурой; наибольшая суточная высота испарения была 0,95 мм. Учитывая и наличие конденсации, Спенглер принял высоту испарения за весь весенний период снеготаяния равной 10 мм.

Еще ранее, в 1936 г., на Тосненской станции наибольшая суточная величина испарения со снега была им определена в 0,4 мм.

Таким образом, с поверхности снега испаряется влага в заметном количестве лишь в дни оттепелей, давая в сумме около 10 мм за весь период весеннего снеготаяния.

Во время таяния снег покрывается пленкой воды; поэтому на Тосненской станции испарение с поверхности снега за дни оттепелей вычислялось по формуле Майера:

$$E = 15 (V - v) \cdot (1 + 0,224w),$$

где:

$(V - v)$ — дефицит влажности воздуха в мм;

w — скорость ветра в м/сек. на высоте 9 м;

E — испарение за месяц в мм.

Этот метод нуждается в опытной проверке.

Гидрологический метод определения испарения

Наиболее правильные величины суммарного испарения с площади дает гидрологический метод его определения. Бассейн оврага, балки и даже большой реки, если он имеет ясно выраженное непроницаемое дно, может считаться природным лизиметром. Учитывая осадки, выпадающие на поверхность бассейна, и учитывая на водомерном посту сток воды с бассейна, можно по разности вычислять величину испарения за гидрологический год или, лучше, за больший период, чтобы сгладилось влияние накопления воды в запас или расходования из запаса. Этим методом вычислены годовые величины испарения для всех больших речных бассейнов СССР, Западной Европы и США.

Имея годовую величину испарения с бассейна и величины дефицитов влажности за каждый месяц, от которых зависит величина испарения, возможно достаточно точно вычислять и помесечные высоты испарения с бассейна балки и реки, сопоставляя их с температурами воздуха.

Примером такого помесечного вычисления является работа П. С. Кузина (1934) для бассейна Волги выше Ярославля за период 1877—1930 гг. (табл. 41).

Обширный бассейн Волги выше Ярославля, площадью 154 тыс. км², покрыт разнородными почвами и разнородной растительностью; поэтому приведенные в табл. 41 величины испарения характеризуют комплекс условий. Оказывается, величины испарения за летние месяцы с бассейна Волги близки к величинам испарения с монолитов в Сиверском лесхозе (табл. 42), с монолитов Галицкого болота и др.

Для определения испарения только с лесной или только с полевой площади следует получить величины осадков и стока по возможно малому бассейну, занятому целиком лесом, или лугом, или полем.

Испарение с бассейна Волги до Ярославля за 1877—1930 гг.

Время наблюдения	Месячное испарение в мм	Средне- суточное испарение в мм	Месячные осадки в мм	Средне- месячная температура
Январь	2,8	0,09	27,5	—10,8
Февраль	4,2	0,15	23,2	— 9,7
Март	8,3	0,27	26,6	— 5,4
Апрель	25,0	0,83	29,2	+ 2,8
Май	54,2	1,74	47,5	+10,5
Июнь	61,2	2,04	69,6	+14,9
Июль	65,3	2,10	78,0	+17,3
Август	48,6	1,56	77,2	+15,2
Сентябрь	27,8	0,93	60,6	+ 9,7
Октябрь	13,9	0,45	48,2	+ 3,3
Ноябрь	5,6	0,19	38,2	— 2,8
Декабрь	2,8	0,09	34,0	— 8,3
За год	240	—	560	—

Для означенной цели автором организованы были проведенные в 1934—1938 гг. наблюдения над стоком и испарением с двух лесных заболоченных площадей в Сиверском опытном лесхозе, в 67 км к югу от Ленинграда. Подробное описание бассейна, способа определения расхода и величины расходов изложены в главе о стоке; здесь дается только величина испарения, как разность между осадками и стоком с двух лесо-болотных бассейнов, подстилаемых глиной. Площадь бассейна в первом опыте (квартал 20) составляет 108 га и покрыта сосновым лесом при наличии торфа, обычно 0,5 м глубиной, и сосновым лесом по минеральному грунту; площадь бассейна во втором опыте (квартал 37) — 118 га, покрыта сосновым лесом, вырубкой и сильно заболоченным лесом. Площади водосбора каждого бассейна определяются не вполне точно из-за отсутствия ясно выраженных водораздельных линий.

Вычитание месячных величин стока из месячных величин осадков дает нижеследующие величины месячных и среднесуточных испарений с рассматриваемых площадей (табл. 42).

Помесячные величины испарения с лесо-болотного водосбора в Сиверском лесхозе оказались резко различными; объясняется это, с одной стороны, действительными различиями в испарении в зависимости от влажности грунта и метеорологических условий, а с другой, — грубым вычислением разницы между осадками и стоком за месяц, без учета накопления воды в грунтах бассейна и расходования воды из запасов бассейна.

Испарение с лесных площадей в Сиверском опытном лесхозе

Время наблюдения	Осадки в мм	Сток в мм	Испарение		% испа- рения от осадков	Средне- месячная темпера- тура
			за месяц	в сутки		
1934 г.						
Май	79	13,4	66	2,1	—	—
Июнь	60	1,6	58	1,9	—	—
Июль	172	7,4	165	5,3	—	—
Август	48	8,6	39	1,3	—	—
Сентябрь	23	0,3	23	0,8	—	—
Октябрь	77	5,3	72	2,0	—	—
Ноябрь	88	39,3	49	1,6	—	—
За сезон . .	547	75,9	471	2,2	87	—
1935 г.						
Май	101	48	53	1,7	—	7,3
Июнь	65	8	57	1,9	—	16,5
Июль	97	10	87	2,8	—	—
Август	81	6	75	2,4	—	15,4
Сентябрь	179	79	100	3,3	—	9,8
Октябрь	73	38	35	1,1	—	7,4
Ноябрь	14	15	0	0	—	Ниже 0
За сезон . .	610	204	406	1,9	67	—
1936 г.						
Май	46	11	35	1,1	—	11,0
Июнь	18	1	17	0,6	—	17,9
Июль	64	0	64	2,1	—	19,5
Август	55	0	55	1,8	—	15,3
Сентябрь	45	0	45	1,5	—	8,0
Октябрь	81	3	78	2,5	—	1,3
Ноябрь	33	6	27	0,9	—	1,0
За сезон . .	342	21	321	1,5	91	—
1937 г.						
Май	53	34	19	0,6	—	11,1
Июнь	67	13	54	1,8	—	16,8
Июль	126	45	81	2,6	—	16,7
Август	38	15	23	0,7	—	17,3
Сентябрь	74	9	64	2,1	—	11,3
Октябрь	18	6	12	0,4	—	5,1
Ноябрь	70	4	66	2,2	—	1,0
За сезон . .	446	126	320	1,5	71	—

Время наблюдения	Осадки в мм	Сток в мм	Испарение		% испа- рения от осадков	Средне- месячная темпера- тура
			за месяц	в сутки		
1938 г.						
Май	62	10	52	1,7	—	9,7
Июнь	98	10	88	2,9	—	13,6
Июль	82	12	70	2,3	—	20,5
Август	34	0,2	34	1,1	—	17,4
Сентябрь	37	0,3	37	1,2	—	12,3
Октябрь	59	3,0	56	1,8	—	5,3
За сезон . .	372	36	336	1,8	90	—

Однако вследствие близости залегания моренной глины едва ли можно ожидать больших накоплений влаги и расходования запасов в бассейнах рассматриваемых двух водосливов. Если же взять весь период май—ноябрь, то величина испарения за весь этот период как разность между осадками и стоком должна оказаться весьма близкой к действительности, и мы это видим на примере: в начале мая и в конце ноября содержание воды в грунте различается мало. Полученные малые величины испарения за некоторые летние месяцы обусловлены истощением влаги в грунте.

При исключении ноября, как месяца с сильно колеблющимися величинами испарения, испарения с лесной площади за пятилетие 1934—1938 гг. (май—октябрь) в среднем оказались следующими (табл. 43):

Таблица 43

Годовые испарения с лесной площади в Сиверском опытном лесхозе

Годы	Осадки в мм	Испарение в мм		Процент испарения от осадков
		суммарное за сезон	май — октябрь за сутки	
1934	459	423	2,3	92
1935	596	407	2,2	68
1936	309	294	1,6	95
1937	376	253	1,4	68
1938	372	337	1,8	90
Среднее за 5 лет	422	342	1,86	81

Следовательно, полученная гидрологическим методом величина испарения с лесного заболоченного водосбора в условиях Ленинградского района за май—сентябрь равна 1,9 мм в сутки и составляет 81% от выпадающих за это же время дождей. В рассматриваемое пятилетие вошли годы влажные и годы сухие.

Полученные величины испарения с лесной заболоченной площади Сиверского опытного лесхоза интересно сопоставить с имеющимися хорошо обработанными материалами по испарению с бассейна Волги выше Ярославля. За длительный период 1877—1930 гг. средняя величина испарения за май—октябрь в бассейне Волги до Ярославля исчислена в 271 мм, или за сутки 1,5 мм; эта величина близко подходит к величине испарения 1,86 мм за сутки с лесной заболоченной площади Сиверского лесхоза.

Балансовый метод определения испарения

На Тосненской станции испарение березово-осиновым лесом (почва и деревья) вычислено В. И. Рутковским, как остаточный член уравнения

$$\text{осадки} = (\text{сток поверхностный}) + (\text{сток грунтовый}) \pm (\text{содержание влаги в грунте}) + \text{испарение}$$

и сопоставлено с вычисленным таким же путем испарением с луга за четыре года (табл. 44).

Таблица 44

Испарение с лесной и луговой площадей Тосненской станции за сезон (в мм)

Годы	Осень (сентябрь, октябрь, ноябрь)		Зима (декабрь, январь и до перехода температу- ры на плюс)		Весна (до конца тая- ния снега)		Лето (с весны до сентября)	
	лес	луг	лес	луг	лес	луг	лес	луг
1934/35	92	14	0	0	17	52	296	249
1935/36	67	—18	0	0	15	53	383	276
1936/37	73	—13	0	0	24	49	411	291
1937/38	73	62	0	0	26	42	442	244
Среднее . .	76	11	0	0	21	49	383	265

Годовые величины испарения и осадков за те же годы приведены в табл. 45.

Испарение с лесной и луговой площадей на Тосненской станции за год

Годы	Осадки в мм	Испарение в мм	
		лес	луг
1934/35	674	405	315
1935/36	699	465	311
1936/37	634	506	327
1937/38	634	541	350
Среднее . . .	684	480	330

Состав леса на площади исследования Тосненской станции 6Б2Ос1Е1Ол, полнота 0,6, бонитет I; тип леса — кисличник; грунт — валунный суглинок.

При этих условиях выявлено следующее.

1. За каждый из четырех лет исследований лесная площадь испаряла воды больше, чем луговая, в среднем испарение с лесной площади было на 150 мм, или на 45 %, больше, чем с луговой площади.

2. Испарение лесной площадью составляло 70 % от выпадавших за год осадков. Эта величина близко подходит к величине испарения 81 % от осадков за май—сентябрь в Сиверском лесхозе.

3. Уровень грунтовой воды в сухие 1936—1937 годы опускался в лесу глубже 3 м, на лугу же он не опускался ниже 2 м.

4. Иссущающее действие леса особенно сильно в сухие годы.

Вследствие чрезвычайно большого значения вычисленных на Тосненской станции величин испарения приводим примененную В. И. Рутковским методику определения элементов баланса: осадки, испарение, сток поверхностный, сток грунтовой, запас воды в почве.

Осадки определялись по дождемерам в лесу и на лугу. Сток поверхностный с лесной и луговой площадей (по 4 000 м²) собирался в лоток и поступал в водомерную установку.

Испарение с поверхности снега при температурах ниже нуля балансировалось конденсацией, а за период таяния снега вычислялось по формуле испарения Майера для испарения с водной поверхности.

Сток грунтовой определялся в зимнее время; когда не было притока с поверхности и не было испарения, тогда по суточному снижению воды в грунтовых скважинах, с учетом некапиллярной скважины суглинка, равной 2 %, можно было вычислять грунтовой отток, т. е. иметь ход снижения в зимнее время при разных высотах уровня; такой же грунтовой сток принимался и в летнее время соответственно уровням воды при наличии притока и испарения.

Запас воды в почве вычислялся в слое 1 м от поверхности по определению влажности грунта. Влажность зоны капиллярного насыщения между уровнем грунтовой воды и верхним метровым слоем почвы принималась постоянной.

Таким путем все элементы водного баланса, кроме испарения, оказывались подсчитанными; испарение получалось как остаточный неизвестный член ряда.

Сопоставляя полученное на Тосненской станции испарение лиственным лесом в 70% от годового количества осадков с испарением в Сиверском лесхозе сосновым заболоченным лесом в 81% за май—октябрь от осадков за эти же месяцы, полагаем правильным считать эти величины соответствующими друг другу и потому результаты — верными. Годы наблюдений при этом были почти совпадающими.

Таким образом, в главе об испарении рассмотрено испарение физическое с поверхности листвы, испарение физиологическое (транспирация), испарение с поверхности почвы и травы под лесом и, наконец, испарение с лесной поверхности; в возможных случаях делалось сопоставление с луговой и полевой площадями.

Выводы формулировались в ходе изложения. Учитывая вместе с тем выводы главы о влажности почвогрунта под лесом, необходимо полностью подтвердить основное положение Г. Н. Высоцкого (1924), что лес — мощный испаритель. И еще раз подчеркнем, что именно это свойство леса увеличивает внутренний влагооборот, увеличивает осадки и сток там, куда переносятся пары воды.

Глава V

ВНУТРЕННИЙ ОБОРОТ ВЛАГИ, СОЗДАВАЕМЫЙ ПРИ УЧАСТИИ ЛЕСА

Перенос влаги с океана на материк СССР

На обычных метеорологических станциях направление и скорость ветра определяются флюгером на высоте 9 м от поверхности земли; точнее скорости ветра замеряются вращающимися анемометрами. Флюгеры и анемометры метеорологических станций показывают движение приземного слоя атмосферы; более высокие слои атмосферы имеют иные движения, иногда противоположные, что можно наблюдать по движению облаков.

Поэтому наблюдения обычных метеорологических станций не дают возможности судить о том, откуда приносится влага на рассматриваемую территорию, куда переносится влага, испаряющаяся с поверхности земли и воды; для этого необходимо знать движение высоких слоев атмосферы.

В последние годы для этой цели сделано многое. Основной побудительной причиной к изучению движения высоких слоев воздуха послужило развитие авиации; авиация же и создала возможность этого изучения, так как ряд исследований производится на аэропланах.

Специально для воздушных исследований служат шары-зонды, аэростаты, воздушные змеи, стратостаты. Климат высоких мест изучается высокогорными станциями. Наконец, очаг воздушных течений, направляющихся на материк, изучается теперь сетью советских полярных станций.

Результаты совокупности исследований последнего времени уже получили выражение в ряде изданий типа руководств по метеорологии (В. Н. Оболенский, 1939), климатологии (Л. С. Берг, 1938), синоптике (С. П. Хромов, 1937).

Первым, наиболее ясно изложившим вопрос о внутреннем влагообороте в условиях равнины СССР является И. И. Касаткин. В своих книгах по этому вопросу (1931, 1932) Касаткин усматривает, что на равнине СССР к западу от Уральского хребта действуют влагообороты четырех морей: Балтийского, Баренцова, Черного и Каспийского.

Влагооборот Балтийского моря захватывает лишь Финляндию, Прибалтику и Полесье. Влагооборот Черного моря имеет наименьшее значение; Каспийское море орошает только Восточный Кавказ.

Наибольшее значение для нас имеет влагооборот Баренцова моря. Он доходит на юг до среднечерноземной полосы и Южного Урала. Так как Баренцово море несколько согревается Гольфштримом, то ветры, дующие с моря на материк, в теплое время года несут с собой довольно большой запас водяного пара. «На материке они проходят над обильными болотистыми лесами, которые с весны бывают сильно насыщены водой, происшедшей от таяния снега. Испарения этих лесов смешиваются с парами, принесенными с Баренцова моря, и образуют запас активной влаги, вполне достаточный для образования дождей».

«...Так как, благодаря сплошным лесам, внутренний влагооборот здесь очень интенсивен, то влага очень медленно расходуется при движении в глубь материка и успевает проникнуть на большие расстояния от моря».

«Таким образом, Баренцово море совместно с северными лесами служит базой огромного влагооборота, орошающего почти половину территории европейской части Союза».

Из книги С. П. Хромова (1937) интересны следующие положения относительно движения атмосферы на юг с Ледовитого океана. Приводим их в сокращенном виде.

На европейской территории СССР наибольшее значение имеет арктический воздух, приходящий в умеренные широты через Баренцово и Карское моря; влагосодержание арктического воздуха низкое, температура — низкая. Вертикальная мощность вторгаю-

щегося слоя воздуха в среднем равна 2 км; чем дальше этот воздух проникает к югу, тем больше он растекается по горизонтальному направлению. Естественными пределами распространения арктического воздуха являются горные хребты: Пиренеи — Альпы — Карпаты — Кавказ; через Каспийское море арктический воздух попадает частично в Закавказье. Для его вторжения в Среднюю Азию требуется 3—5 суток; доступ сюда открыт.

Известно, что по берегу Ледовитого океана осадков выпадает мало; но чем дальше на юг, в глубь страны, тем осадков больше (Берг, 1938). Причину этого Гомен видит в том, что холодное море дает мало паров, а на материке много влаги доставляют болота и леса.

Вторгающийся на материк арктический воздух, претерпевая трансформации, является источником формирования материкового бореального воздуха с течениями в различных направлениях.

Кроме того, на европейскую территорию СССР поступают воздушные течения с севера Атлантического океана — морской бореальный воздух.

С. П. Хромов указывает: «Грандиозная задача воссоздания картины воздушно-массового режима над всей территорией СССР в течение всего года, вероятно, потребует усилий советских син-оптиков на протяжении целого ряда лет».

Приведенные выдержки из работ Касаткина и Хромова позволяют считать преобладающим над европейской частью СССР движение воздуха с Северного Ледовитого океана. Эти положения введены Л. С. Бергом в учебник «Основы климатологии» (1938).

А. А. Каминский высказывал иное, совершенно противоположное суждение о главном источнике влаги, поступающей на равнину европейской территории СССР. Сопоставляя абсолютную влажность воздуха на этой территории — малую на севере и большую на западе, Каминский приходит к выводу, что приток воздуха с полярных морей с мая по июль не обогащает материк водяным паром и в августе тоже не способствует повышению абсолютной влажности, но лишь незначительно понижает содержание водяного пара в воздухе на материке. Напротив, источником влаги, по его мнению, являются Средиземное и Черное моря, откуда идет воздух большой абсолютной влажности.

Потоки влажного воздуха со Средиземного и Черного морей, по его словам, не только распространяются на южную половину европейской части Союза, но направляются и дальше на север, причем достигают как Балтийского, так и северных морей. И далее, он считает возможным утверждать, что осадки в районах названных морей питаются в значительной части за счет водяного пара, принесенного с юга. Роль водяного пара, приносимого с Балтийского и северных морей, в питании осадков этих морей, с его точки зрения, незначительна.

В дальнейших работах метеорологов суждения А. А. Каминского не нашли поддержки, так как движения атмосферного воздуха преобладают с севера и северо-запада на юг и на юго-восток; вместе с воздухом движется и водяной пар

Количество поступающей влаги на равнину СССР

Европейская территория СССР является хорошо ограниченным пространством для воздушных течений. Вся парообразная вода, поступающая с Баренцова моря и с Атлантического океана, выпадает в пределах равнины; Зауралье, т. е. Западная Сибирь, имеет свой отдельный источник питания; Закавказье питается Черным и Каспийским морями. Таким образом, вся морская влага, приносимая на европейскую территорию СССР, выпадает на ней же и стекает по рекам в океан и в Каспийское море.

Поэтому оказывается возможным определить, сколько именно поступает влаги на европейскую территорию СССР с Северного и Атлантического океанов.

Поступление влаги с Северного и Атлантического океанов на европейскую территорию СССР равно стоку воды по рекам на этой территории. А эта величина стока вполне известна. Регулярные наблюдения над уровнями воды на судоходных реках России начаты были в 1878—1881 гг.; определение расходов воды на судоходных реках — с 1910 г. и даже ранее.

Проектирование и постройка гидроэлектростанций, составление схем комплексных проблем Волги, Днепра, Невы и других рек, а также составление кадастра водных объектов СССР потребовали детальной проработки гидрологических материалов по всем рекам Союза. В результате этой работы имеются: 1) «Справочник по водным ресурсам СССР» (Гидрологический институт), 2) «Материалы по гидрологии, гидрографии и водным силам СССР» (Гидроэнергопроект), 3) выпуски «Исследования рек СССР» (Гидрологический институт) и многочисленные работы отдельных лиц.

Позднейшим изданием, содержащим ценный материал по речному стоку, являются «Труды Гидрологического института», вып. 2, «Средний многолетний сток рек СССР» (1937).

В этом издании, в работе Б. Д. Зайкова и С. Ю. Белинкова, приведены многолетние модули стока по рекам европейской и азиатской территорий СССР, что и дает возможность подсчитать годовой сток по рекам в море.

Перечисление модулей стока на сток в миллиметрах высоты и на объем годового стока в км³ дает следующие величины годового стока по рекам, непосредственно впадающим в моря (табл. 46):

Всего, таким образом, стекает за год по рекам европейской территории СССР в моря 836 км³ воды, или слой воды в 209 мм.

Годовой сток воды с равнины СССР

Река	Пункт	Водосбор в км ²	Модуль стока с 1 км ² в л/сек.	Высота стока в мм	Объем годового стока в км ³
Печора	Оксино	312 000	12,8	403,7	125,9
Мезень	Нисагоры	54 500	10,5	331,2	18,05
Сев. Двина	Усть-Пинега	358 000	9,5	299,6	107,3
Онега	Казаково	50 250	9,2	290,2	14,58
Выг	Олимпий	27 790	9,7	305,9	8,50
Кемь	Подлушье	28 760	10,0	315,4	9,07
Ковда	Семежье	27 950	10,0	315,4	8,82
Нива	Кировск. ж. д.	12 732	12,0	378,5	4,82
Тулома	Кольский залив	19 780	10,0	315,4	6,24
Нева	Шлиссельбург	281 925	9,2	290,2	81,81
Луга	Поречье	12 124	9,8	309,1	3,75
Зап. Двина	Бояры	41 673	8,3	261,8	10,90
Днестр	Могилев	44 000	4,9	154,5	6,80
Южный Буг	Александровск	47 249	1,9	59,9	0,28
Днепр	Лоцманская Каменка	459 107	3,5	110,2	50,39
Салгир	Симферополь	321	4,1	129,3	0,04
Дон	Мелеховская	376 500	2,4	75,69	28,49
Кубань	Тиховской	47 698	7,6	239,7	11,43
Сочи	Пластунка	238	48,3	1523,4	0,36
Бзыбь	Устье Гегы	905	69,0	2176,3	1,97
Кодор	Адаубжа	2 004	54,0	1703,2	3,41
Ингур	Джавари	3 381	50,0	1577,0	5,33
Рион	Поти	13 321	27,2	857,9	11,42
Волга	Сталинград	1 354 270	6,3	198,7	269,0
Кума	Владимировка	20 028	0,4	12,62	0,25
Терек	Каргалинский узел	35 164	10,0	315,4	11,09
Сулак	Казы-Юрт	13 000	11,1	350,1	4,55
Самур	Зухул	3 778	13,8	435,2	1,64
Кура	Сальяны	172 206	—	—	17,40
Урал	Кушум	179 500	2,0	63,08	11,32
Суммы и средние . . .		4 000 154	6,63	209	835,85

Исключив отсюда Куру, Рион и некоторые другие реки, питающиеся водами Каспийского и Черного морей, но учтя сток воды по малым рекам, впадающим в Баренцево и Балтийское моря, можно с достаточной точностью принять величину 836 км³, или слой в 209 мм, за среднюю годовую подачу воды на европейскую территорию СССР с Северного и Атлантического океанов.

Эта средняя годовая величина подачи воды с Северного Ледовитого и Атлантического океанов на рассматриваемую территорию ни в малейшей мере не зависела от деятельности человека. Арктика и Гольфштрим являются столь мощными климатическими факторами, что вырубка леса, устройство водохранилищ, увеличение площади пашни и тому подобные мероприятия ни в какой мере до настоящего времени не могли влиять на суммарный принос влаги с Северного и Атлантического океанов и на распределение этого приноса в течение года. Если какое-либо вековое изменение в приносе влаги и произошло, то только по причинам космического характера (Л. С. Берг, 1938).

Но предопределенное космическими условиями количество приносимой на европейскую территорию СССР влаги распределяется по этой территории уже в сильной зависимости от ландшафтных условий и, что особенно важно, различно используется в значительной зависимости от растительного покрова.

Обороты влаги по бассейнам рек

Среднее количество осадков, вычисленное планиметрированием по карте с изогетамии Небольсина, равно для европейской территории СССР слою в 451 мм, а если исключить Нижнее Поволжье, не дающее стока, то 484 мм. С Северного и Атлантического океанов поступает влаги на европейскую территорию СССР 209 мм; следовательно, $484 - 209 = 275$ мм осадков выпадает здесь за счет испарения с суши. Таким образом, объем воды, принесенный с океана, выпадает на равнину европейской территории СССР 2,5 раза ($484 : 209 = 2,3$); происходит это потому, что выпадающие осадки не стекают целиком с первого же раза в море, а в значительной мере испаряются в атмосферу и выпадают вторично, местами даже третично.

Великая работа леса как элемента ландшафта, наиболее сильно испаряющего влагу, состоит именно в том, что он затрудняет выпавшим атмосферным осадкам доступ к реке, перехватывает их и испаряет в атмосферу, создавая этим условие вторичного и третичного выпадения той же влаги на сушу с продвижением места каждого последующего выпадения к югу.

Затрудняя сток в реки, лес, однако, не уменьшает суммарного стока, а лишь увеличивает число оборотов влаги. Вся влага, поступающая с океана, в конце концов вся и стекает в моря, но с иным распределением.

Если бы леса Печоры, Северной Двины, Мезени и Онеги испаряли вдвое большие количества влаги с перенесением ее господствующими течениями атмосферы к югу, то, во-первых, увеличились бы атмосферные осадки в бассейне Волги и, во-вторых, увеличился бы сток с бассейна Волги за счет уменьшения стока по северным рекам (сумма же стока с европейской территории СССР не изменилась бы).

С водосбора Днепра до Лощманской Каменки стекает 110 мм, а атмосферных осадков выпадает на этот водосбор 537 мм. Следовательно, 427 мм осадков задерживается и вновь испаряется, усиливая внутренний влагооборот. Это значит, что каждый миллиметр воды, выпавшей на бассейн Днепра, прежде чем стечь в море, 4 раза испаряется и вновь выпадает.

На бассейн Волги у Вязовых, до впадения Камы, выпадает 540 мм осадков, а стекает 189 мм, т. е. всего 35% от выпавших осадков; остальная часть осадков, вдвое большая, задерживается грунтом и вновь испаряется. Следовательно, здесь каждый миллиметр воды, прежде чем попасть в реку, 2 раза испаряется в атмосферу, создавая таким образом внутренний влагооборот.

С бассейна Волги до Куйбышева воды стекает 204 мм, а атмосферных осадков выпадает 493 мм; следовательно, 289 мм (59%) осадков вновь испаряется и создает внутренний влагооборот; это значит, что каждый миллиметр выпавшей воды на бассейн Волги до Куйбышева, прежде чем стечь в море, 1,4 раза испаряется и вновь выпадает.

Таким образом, внутренний влагооборот в бассейне Волги значительно слабее, чем на Днепре. И это вполне понятно: средняя температура в бассейне Волги ниже, чем в бассейне Днепра.

Очень экономно расходует воду бассейн Дона; здесь при осадках 441 мм стекает всего лишь 97 мм (22%), остальная часть испаряется, вновь выпадает, вновь испаряется, делая четыре цикла.

В противоположность Дону, Днепру и даже Волге, бассейны рек Севера — Онеги, Сев. Двины, Печоры — сразу упускают в море более половины выпадающих осадков. Сопоставление коэффициентов стока с бассейнов рек Севера и Юга показывает резкое различие в расходовании влаги (табл. 47).

Таблица 47

Коэффициенты стока с различных рек

Реки	Сток в мм	Осадки в мм	Коэффициент стока
Северные			
Онега у Надпорожья	274	550	0,50
Сев. Двина у Усть-Пинеги	302	502	0,58
Печора у Троицко-Печорска	491	575	0,85
Средней полосы			
Волга у Вязовых, до впадения Камы	189	540	0,35
Волга у г. Куйбышева	204	493	0,41
Южной полосы			
Днепр у Лощманской Каменки (ныне Киева)	110	537	0,21
Дон у Калача	97	441	0,22

Если бы коэффициент стока с бассейнов рек Севера снизить до величины его на бассейне Волги, то большие массы парообразной воды приносились бы с севера на питание бассейна Волги, где они, выпадая в виде осадков, «обернулись» бы два-три раза, прежде чем полностью стечь в реки.

Значение леса как фактора, создающего оборот влаги

Изложенное весьма существенно для суждения о гидрологическом значении леса. Одна и та же влага, выпадая при переменных направлениях движения на равнине европейской территории СССР, несколько раз проходит малый внутриматериковый круговорот.

При совершении каждого цикла круговорота большая часть влаги при испарении проходит через стволы деревьев и стебли трав, транспортируя вещества для построения тела растений. Чем больше транспирация, тем больше осадков. Чем больше зеленой массы, тем больше испарение и т. д. Чем меньше испарение, тем слабее внутренний круговорот влаги, тем беднее страна осадками.

Предположив крайний случай, что поверхность европейской территории СССР доведена до состояния наилучшего стока и наименьшей испаряющей способности, получаем как вывод, что морская влага, приносимая и выпадающая в количестве 209 мм в год, сразу же стечет в реки и моря; и далее, что равнина имела бы всего 209 мм годовых осадков, т. е. обратилась бы в пустыню.

Если освободить от леса песчаную площадь среди леса, то испарение с нее резко снизится, и если эта площадь по своей величине не может повлиять на климат района, то сток с нее, т. е. местный сток, увеличится — появятся ключи. Но если освободить от леса значительные песчаные площади, оказывающие влияние на климат, то резкое снижение испарения отразится на внутреннем круговороте влаги: здесь же или вдалеке, в зависимости от движения верхних слоев атмосферы, снизится выпадение осадков.

Ландшафт обширной области, питаемой влагой с океана, не может повлиять на суммарное поступление воды с океана и на суммарный сток. Но ландшафт резко влияет на внутренний влагооборот: страна может быть цветущей и может быть пустынной при одном и том же количестве поступления влаги с океана и при одном и том же суммарном стоке.

Испаряющая способность леса и трав, вызывающая снижение грунтовой воды под ними, и есть проявление огромнейшего значения леса как жизнетворного фактора природы.

Примером пустыни может служить Арало-Каспийская низменность. В Каспийское море ежегодно вливается реками

327,9 км³ воды; приносится атмосферными осадками непосредственно на поверхность моря 86,7 км³ и поступает в море подземным стоком 49,3 км³; всего ежегодно в Каспийское море поступает 463,9 км³ воды. Так как уровень воды в Каспийском море не имеет тенденции к повышению, то вся поступающая в море вода испаряется. Разделив объем поступающей воды на площадь поверхности моря, получим высоту годового испарения с Каспийского моря около 1 м воды.

Куда же переносится вода с Каспийского моря? Оказывается, что этот вопрос совершенно не исследован, и поэтому можно строить лишь вероятные предположения.

На север уноса паров воды с Каспийского моря не имеется; Нижнее Поволжье орошается арктическими и бореальными воздушными течениями; барометрическое давление к северу от моря повышается.

Влага Каспийского моря орошает юго-западные его берега, весь бассейн Куры, давая местами до 2 000 мм осадков; перевала влаги через Кавказские горы не имеется; поэтому вся влага, переносимая с моря на запад, вновь возвращается в море. К югу от моря, за цепью гор, лежит засушливое Иранское плоскогорье. Куда же расходуется весь годовой приток Волги? Единственное вероятное предположение — это на восток; пары воды с Каспия проносятся над бездождной Арало-Каспийской низменностью и выпадают на склонах Памира и Тянь-Шаня. Арало-Каспийская низменность, покрытая песками Кара-Кумов, почти ничего не получает и ничего не дает, хотя грунтовые воды лежат здесь местами недалеко от поверхности.

Если создать на этом пространстве большие площади лесов, то усилятся испарение, увеличится влажность воздуха, создастся выпадение влаги, не только испарившейся с этой поверхности, но и проносящейся сейчас транзитом с Каспийского моря к Памиру и Тянь-Шаню. При этом задержание проносящейся сейчас транзитом влаги ничуть не отразится на уменьшении осадков в истоках Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи, так как эта влага только временно «задерживается», выпав в виде дождя, а затем она вновь испарится; чем большее число раз она выпадет и испарится, тем больше зазеленеет Арало-Каспийская пустыня.

Изложенные суждения о значении внутреннего влагооборота, о полезности леса именно в своей испаряющей деятельности, а не в сохранении высоких уровней грунтовой воды в виде мертвых запасов, прекрасно высказаны еще в 1911 г. Г. Н. Высоцким:

«...роль лесов на широких равнинах континентов, особенно по пути вхождения влагоносных ветров, не подлежит сомнению. Увеличивая количество испаряющейся с поверхности земли (ее покрова) влаги за счет уменьшения стока, эти леса должны содействовать более

далекому занесению влаги внутрь материка в наибольшем количестве. Истребление же этих лесов, особенно если оно влечет обнажение почвы (образование голых песков, каменистых обнажений) или заросение тощей, слабо абсорбирующей растительностью, должно отзываться на климате, хотя преимущественно не той местности, в которой оно происходит, но в более сухих областях, куда проносятся далее местные воздушные течения».

Положения эти вполне справедливы для больших равнинных пространств, ограниченных горами, т. е. именно для европейской территории СССР, и должны быть использованы для усиления осадков на юге и юго-востоке, именно в нашей стране — стране с ликвидированной частной собственностью на землю, где налицо полная возможность общегосударственного планирования лесного и всех видов хозяйства.

Для малых стран регулирование внутреннего влагооборота является невозможным уже только по незначительности территории. Еще в 1885 г. Хамберг (1894) для условий Швеции изложил совершенно правильно следующее положение: «Избыток испарений, которыми лесная растительность Швеции снабжает атмосферу сверх того, что лесная почва давала бы, если бы она была покрыта только водой, сам по себе довольно значителен, и если бы водяной пар оставался в лесу или возвращался стране в форме дождя, то, естественно, он приносил бы большую пользу. Но ветры уносят водяной пар в атмосферу, где он распространяется во все стороны с такой быстротой, что полезное действие его для нашей страны (Швеции) остается под сильным сомнением».

Глава VI

СТОК С МАЛЫХ ПЛОЩАДЕЙ В СВЯЗИ С ОБЛЕСЕННОСТЬЮ БАССЕЙНА

«Река есть продукт климата», — сформулировал климатолог А. И. Воейков (1901). Смысл этого выражения в том, что режим большой реки обуславливается главным образом климатом; растительный же покров есть еще более несомненный продукт климата. Последующей обработкой материалов речных водомерных наблюдений Д. И. Кочерин (1932) показал, что многолетний модуль стока рек равнины СССР действительно зависит только от географического положения бассейна реки, и это дало ему возможность провести на карте изолинии многолетних модулей стока. Но для эксплуатации реки и ее поймы существенно важно распределение стока в течение года, а внутригодовое распределение стока, помимо основного влияния

климата, в значительной мере зависит от элементов бассейна: почвогрунта и подстилающих материнских пород, рельефа, растительности.

Поэтому изучение элементов климата и изучение элементов бассейна является неперенным условием для познания формирования режима реки; колебания в расходах воды реки есть суммарный результат всех действующих элементов климата и бассейна.

Но число факторов, влияющих на режим реки, велико, и действие некоторых из них в отдельности остается еще невыясненным; совокупность же влияний всех факторов пока еще не может быть выведена интегрированием отдельных влияний.

Единственным способом получить знания о совокупности действий разных природных сочетаний является непосредственное измерение стока по рекам в разных условиях их питания.

Путь непосредственных измерений стока осуществляется в трех ступенях крупности водосборной площади: 1) большие реки, 2) малые бассейны, 3) элементарные площадки. Но возможно еще введение ступени «речка» со средней величиной бассейна.

Сток по большим рекам является суммарным результатом разновременных и количественно различных климатических явлений на большой площади и результатом разновременности добегания поверхностной воды, внутрипочвенной и глубинной грунтовой воды в разных частях бассейна.

Сток с малых бассейнов (сток по логу) создается одновременно и количественно одинаковыми на всем бассейне климатическими явлениями при разнородных в пределах бассейна условиях стока поверхностной и грунтовой вод; но эта разнородность условий стока соответствует определенному характерному комплексу грунтов, уклонов и растительности района или зоны; с малого бассейна проходит сток, сформировавшийся из поверхностного и внутрипочвенного стоков.

Сток с элементарных площадок создается одновременными и количественно одинаковыми климатическими явлениями и одним лишь поверхностным стоком с однородной на всей площадке поверхности.

Поэтому элементарная площадка дает наименьший сток, малый бассейн дает добавочный сток внутрипочвенного потока, теряя, однако, часть влаги на испарение; большая река дает поверхностный, внутрипочвенный и глубинный сток за вычетом потерь на испарение.

Во всех случаях наблюдений стока следует по возможности осуществлять и наблюдения влажности почвы, уровня грунтовых вод, грунтового стока, испарения, которые приблизят к возможности выяснения баланса влаги на изучаемом бассейне.

Сток с элементарных площадок

Формирование стока начинается с момента выпадения осадков или начала таяния снега на площади выпадения или таяния; в зависимости от свойств площади, на которую непосредственно

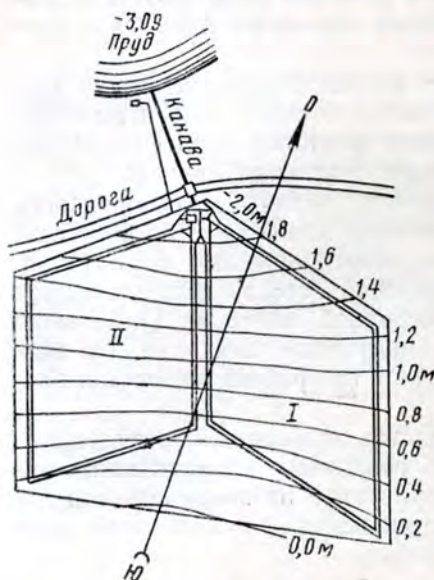


Рис. 7. Форма элементарной площадки

выпадает дождь или на которой происходит снеготаяние, получаемая при этом вода разделяется на 1) стекающую по поверхности, 2) стекающую внутри грунта, 3) задерживаемую грунтом. От первоначального распределения осадков на месте их выпадения зависят в дальнейшем скорость и распределение поступления воды в реку, а в связи с этим — в некоторой степени и режим реки.

Поэтому естественно, что большое значение придано было исследованию стока именно с элементарных площадок; наименование «элементарных» придано им потому, что каждая такая площадка должна быть всесторонне однородна: по растительному покрову, по уклону,

по экспозиции, по строению грунта; ни один «бассейн», конечно, не удовлетворяет такому требованию. Выбирая площадки на лугу, в лесу, на южном и на северном склонах, на глине, на песке, возможно проследить явление стока во всех этих частных условиях формирования стока и затем, с надлежащими ограничениями, изученный процесс стока с элементарных площадок класть в основу суждения о формировании стока с неоднородного бассейна лога, речки, реки.

Наблюдения в районе Москвы. Первым организатором наблюдений стока с элементарных площадок в СССР был С. И. Небольсин (1937). Они проводились в 1922—1930 гг. на двух площадках под Москвой.

Площадки были расположены на северном склоне старого задерненного клеверного поля; растительность редко достигала высоты 10—15 см. Летом 1924 г. площадка I была вспахана. Форма площадок ромбическая (рис. 7). Размерные элементы приведены в табл. 48.

Таблица 48

Размеры элементарных площадок

Площадки	Величина площадки в м ²	Длина диагонали в м	Уклон
I	2 273	90	0,020
II	2 301	77	0,023

Почва склона — сероватый подзолистый суглинок на перемерной морене; мощность перегнойного горизонта 10—12 см; механический состав его приведен в табл. 49.

Таблица 49

Механический состав перегнойного горизонта в %

Состав	Размер частиц в мм	Содержание в %
Песок крупный	>1,0	7,13
" средний	1—0,25	15,80
" мелкий и пыль крупная	0,25—0,01	37,02
Пыль средняя	0,01—0,005	36,18
" мелкая	0,005—0,001	3,48
Ил	<0,001	0,39

Общая скважность 51 %, полная влагоемкость 35—40 %. Каждая площадка отграничена канавой и земляным валом.

На низовой стороне площадок вода стекала по жолобу в водомерные колодцы. Для непрерывного учета притока воды в колодцах были установлены автоматически опрокидывавшиеся мерные сосуды.

Запасы воды в снеговом покрове к началу таяния и продолжительность таяния иллюстрируются табл. 50.

Таблица 50

Запасы воды и продолжительность таяния

Годы	Запас воды в снеге в мм		Продолжительность снегового стока в днях	Осадки за время таяния в мм	Сток воды в мм	
	на I площадке	на II площадке			с I площадки	со II площадки
1922	30	88	20	37	—	64
1923	84	92	5	43	52	63
1924	120	133	8	26	52	67
1925	47	47	9	3	36	36
1926	134	112	5	20	66	64
1927	78	72	10	12	67	39
1928	96	86	12	43	59	29
1929	—	85	15	15	—	25
1930	54	49	Не определена	18	1	0,5

Обе открытые полевые площадки давали значительный сток снеговой воды; вычисления коэффициента стока проводились за вычетом величины испарения за период от последней снегосъемки до конца таяния, что охватывало 10—30 дней; при этом испарение с поверхности снега определялось в метеорологической будке, что давало сильно преувеличенные величины против испарения со снега на открытом поле (см. определения на Валдайской и Тосненской станциях).

Из сопоставления стоков с I и II площадок можно сделать заключение, что вспашка площадки I, произведенная летом 1924 г., снизила поверхностный сток в последующие годы.

Наибольшая суточная высота стока при снеготаянии была 28 мм, что соответствует 3,2 л/сек. с 1 га. Наибольшая часовая высота стока 2,9 мм, что соответствует 8,1 л/сек. с 1 га.

Совершенно иначе происходил поверхностный сток с этих же площадок дождевых вод; он был ничтожно мал.

Всего стекло дождевой воды (в мм):

1922 г.	9,4
1923 г. (пропуск июль — октябрь)	12,3
1924 г.	6,3
1925 г. (пропуск июль — август)	0,1
1926 г.	10,0
1927 г.	23,5
1928 г.	0,2
1929 г.	1,3

Многократно были дожди в 10—20 мм, не дававшие никакого поверхностного стока. Максимальная величина дождевого стока была 12,2 мм после ливня в 54 мм (за 2,5 часа).

Суммарный годовой сток с площадок оказался очень невелик по сравнению с выпавшими осадками, и, что особенно существенно, он оказался значительно меньше стока по реке-Москве (табл. 51).

Таблица 51

Годовой сток с элементарных площадок¹

Годы	Осадки в мм	Поверхностный сток с луговой площадки в мм	Сток по реке- Москве у г. Москва в мм
1922	603	78	140
1923	624	75	160
1924	511	73	183
1925	478	36	114
1926	520	74	222
1927	605	63	206
1928	528	29	243
1929	433	26	190
Среднее . . .	538	57	182

¹ Перечислено с модулей стока, приведенных в книге П. А. Ефимовича (1936).

Таким образом, поверхностный сток с луговой площадки под Москвой составляет 31% всего стока по реке-Москве; следовательно, в реку поступает более 70% стока внутрпочвенным и более глубоким грунтовым питанием; более 70% следует считать потому, что с лесных площадей поверхностный сток еще значительно меньше, чем с луговых.

Наблюдения стоков в районе г. Воронежа. Сопоставление стока с луговых и лесных элементарных площа-

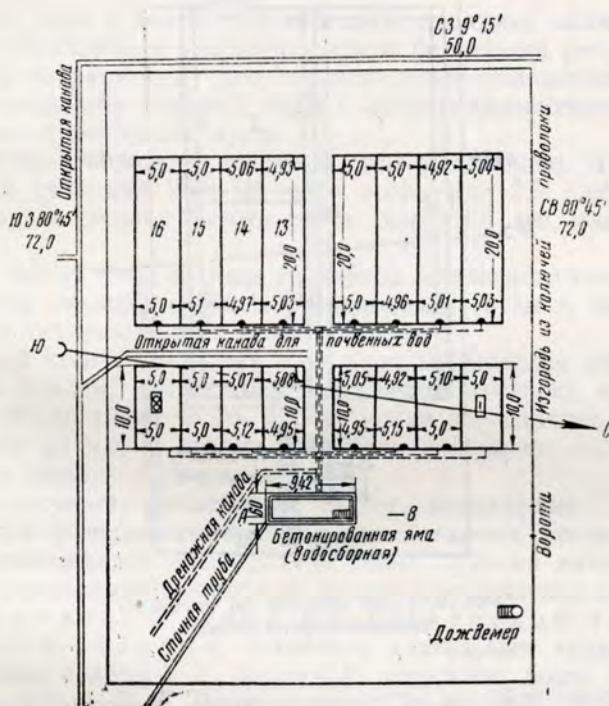


Рис. 8. План участка по изучению поверхностного стока

док произведено впервые в СССР на территории Воронежского сельскохозяйственного института в 1927 г. автором.

Открытые площадки были устроены на лугово-пастбищной поверхности с уклоном 0,08 на восток (рис. 8). Бетонными стенками выделено было восемь площадок размером 5 м × 20 м, шесть площадок размером 5 м × 10 м, две площадки с бетонированным полом размером 5 м × 10 м.

С каждой площадки вода поступала по трубе в мерный сосуд, помещенный в бетонированной яме; объем стока во время снеготаяния измерялся каждый час дня и ночи.

Почва лугового склона — выщелоченный чернозем в 36 см, легко проникаемый для воды; подпочва — супесь.

В лесу было устроено три площадки (рис. 9) следующих размеров: 300 м² с уклоном 0,060 на восток, 147 м² с уклоном 0,085, 151 м² с уклоном 0,031. Площадки были покрыты чистым дубовым молодым лесом соответственно с числом деревьев: 49, 26 и 18. Почва — сверху светлосерый бесструктурный подзоли-

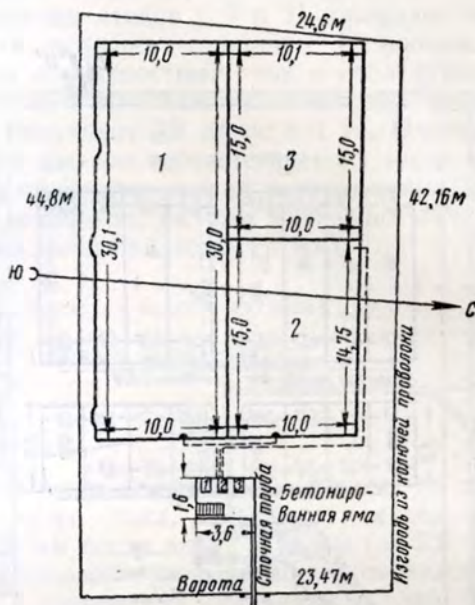


Рис. 9. План участка по изучению поверхностного стока

стый горизонт в 30 см, подпочва — супесь. Механический анализ почвы с глубины 20—25 см приведен в табл. 52.

Таблица 52

Механический состав почвы в %

Место взятия образца	Песок сред- ний (1—0,25 мм)	Песок мел- кий (0,25— 0,05 мм)	Пыль (0,05— 0,01 мм)	Глина (<0,01 мм)
Луговая площадка . . .	47,8	16,8	13,2	22,2
Лесная . . .	53,0	21,0	8,0	16,0

Запас воды в снеге и сток иллюстрируются данными табл. 53.

Таблица 53

Запас и сток воды с площадок возле г. Воронежа

Поверхность	Запас воды в снеге в мм	Дождевой сток в мм	Сток в мм	коэффициент снегового стока
Луговой склон	194	7,6	184,0	0,91
Лесной "	99	7,6	1,0	0,01

Запас воды в снеге на открытых площадках оказался очень большим вследствие удержания снега бетонными ребрами.

Здесь впервые получило подтверждение положение, что поверхностный сток снеговой воды с лесных элементарных площадок равен практически нулю.

С луговой площадки снеговой сток был обилён. Наибольший суточный сток дал 24,8 мм слоя воды, или 2,9 л/сек. с 1 га. Наибольшая часовая высота стока была 2,8 мм, или 8 л/сек. с 1 га.

Весь запас воды в снеге за период медленного таяния 1927 г. поглотился лесной почвой и расходовался затем в неизвестных долях на грунтовый сток и на испарение.

Летний сток с открытых площадок наблюдался лишь после сильных дождей; наибольший летний сток составил всего лишь 0,49 мм после ливня 44 мм и следующий по величине — 0,29 мм при ливне 28 мм. С лесных площадок дождевого стока совершенно не было.

Этот результат наблюдений 1927 г., показавший совершенно ничтожный поверхностный сток с элементарных лесных площадок, подтверждался впоследствии всеми другими наблюдениями на пространстве от Ленинграда до юга Воронежской области.

Наблюдения стока на Тосненской гидрологической станции. Наиболее длительные сравнительные наблюдения с лесной и безлесной площадок были проведены в 1934—1938 гг. В. И. Рутковским на Тосненской станции Гидрологического института, в 60 км к югу от Ленинграда (табл. 54).

Таблица 54

Характеристика площадок на Тосненской станции

Поверхность	Площадь в м ²	Уклон	Растительность
Лесная	4 000	0,034 на запад	6Б2Ос1Е1Ол, тип — кис- личник, полнота 0,6, бони- тет I, запас 210 м ³
Безлесная	4 000	0,055 на восток	Сенокос на заброшенной пашне; полевица, душистый колосок и др.; сохранилось 4 борозды вдоль склона

Наблюдения проводились в следующих условиях: грунт — валунный суглинок мощностью несколько метров. Каждая площадка ограждена канавами и валиками. Вдоль низовой стороны деревянный жолоб, по которому вода стекала в водомерный домик; для улавливания почвенного стока проложены подземные трубы с выводом в тот же домик. Полученный поверхностный сток приведен в табл. 55.

Таблица 55

Сток с элементарных площадок на Тосненской станции (в мм)

Годы	Осень		Зима		Весна		Лето		Сток за год		Осадки в мм
	лес	луг	лес	луг	лес	луг	лес	луг	лес	луг	
1934/35	1	39	—	1	26	98	14	20	37	158	674
1935/36	21	161	1	13	59	76	2	1	83	251	699
1936/37	0	4	0	33	55	113	5	28	60	178	634
1937/38	0	12	0	11	38	116	6	37	44	176	634
Среднее . .	6	54	0	14	44	101	7	22	56	191	660

Осень считалась с 1 сентября по 30 ноября, зима — с 1 декабря до перехода суточной температуры через нуль на минус (в середине и во второй половине февраля); весна — от перехода суточной температуры через нуль на плюс до конца таяния снега; при таком признаке весна в лесу и на лугу оканчивалась в разное время.

При наличии труднопроницаемого моренного суглинка поверхностный сток с лесной площадки оказался весной значительным, но все же в 2,5 раза меньше, чем с луговой площадки.

Годовой коэффициент поверхностного стока за четыре года оказался: с лесной площадки — 0,085, с луговой площадки — 0,29.

Начало поверхностного весеннего стока с лесной площадки при суглинистой почве сильно запаздывало по сравнению со стоком с луговины: в 1935 г. — на 44 суток, в 1936 г. — на 31 сутки и в 1937 г. — на сутки.

Сравнение поверхностного годового стока с площадок и стока по реке Тосне, в бассейне которой находится станция, показывает наличие большого грунтового стока непосредственно в реку Тосну: поверхностный сток с лесной площадки — 56 мм, с луговой — 191 мм; сток по реке Тосне за 1923—1932 гг. — 264 мм.

Таким образом, даже луговая задернелая площадка имела годовой поверхностный сток на 73 мм меньший, чем сток по руслу реки Тосны.

Максимальный суточный поверхностный снеговой сток с площадок Тосненской станции приведен в табл. 56.

Таблица 56

Максимальный сток на Тосненской станции

Годы	Высота суточного стока в мм		Модуль суточного стока в л/сек. с 1 га	
	лес	луг	лес	луг
1935	4,2	14,8	0,49	1,71
1936	7,3	17,4	0,84	2,01
1937	5,0	10,3	0,58	1,19

В отличие от наблюдений в Воронеже, под Москвой (возле Серпухова) весенний сток с лесной площадки Тосненской станции оказывался сравнительно большим как по сумме весеннего стока (44 мм), так и по наибольшему модулю (0,84 л/сек.); возможное объяснение этому следует искать в том, что грунт на Тосненской станции — валунный суглинок, лес — березовый.

Время наступления максимума поверхностного весеннего стока с лесных площадок на Тосненской станции запаздывало на 7—16 суток по сравнению с луговой площадкой (табл. 57).

Таблица 57

Время наступления максимума весеннего стока на Тосненской станции

Годы	Лес (береза с еловым подростом)	Луг — заброшенная задернелая пашня	Запоздание максимума в лесу
1935	14/IV	4/IV	На 10 суток
1936	18/IV	2/IV	" 16 "
1937	13/IV	6/IV	" 7 "

На Тосненской станции специально прослежен был сток ливня, выпавшего 28 мая 1938 г. Интенсивность ливня определена величинами, приведенным в табл. 58.

Такой интенсивности ливня в Ленинградском районе, по словам В. И. Рутковского, ранее не фиксировалось (Слущкая обсерватория за период в 41 год показывает наибольшую интенсивность 1,82 мм/мин.). Сток с площадок оказался следующим:

Интенсивность ливня на Тосненской станции 28 мая 1938 г.

Продолжительность в минутах	Высота осадков в мм	Интенсивность ливня в мм/мин.
2,5	10,3	4,2
5,0	19,3	3,95
10,0	23,5	2,35

наибольший мгновенный модуль стока в л/сек. с 1 га на лесной площадке 3,3, на луговой площадке 35,5, коэффициент стока соответственно 0,18 и 0,60.

Наблюдения стока в Сиверском лесхозе. Место наблюдения — Онцевский участок, в 60 км к югу от Ленинграда. Наблюдения проводились в течение 1928—1933 гг. С. М. Токмачевым (1935) в следующих условиях. Площадка величиной 6 100 м², наибольшей длины 120 м, с уклоном 0,029 на юго-запад, вся покрыта лесом 7Е2Б1Ос, возраст ели 80 лет, бонитет I, запас древесины на 1 га 215 м³; тип леса — кислично-ягодниковый. Почва — подзоло-глеевый суглинок малой проницаемости; материнская порода — красно-бурый валунный суглинок.

Участок был отделен канавкой с глиняным валом; приемные желоба из оцинкованного железа были врезаны на 30 см в грунт и принимали, таким образом, поверхностную и «приповерхностную» воду; вода поступала в мерную бочку; выпадающие осадки измерялись девятью дождемерами. Наблюдения по стоку начаты были 24 августа 1928 г. и закончены 5 мая 1933 г.; зимой 1931 г. лес на площадке был вырублен с оставлением каймы вдоль нижнего края площадки. Результаты наблюдений приведены в табл. 59.

Таблица 59

Сток снеговых вод в Сиверском лесхозе

Годы	Запас воды в снеге ко времени таяния в мм	Сток воды (по кос- венным вычислениям) в мм	Продолжитель- ность таяния в днях
1929	54,4	—	32
1930	4,3	—	—
1931	84,2	25,00	8
1932	135,2	3,33	13
1933	53,5	0,78	23

Весной 1931 г., непосредственно после зимней вырубki леса, сток снеговой воды резко увеличился; однако это вызвано было не только вырубкой леса, но и очень коротким периодом снеготаяния (8 суток) и наличием мерзлого грунта. На следующий год сток уже был небольшим, а в 1933 г. он снизился практически до нуля. Осенние дожди давали очень малый сток (табл. 60).

Таблица 60

Дождевые осенние стоки в Сиверском лесхозе

Годы	Осадки на открытом месте в мм	Осадки, прошедшие через крону, в мм	Сток в мм	Сток в %
1928	382	228	2,6	0,68
1929	323	184	0,3	0,09
1930	365	235	0,6	0,17
1931	361	228	4,7	1,31
1932	365	239	0,5	0,15

Вырубка леса в 1931 г. несколько увеличила осенний поверхностный сток, но в следующем году влияние вырубки уже не проявилось. По протекающей у подножья склона лесоболотной речке Онце в 1928—1931 гг. за летние месяцы (июнь — август) стекало воды (в мм):

1928 г.	35
1929 г.	3
1930 г.	9
1931 г.	13

Летом поверхностного стока с площадки не было; следовательно, все летнее питание Онцы шло внутрипочвенным и грунтовым стоком.

Наблюдения на Валдайской гидрологической станции дали в 1937 г. величины поверхностного стока снеговых вод с элементарных площадок на супесчаных почвах, приведенные в табл. 61.

Как видно из данных табл. 61, обнаружилась резкая разница в поверхностном стоке. Луговые площадки дали коэффициент стока от 0,27 до 0,94, лес сосновый — 0,08—0,10, кустарник ольховый — 0,02. Следует отметить, что грунт к весне 1937 г. был мерзлый; только поэтому и могли получиться с песчаного грунта такие большие модули и коэффициенты стока. В следующем, 1938 г. при талом грунте те же луговые площадки дали ничтожные коэффициенты поверхностного стока (0,01—0,1), а лесные совсем не дали стока.

Сток на Валдайской станции

Поверхность	№ площадки	Уклон	Длина в м	Экспозиция	Запас воды к 10 марта в мм	Модуль стока		Коэффициент стока
						наибольший часовой	суточный	
Луг	1	0,15	20	СВ	85	11,7	4,1	0,94
"	7	0,075	20	ЮВ	99	5,0	1,9	0,27
"	9	0,07	20	Ю	78	8,3	3,6	0,80
"	12	0,114	20	СВ	74	3,3	1,5	0,40
Поле запущенное	2 и 3	0,132	40	СВ	104	8,1	3,4	0,91
Лес сосновый 70 лет	5	0,07	30	ЮВ	70	1,66	0,74	0,10
То же	6	0,07	30	ЮВ	70	0,83	0,28	0,08
Кустарник ольховый	13	0,094	20	ЮВ	83	0,17	0,082	0,02
Пашня, борозды вдоль склона	11	0,10	40	СВ	104	6,1	2,82	0,69
Пашня, борозды поперек склона	10	0,10	40	СВ	104	0,61	0,29	0,06
То же	4	0,132	40	СВ	104	3,90	0,95	0,25

Здесь уже было отмечено, что весной 1937 г. при мерзлом грунте сток по усадебному лугу был равен стоку с площадок, находящихся на его водосборе, а в 1938 г., когда грунт был талый, сток по лугу был в 4 раза больший, чем поверхностный сток с площадок. Это значит, что при талом супесчаном грунте вода шла внутриводосборным стоком, выклиниваясь на дне балки. Обстоятельство очень важное, так как указывает на большую проницаемость супеси и на большую скорость движения воды в ней.

Наблюдение на Истринском пункте (Всесоюзный научно-исследовательский институт лесного хозяйства). Наблюдения начаты в 1938 г. на восьми лесных и восьми полевых

Таблица 62

Снеговой сток на Истринском пункте в 1938 г.

Площадки	Высота в мм	Коэффициент стока	Наибольший модуль в л/сек. с 1 га
Лесная № 5	3	0,017	1,0
" № 6	0,7	0,004	0,3
Полевые № 9—16	116	0,65	9,5

площадках размером по 300 м², с уклонами 0,07—0,18, обращенными в разные стороны света. Почва — суглинок. Состав леса 9Е1Л, возраст 50 лет, высота 15 м, полнота 0,9, бонитет I.

Средний запас воды в снеге к началу таяния в 1938 г. оказался в лесу 150 мм, в поле 165 мм. Для схода снега потребовалось дней без заморозков: в лесу — 32 дня, в поле — 16 дней.

Величины снегового стока иллюстрируются табл. 62.

В это же время сток по полевому логу, в который стекала вода с полевых площадок, составил 188 мм при коэффициенте стока 0,91; по лесным логам — 53 мм при среднем коэффициенте стока 0,30. Следовательно, полевые и лесные лога питались даже весной в значительной мере внутрипочвенным стоком.

Распределение весеннего стока с лесных и безлесных площадок приведено в табл. 63.

Таблица 63

Распределение стока на Истринском пункте

Поверхность	Начало стока	Конец стока	Максимальный сток
Безлесные южные склоны	21/III	23 III—3 IV	22/III
восточные и западные склоны	21—23/III	27—28/III	26—27/III
Безлесные северные склоны	22/III	28—29/III	27/III
Лесные склоны	16—22 IV	18—27 IV	18—24 IV

Сток с площадок, покрытых еловым лесом, начался почти на месяц позднее, чем с полевых, и окончился также почти на месяц позднее; максимум стока оказался тоже почти на месяц позднее. Таким образом, в еловом лесу все фазы поверхностного стока прошли почти на месяц позднее, чем на луговых и полевых площадках.

Наблюдения на Окском пункте (Всесоюзный научно-исследовательский институт лесного хозяйства). В 1938 г. здесь имелось девять лесных площадок размером 300 м², с уклонами 0,13—0,22 и семь безлесных площадок такой же величины, с уклонами 0,09—0,17.

Верхний покров площадок — крупнозернистые мощные пески на трещиноватых известняках. Лес чистый сосновый 60—80 лет, полнотой 0,4—0,8. Запасы воды в среднем: в лесу 118 мм, на открытых местах 120 мм.

Сток был только с трех безлесных площадок и всего лишь по 3 мм; с остальных площадок ни весеннего, ни летнего стока не было; наибольший дождь за этот период был 26 мм.

Здесь на том же грунте имелось два небольших водосбора: один на лесной площади в 2 га с уклоном 0,026, который стока

не дал и очистился от снега 16 апреля, и второй на безлесной площади в 4 га с уклоном 0,033, который также не дал стока и очистился от снега 28 марта. Следовательно, песчаный грунт Окского опытного пункта при талом грунте целиком поглощал и снеговые и дождевые воды как при наличии леса, так и при его отсутствии.

Имеются наблюдения стока и с двух площадок торфяного болота, проведенные в 1933 г. на Торфяной опытной станции близ железнодорожной станции Редькино, между Москвой и г. Калинин.

На верховом болоте со сфагновым покровом и с низкорослой сосной выделены были рядом две квадратные площадки величиной по 1 га каждая. Глубина торфа — от 2,3 до 3 м. Каждая площадка была окопана с четырех сторон канавами глубиной 0,5—0,6 м, до горизонта хорошо разложившегося торфа; эти канавы явились приемниками для стока и имели выход в магистраль. Для ограждения от притока воды со стороны обе площадки на расстоянии 1,5 м от приемных канав были окопаны оградительными канавами глубиной 1 м; такая же канава была прорыта и между площадками. Первая площадка имела средний уклон 0,002, обращенный на запад, вторая — 0,001, обращенный на северо-восток; горизонтали, вследствие происшедшей осадки торфа, идут причудливо, и приведенные уклоны вычислены приближенно.

Наблюдения над стоком велись в 7, 13 и 21 час. Дождемеры находились на самом участке. При глубине приемных канав 0,6 м в них стекала не только поверхностная, но и внутриторфяная вода. Величины наблюдавшегося стока показаны в табл. 64.

Данные, приведенные в табл. 64 о стоке с торфяных сфагновых площадок (в слое толщиной 0,5 м), позволяют сделать следующие замечания:

1. Свободный запас весенней воды совершенно иссяк в первой декаде июня.

2. Летние дожди в размере 132,3 мм за пять декад не дали никакого стока, т. е. целиком шли на испарение и на пополнение запаса, и лишь 40,3 мм осадков за вторую половину августа вызвали незначительный сток.

3. Совершенно неожиданно большими оказались модули максимального сентябрьского стока, достигшие по первой площадке 1,4, а по второй — 2,46 л/сек. с 1 га.

4. Весенние максимальные модули составляли 0,48 и 0,76 л/сек. с 1 га, т. е. оказались незначительными сравнительно с минеральными грунтами.

Заслуживает внимания тот факт, что лето 1933 г. было обильно осадками: за июнь — октябрь выпало осадков на 95 мм больше многолетней нормы.

Наблюдения наибольшего стока по снеготаянию в ящиках. Наблюдение стока снеговой воды без

Сток с торфяных площадок Окского пункта в 1938 г.

Время наблюдения	Декады	Модуль стока на I площадке в л/сек. с 1 га		Модуль стока на II площадке в л/сек. с 1 га		Атмосферные осадки за декаду в мм	Средне- суточная темпера- тура
		средний	максимальный	средний	максимальный		
Март	1	0	0	0	0	—	—
	2	0,006	0,039	0,004	0,039	—	—
	3	0,059	0,476	0,087	0,400	—	—
Апрель	1	0,255	0,399	0,326	0,532	—	—
	2	0,147	0,482	0,196	0,765	—	—
	3	0,154	0,287	0,169	0,324	—	—
Май	1	0,120	0,447	0,143	0,504	—	—
	2	0,100	0,203	0,138	0,268	—	—
	3	0,038	0,189	0,062	0,317	—	—
Июнь	1	0,218	0,839	0,318	1,294	—	—
	2	0	0,002	0,001	0,004	—	—
	3	0	0	0	0	16,8	19,8
Июль	1	0	0	0	0	33,0	18,5
	2	0	0	0	0	18,1	19,1
	3	0	0	0	0	10,5	24,5
Август	1	0	0	0	0	19,0	21,0
	2	0,001	0,038	0,003	0,069	34,9	16,7
	3	0,025	0,220	0,086	0,455	40,3	15,0
Сентябрь	1	0,297	1,355	0,441	1,629	40,0	13,6
	2	0,315	1,405	0,473	2,462	80,1	12,2
	3	0,039	0,141	0,050	0,171	49,3	—
Октябрь	1	0,027	0,064	0,051	0,114	1,8	—
	2	0,019	0,041	0,041	0,069	19,17	—
	3	0,060	0,335	0,111	0,537	11,3	—
Ноябрь	1	0,141	0,235	0,194	0,355	32,8	—
	2	0,008	0,020	0,010	0,034	—	—
	3	0	0	0	0	0	—

потерь на фильтрацию было организовано в 1912 г. Г. И. Тарловским. Для этой цели в шести пунктах района г. Саратова снег был наложен в помещенные на южных склонах ящики глубиной в 0,43 м, сечением 2,13 м × 21,3 м. Наибольший часовой модуль стока из ящиков оказался 14 л/сек. с 1 га, что соответствовало 5-миллиметровому слою снеговой воды за час. Только при температуре воздуха 10—12°, когда в поле снега уже не было, а в ящик он накладывался, часовое таяние давало слой воды 7—9 мм, что соответствует модулю стока 20—25 л/сек. с 1 га.

Можно было бы привести еще много примеров отдельных наблюдений поверхностного стока с лесных и открытых площа-

док, но, сколько бы мы их ни приводили, соотношение окажется тем же: ничтожный поверхностный сток с лесной площади и большой сток с задернелой площади.

* * *

Проведенные в СССР за время с 1922 г. и проводимые в настоящее время наблюдения стока с элементарных площадок показывают резкую разницу в начальном процессе формирования снегового и дождевого стоков с лесных и безлесных площадок.

Совершенно ясно установлено, что снеготаяние на открытых дернинных поверхностях дает значительный коэффициент поверхностного стока — до 90%. Снеготаяние же на лесных элементарных площадках дает малый, иногда ничтожный, буквально нулевой поверхностный сток. Снеговая вода и под Ленинградом, и под Москвой, и под Воронежом идет прежде всего на пополнение запаса воды в грунте под лесом, затем на формирование внутрипочвенного стока, на глубинный сток и, наконец, на поверхностный сток.

Летние дожди с элементарных лесных площадок, как правило, стока не дают, поглощаясь подстилкой и неровностями лесной поверхности.

Многочисленные наблюдения стока с элементарных площадок при глинистом грунте показали, что лес в совершенстве трансформирует быстрый поверхностный сток в замедленный — внутрипочвенный и глубинный. Наибольший наблюдавшийся часовой модуль поверхностного стока при снеготаянии с луговых площадок составлял 8—9,5 л/сек. с 1 га (Москва, Воронеж, Истра), с лесных же — всего 1 л/сек. с 1 га, но обычно даже значительно меньше.

Однако необходимо отметить, что элементарная площадка показывает трансформирующее влияние леса на сток несколько преувеличенно.

На длинном склоне, например, поверхностный сток идет иначе, чем на коротком. Если сверху лежит слой подстилки, под ним небольшой (10 см) проницаемый слой, а ниже залегает труднопроницаемая глина, то процесс стока вдоль по склону будет различным. От водораздела вся снеговая и дождевая вода будет вмещаться в водонепроницаемом горизонте и идти поэтому внутрипочвенным стоком; по мере удаления от водораздельного гребня количество собирающейся снеговой и дождевой воды будет все увеличиваться, и на каком-то расстоянии от гребня водонепроницаемый горизонт окажется не в состоянии вместить с поверхности воду — образуется поверхностный сток. Поэтому на верхней части склона нет поверхностного стока, а на второй половине склона он имеется; у подножья же склона наблюдается обильный выход внутрипочвенной воды.

Каждая элементарная площадка, защищенная от притока воды сверху, представляет собой начало склона и поэтому пока-

зывает преуменьшенный по сравнению со всем склоном поверхностный сток.

Корневая система деревьев и химическое воздействие лесной подстилки на глинистом грунте способствуют образованию мелкокомковатого строения почвогрунта на значительно большую глубину, чем это имеет место при травяной растительности, вследствие чего водопроницаемость и воздухоемкость глинистых и скалистых грунтов увеличиваются под лесом на всю толщину распространения корневой системы. Имеется основание полагать, что лес и на торфяном грунте также значительно увеличивает проницаемость среды для воды.

Сток с малых лесных бассейнов (ущелья, лога)

Наибольшее значение для изучения местного влияния леса на сток имеет сравнительное определение стока с малых лесных и безлесных бассейнов, одинаковых по величине, расположенных поблизости, однообразных по рельефу и геологическому строению. При этом возможны два метода сопоставления стока с лесной и безлесной площади.

1. Выбираются лесной и безлесный бассейны, и на обоих одновременно организуются наблюдения стока и наблюдения элементов климата, причем необходимо, чтобы бассейны, кроме облесенности, имели возможно одинаковые условия. (Наблюдения стока с малых бассейнов организованы в последние годы Государственным гидрологическим институтом и Всесоюзным научно-исследовательским институтом лесного хозяйства.)

2. Наблюдения организуются на двух лесных бассейнах и ведутся в продолжение нескольких лет; за годы наблюдений устанавливается количественное соотношение между различными категориями стока (ливневой, меженный, средний, снеговой) с этих двух лесных бассейнов. После нескольких лет наблюдений на одном из бассейнов лес вырубается; проводящимися в последующие после вырубki годы наблюдения устанавливаются изменения во взаимоотношениях разных категорий стока с этих бассейнов, по которым судят о влиянии произведенной вырубki леса на сток.

Чем однороднее два лесных бассейна, тем ближе соотношение стока с них к единице и тем надежнее будет суждение об изменениях после вырубki леса. Однако наблюдения по этому методу можно проводить и на неоднородных бассейнах, так как о влиянии леса все же будет возможно судить по изменившимся соотношениям стока.

Против этого метода говорит тот факт, что бассейн из-под вырубленного леса сохраняет некоторое время структуру почвогрунта, созданную лесом; лесосека не является ни полем, ни лугом, но все же значение непосредственного древостоя при этом методе выявляется.

Наилучшим методом изучения стока с лесных и безлесных бассейнов была бы одновременная организация наблюдений стока с трех бассейнов: 1) лесного, 2) лесного с последующей вырубкой леса и 3) безлесного. После 5—8 лет наблюдений на одном из лесных бассейнов лес должен быть вырублен, и далее наблюдения должны проводиться на лесном бассейне, освобожденном из-под леса, и безлесном. Но такая сравнительно сложная схема еще не осуществлена.

Наблюдения стока на Истринской и на Валдайской станциях. Наблюдения стока с лесных и безлесных малых бассейнов (логов) были проведены в СССР в 1938 г. на Истринской гидрологической станции Всесоюзного научно-исследовательского института лесного хозяйства.

Наблюдения велись на трех бассейнах в следующих условиях.

Лесной бассейн № 1. Покрит ельником с примесью березы; тип насаждения — кисличник и др. Водосборная площадь 10 га, замыкается водосливом на овраге, впадающем в р. Козынку, приток р. Истры. Овраг прорезает всю площадь; средний уклон поверхности 0,0034. Сложен среднеподзолистыми суглинками; склоны оврага сильно смытые, суглинистые; дно образовано дерново-луговыми, сильно оглееными почвами. Почвообразующая порода здесь и на остальных бассейнах — суглинок. Лесистость 100%, подстилка мощная, в нормальном состоянии.

Лесной бассейн № 2. Расположен в квартале 17 Холщевиковского лесничества; площадь 20,8 га, дренируется двумя оврагами; средний уклон поверхности 0,0015. Сложен среднеподзолистыми суглинками и на меньшей площади сильноподзолистыми слабо облесенными суглинками. Тип насаждения — ельник-кисличник с примесью березы, полнота 0,6—0,7. Лесистость 85%, остальное — вырубки и поляны. Подстилка частично повреждена и уплотнена скотом.

Безлесный бассейн № 3. Расположен на левом берегу р. Истры, прорезан сухим оврагом; площадь 12,2 га, из них 71% под пашней и 29% под лугом. Средний уклон площади 0,0022. Сложен средне и сильно оподзоленными суглинками.

Основные характеристики весеннего стока 1938 г. по трем бассейнам Истринской станции приведены в табл. 65.

Атмосферных осадков за время таяния на полях выпало 23 мм; в день пика на поле выпал 1 мм осадков.

Полученные величины полностью отражают гидрологическое влияние леса на сток в условиях Московской области и указывают на следующие весьма важные моменты:

1. Сток по оврагу с лесного водосбора начался на 25 суток позже, чем с полевого, при одинаковых величинах водосбора (10 и 12 га).

2. Максимум стока наступил с лесного водосбора на 25 суток позже, чем с полевого.

3. Суммарный весенний сток, от начала его до прекращения,

Характеристика весеннего стока по трем бассейнам Истринской станции

Бассейн	Суммарный сток в мм	Максимальный модуль в л/сек. с 1 га	Коэффициент стока	Продолжительность стока (сутки)	Начало стока	Пик стока
1. Лесной . .	40	1,7	0,26	36	16/IV	22/IV
2. Лесной с полянами . . .	66	1,4	0,35	48	26 III, но 28 III прекратился; начало непрерывного стока 15/IV	21/IV
3. Полевой . .	188	9,6	0,91	32	22/III	27/III

с лесного водосбора оказался на 148 мм меньше, чем с полевого, т. е. меньше на очень большую величину. Снегового запаса в лесу было на 35 мм меньше, чем на поле; остальные 113 мм недостававшего стока с лесной площади расходовались на пополнение влагой почвогрунта под лесом, иссушенного испарением с осени предшествующего года, как это показали наблюдения на Тосненской станции, в бассейне р. Ички и др.

4. Коэффициент стока с лесной площади оказался всего 0,26, а с полевой площади 0,91 от снегового запаса. Как показано в разделе стока с элементарных площадок, коэффициент поверхностного стока с полевых площадок составлял здесь 0,65, т. е. меньше, чем со всего полевого лога.

5. Число суток стока по оврагу с лесного водосбора оказалось очень немногим больше, чем с полевого водосбора (36 против 32), что особенно интересно отметить.

6. Бассейн № 2, на котором 15% площади занято вырубкой и полянами, начал давать очень малый сток одновременно с безлесным водосбором, и через два дня сток прекратился; это начался сток именно с полян. Но главный сток и пик его происходили так же, как со сплошь лесного водосбора № 1, только здесь благодаря наличию полян продолжительность стока оказалась больше, чем со сплошь лесной и со сплошь безлесной площадок.

7. Максимальный модуль стока с полевого водосбора оказался в 6 раз большим, чем с лесных водосборов.

Таким образом, наблюдения на трех балках разной степени лесистости при малопроницаемых суглинках дали цифровое выражение трех логических построений, которые давались автором в ряде статей (1934, 1936, 1938). Полная лесистость и полное

безлесье укорачивают период таяния и период стока по сравнению со смешанным водосбором.

Весь полученный по Истринской станции материал относится к весне 1938 г., которая имела перебойный характер, с похолоданиями.

Здесь же вполне уместно спросить: куда же делась снеговая вода с лесных водосборов, если коэффициент стока оказался всего 0,26 и 0,35? Ответа на это Истринская станция не дает, так как грунтовых вод здесь не наблюдалось; ответ дается материалами Тосненской станции: снеговая вода в лесу пошла на пополнение запаса почвенно-грунтовых вод в лесу, которые были испарены лесом предыдущей осенью, а на полях и лугах такого пополнения не происходило, так как здесь с осени грунт насытился дождевой водой при весьма малом испарении.

Коэффициенты стока, близкие к единице, по безлесным логам получились весной 1938 г. и на Валдайской станции на суглинках (табл. 66).

Таблица 66

Коэффициент стока по логам Валдайской станции в 1938 г.

Лога	Площадь водосбора в га	Запас воды в снеге в мм	Осадки за период таяния в мм	Сток 15/III—20/IV в мм	Коэффициент стока
Усадьевский главный . .	37	155	72	203	0,90
Ближний	12	132	72	195	0,95
Центральный	1,9	135	72	163	0,79
Лесной и Дальний . . .	8	229	72	312	1,03

Большие коэффициенты стока снеговой воды весной 1938 г. с безлесных площадей объясняются сильной оттепелью в начале февраля, обратившей часть снеговых запасов на насыщение грунта водой еще до наступления весеннего снеготаяния.

Наблюдения стока в Онцевской лесной даче. В течение 1934—1938 гг., т. е. в течение пяти лет, в Сиверском лесхозе велись руководимые автором наблюдения над стоком воды по двум канавам в кварталах 20 и 37 Онцевского участка, при площадях водосбора соответственно 108 и 118 га.

Полученные количественные характеристики по стоку с малоуклонного, нерасчлененного заболоченного лесного бассейна, сложенного валунными глинами, при наличии местами травяного, сфагнового или мертвого хвойного покрова, являются у нас пока единственными для суждения о стоке с небольших лесных площадей таежной зоны; эти наблюдения имеют и большое непосредственно эксплуатационное значение, давая нормы для расчета сплава по канавам, для расчета размеров канав, для

наполнения запасных водоемов. К сожалению, наблюдения в лесу велись без параллельных наблюдений в поле. Расходы воды по канавам определялись через водосливы.

Водосборные площади каждого водослива характеризуются следующими показателями (табл. 67):

Таблица 67

Характеристика лесных водосборов в Онецком лесоучастке

Показатели	I водослив (квартал 20)	II водослив (квартал 37)
Величина водосбора в га . . .	103	113
Наибольшее протяжение в м	2 000	1 600
Падение в м	9,4	4,3
Средний уклон по канавам . . .	0,0047	0,0027
Протяжение канав, приходя- щегося на 1 км ² , в км	3,7	3,6
Занято лесом сосновым по минеральному грунту:		
площадь в га	63	36
возраст (лет)	20—40	20
бонитет	III и IV	III
Занято сосной разновозраст- ной V и VI бонитетов по сфагновому покрову в га . . .	40	55
Вырубки в га	Нет	28
Глубина торфа в м	До 0,8, чаще 0,5	До 0,8, чаще 0,6
Подстилающая порода	Под торфом суглинок	Валунный суглинок

Оба водосбора близки по величине площади, по протяжению, по заболоченности (37 и 47 %), но отличаются по лесному покрову, по уклону и по расположению болот. Водосбор водослива квартала 20 покрыт на 63 % сосновым лесом в возрасте 20—60 лет, а водосбор водослива квартала 37 покрыт на 24 % вырубкой и на 31 % сосняком в возрасте до 20 лет. Болота и малые уклоны водосбора первого водослива расположены в нижней половине протяжения канавы, а по водосбору второго водослива — в верхней половине.

В дальнейшем будут показаны максимальные однодневные модули стока, месячные модули стока, коэффициенты стока и случаи пересыхания.

Максимальные однодневные модули стока с лесных водосборов Онецкого лесоучастка по отдельным месяцам показаны в табл. 68.

Наибольший модуль стока за пятилетие 1934—1938 гг. определен 21 мая 1935 г. равным 2,1 л/сек. по водосливу в квартале 20 и равным 1,86 л/сек. по водосливу в квартале 37. Водосливы находятся на расстоянии около 3 км один от другого, ширина отверстий различна, наблюдения велись разными лицами;

Максимальные модули стока (в л/сек. с 1 га) за период 1934—1938 гг.
в кварталах 20 и 37 Онцевского лесоучастка

Время наблю- дения	1934		1935		1936		1937		1938	
	20	37	20	37	20	37	20	37	20	37
Январь	—	—	—	—	—	0,217	0,143	—	—	—
Март	—	—	—	0,342	—	—	—	—	1,95	1,00
Апрель	1,15	—	1,058	0,600	—	0,814	0,920	0,59	0,46	0,39
Май	0,165	—	2,10	1,855	0,147	0,097	0,128	0,088	0,088	0,055
Июнь	0,029	—	0,18	0,128	0,056	0,016	0,068	0,012	0,210	0,065
Июль	0,248	—	0,049	0,297	0	0	0,276	—	0,200	0,144
Август	0,205	—	0,032	0,199	0	0	0,128	—	0,012	0
Сентябрь	0,003	—	1,242	1,525	0,009	0	0,055	0,035	0,016	0
Октябрь	0,078	0,125	0,369	0,445	0,035	0,040	0,014	0,004	0,030	0,020
Ноябрь	0,314	0,293	0,308	0,235	0,086	0,070	0,155	—	0,015	0,021
Декабрь	—	0,134	0,189	0,128	—	—	—	—	—	—

полученную при этих условиях близость расходов (2,1 и 1,86 л) можно считать достаточно удовлетворительной. Сток этот был создан выпадением за 19—22 мая 67,7 мм осадков на почву, не просохшую еще от снеговой воды.

Второй по величине модуль стока получен 27 марта 1938 г. равным 1,95 л/сек. в квартале 20; этот сток создан снеготаянием при высокой температуре воздуха. •

Водосбор водослива в квартале 20 сплошь облесен, водосбор водослива в квартале 37 имеет 28 га вырубки и 36 га молодняка. Такое различие в лесистости отразилось на времени наступления максимального весеннего расхода; именно, со сплошь облесенного водосбора максимум стока наступал позднее (табл. 69).

Таблица 69

Дата весеннего максимума стока на Онцевском лесоучастке

Годы	С квартала 20, сплошь облесенного	С квартала 37 с вырубкой
1935	17/III	7/II
1936	20/IV	16/IV
1937	23/IV	4/IV

Вследствие интереса, проявляемого к формированию максимальных величин стока на лесной площади в 100 га, покажем генезис этих стоков. Майский дождевой максимальный сток 1935 г. приведен в табл. 70 и на рис. 10.

Формирование максимума дождевого стока на Онцевском лесоучастке в мае

Дата	Осадки в мм	Модуль стока по водосливу в квартале 20 в л/сек. с 1 га	Дата	Осадки в мм	Модуль стока по водосливу в квартале 20 в л/сек. с 1 га
13	0	0,076	22	29,7	2,12
14	0	0,066	23	0	1,24
15	0	0,052	24	0,1	0,685
16	0	0,040	25	0	0,378
17	0	0,031	26	0	0,242
18	2,5	0,026	27	0	0,169
19	8,6	0,032	28	0	0,118
20	13,5	0,180	29	0	0,086
21	15,9	0,170	30	0	0,066

В течение пяти суток, 13—17 мая, дождя не было, и сток запасов снеговой воды быстро падал. Затем в течение следующих пяти суток, 18—22 мая, выпало 70,2 мм осадков, из коих

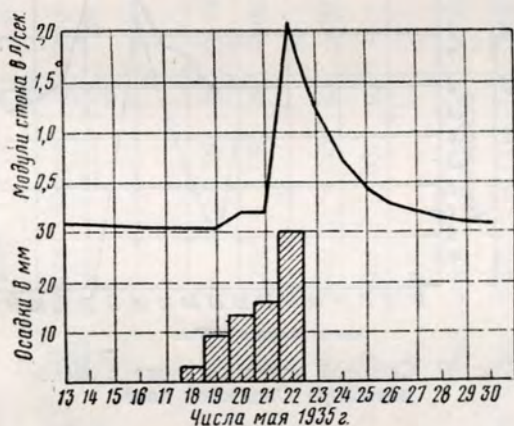


Рис. 10. Ливневой максимум стока с лесного водосбора Онцевской дачи

за 22 мая выпало 29,7 мм; это и вызвало наибольший модуль стока — 2,1 л/сек. с 1 га. Дожди выпали на грунт, еще влажный от снеговой воды; те же дожди в летнее время не дали бы такого большого модуля стока с лесо-болотной площади.

Мартовский снеговой максимум 1938 г. приведен в табл. 71 и на рис. 11.

Формирование весеннего максимума стока в марте

Дата	Средняя температура воздуха	Модуль стока в л/сек. с 1 га
22	+4,9	0,551
23	-0,1	0,488
24	+2,8	0,632
25	+5,1	0,820
26	+8,8	1,430
27	+2,7	1,950
28	-2,4	1,380
29	-2,4	0,555
30	0	0,415
31	-0,1	0,310

Большой сток был вызван высокой среднесуточной температурой воздуха: +5,1 и +8,8 за 25 и 26 марта; при переходе температуры снова на минус сток резко упал.

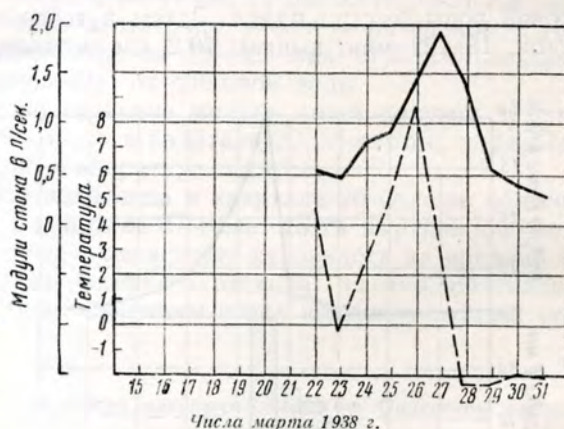


Рис. 11. Снеговой максимум стока с лесного водосбора Онцевской дачи

Третий по величине модуль стока — 1,53 л/сек. с 1 га, отмеченный 7 сентября 1935 г., был вызван выпадением очень больших осадков, именно: 93,2 мм за трое суток; грунт в сентябре был суше, чем в мае, поэтому более сильные ливни вызвали в сентябре меньший модуль стока, чем ливень в мае того же года.

Выпавшие в мае 1935 г. за пять суток 70 мм осадков являются для Ленинградской области очень редким случаем; за период 1883—1932 гг., т. е. за 50 лет, было семь таких лет,

Месячные модули стока в Онезском лесоугодье за 1934—1938 гг.

Время наблю- дения	1934				1935				1936				1937				1938			
	Осадки в мм		модуль стока в л/сек. с 1 га		Осадки в мм		модуль стока в л/сек. с 1 га		Осадки в мм		модуль стока в л/сек. с 1 га		Осадки в мм		модуль стока в л/сек. с 1 га		Осадки в мм		модуль стока в л/сек. с 1 га	
	квар- тал	20	квар- тал	37	квар- тал	20	квар- тал	37	квар- тал	20	квар- тал	37	квар- тал	20	квар- тал	37	квар- тал	20	квар- тал	37
Апрель	—	—	—	—	59	—	0,237	—	36	0,496	0,325	—	18	0,41	Нет досто- верных данных	77	0,232	0,170	—	—
Май	79	0,05	—	—	101	0,218	0,139	—	46	0,062	0,021	—	53	0,040	—	62	0,032	0,026	—	—
Июнь	60	0,006	—	—	65	0,042	0,023	—	18	0,009	0,001	—	67	0,017	—	98	0,040	0,018	—	—
Июль	172	0,028	—	—	97	0,018	0,057	—	63	0	0	—	126	0,058	—	82	0,046	0,024	—	—
Август	48	0,032	—	—	81	0,011	0,034	—	55	0	0	—	38	0,018	—	34	0,001	0	—	—
Сентябрь	23	0,001	0	—	179	0,312	0,296	—	45	0,002	0	—	74	0,012	—	37	0,001	0	—	—
Октябрь	77	0,020	0,025	—	73	0,051	0,133	—	81	0,018	0,007	—	18	0,007	—	59	0,011	0,005	—	—
Ноябрь	88	0,150	0,163	—	14	0,077	0,043	—	33	0,028	0,018	—	70	0,018	—	27	0,008	0,017	—	—
Декабрь	—	—	0,029	—	—	0,056	0,033	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

когда за весь май выпадало 70 мм и более осадков. Среднесуточная температура воздуха $+8,8^{\circ}$ в конце марта является для Ленинградского района также редким случаем. Поэтому модуль стока 2 л/сек. с 1 га может быть принят за наибольший с равнинной лесной заболоченной площади сток при расчетах водоотводных и сплавных каналов на скорость течения и на расход воды.

Помесячные модули стока за каждый из пяти лет приведены в табл. 72.

Заслуживает внимания засушливый 1936 год. Несмотря на выпадение в июле, августе и сентябре 163 мм осадков, стока за эти месяцы не было; крона, лесная подстилка, сфагнум и корневая система расходовали все выпавшие осадки. Но в остальные годы 108 и 118 га лесного водосбора давали сравнительно выравненный сток; такие же бассейны полевых земель, сложенные суглинками, в летние месяцы дают только кратковременный сток после сильных дождей.

За пять лет наблюдений с лесных заболоченных водосборов наименьшие месячные модули стока оказывались в следующие месяцы: 1934 г.— в сентябре и очень мало в октябре; 1935 г.— в августе; 1936 г.— в июле, августе и сентябре; 1937 г.— в октябре и сентябре; 1938 г.— в августе, сентябре и очень мало в октябре.

Приведенные сроки минимума стока с ясностью показывают, что в Ленинградской зоне с равнинной лесной заболоченной площади наименьший сток наиболее часто приходится на август и сентябрь; именно в эти месяцы в течение четырех лет из пяти сток был наименьшим.

Естественно, что площади водосбора в 108 и 118 га соснового леса на суглинке и по сфагновому покрову при наличии торфа не могли обеспечить постоянного стока воды.

В табл. 73 показана продолжительность прекращения стока по отдельным месяцам.

Таблица 73

Число суток отсутствия стока с заболоченных лесных площадей
Сиверского лесхоза за 1934—1938 гг.

Время наблю- дения	1934		1935		1936		1937		1938	
	квар- тал 20	квар- тал 37	квар- тал 20	квар- тал 37	квар- тал 20	квар- тал 37	квар- тал 20	квар- тал 37	квар- тал 20	квар- тал 37
Июнь	—	—	—	—	12	27	2	10	—	—
Июль	—	—	—	14	31	31	—	15	6	5
Август	—	—	—	—	31	31	4	31	26	30
Сентябрь	2	20	—	—	22	30	3	9	21	20
Октябрь	—	—	—	—	—	—	—	—	6	19
Ноябрь	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Водослив в квартале 37 каждый год показывал менее обеспеченный сток, чем в квартале 20. Возможное объяснение следует искать в том, что бассейн водослива квартала 20 в верхней части канавы покрыт супесями и песками, а бассейн квартала 37 покрыт торфом и суглинками.

Таблица нулевых стоков показывает, что наибольшее пересыхание канав в Сиверском лесхозе было в 1936 г., значительное высыхание — в 1938 г., умеренное — в 1937 г. Годы 1934 и 1935 были настолько влажными, что сток с небольших лесных площадей (108 и 118 га) почти не прекращался.

Выражая месячные величины стока в миллиметрах и сопоставляя их с выпадавшими осадками, мы получим коэффициенты стока за сезоны наблюдений — май — октябрь каждого года (табл. 74).

Таблица 74

Коэффициент стока с лесной заболоченной площади

Годы	Осадки за май — октябрь в мм	Сток за май — октябрь в мм	Коэффициент стока
1934	459	37	0,08
1935	596	189	0,32
1936	309	15	0,05
1937	376	122	0,33
1938	372	37	0,10
Среднее	422	80	0,19

В начале мая и в конце октября суглинистый и торфяной грунты под лесом значительно более насыщены влагой, поэтому не будет большой ошибкой, если принять, что содержание влаги в начале мая и в конце октября одинаково.

Средняя величина коэффициента стока 0,19 означает, что за май — октябрь стекало 19% и испарялось 81% выпадавших осадков; если бы имелся материал, подтверждающий, что такое соотношение имеется по всем лесным площадям Ленинградской области, то это обстоятельство можно было бы считать весьма благоприятным. Оно указывало бы на то, что только 19% от осадков уходит сразу в реки, а остальные 81% задерживаются и обращаются в пары, чтобы вновь выпасть в виде дождя, вновь испариться и т. д. При этом вполне вероятно, что воздушными течениями каждый раз пары воды перемещаются к югу. Чем больше летнее испарение в Ленинградской области и южнее, тем больше влаги достигнет юга, не успев стечь в Балтийское море.

Наблюдения стока с малых овражных бассейнов (горные ущелья и равнинные лога), как длительные, так и кратковременные, дали вполне конкретный материал для суждения о влиянии леса на сток с малых бассейнов; отдельные суждения приведены были при изложении самих наблюдений. Поэтому здесь, в заключение, приводится самое обобщенное положение.

На малых овражных бассейнах вполне выявилось, что суммарный годовой сток с лесных бассейнов меньше, чем с безлесных; при этом здесь учитывался не только поверхностный сток, который показывают элементарные площадки, но и внутриподстилочный и внутрпочвенный стоки, выклинивающиеся у дна ущелий и логов.

Регулирующее влияние леса на сток снеговых и ливневых вод в логах проявилось в полной мере, особенно при наличии на бассейне лесных и безлесных площадей; сток с полностью облесенного лога начался в 1938 г. и окончился на 25 суток позднее, чем с полевого лога; сток с лесного лога при наличии прогалов начался, как с полевого, и закончился, как с лесного, т. е. получил наибольшее растяжение во времени.

Сток с равнинного лесного бассейна, сложенного суглинками, оказался более ровным, чем сток с полевой площади в таежной зоне; в этих условиях за пять лет коэффициент стока за май — октябрь показывает, что лишь пятая доля выпадающего дождя успевает стечь в канавы, а четыре пятых выпадающих жидких осадков перехватываются лесом и возвращаются в атмосферу, чтобы вновь выпасть в виде дождя, вновь испариться и т. д., перемещаясь при этом, как правило, воздушными течениями к югу.¹

Сток с малых речных бассейнов

Между малым бассейном лога, изучение стока с которого важно для познания гидрологического значения леса, и огромным бассейном судоходной реки, режим стока по которой имеет наибольшее значение для окончательного суждения об изменениях в режиме стока, имеется большой передаточный механизм — система ручьев, речек и рек.

Сток по этой сложной передаточной системе наименее изучен; малыми речными водотоками интересуется лишь сельскохозяйственная мелиорация как приемниками для воды из осушительных систем. Поэтому некоторый материал по стоку по малым рекам имеется в земельных органах.

По Ленинградской области органами сельскохозяйственной мелиорации с 1922 г. были начаты наблюдения над расходами воды по речкам области с водосборными площадями от несколь-

¹ Следует считать, что часть осадков идет и на глубинный сток.— Ред.

ких тысяч до 200 тыс. га. Количество пунктов наблюдений ежегодно увеличивалось и к 1931 г. достигло 29. По полученным данным оказалось возможным вычислить расходы воды разных категорий. Материалы были обработаны Северным научно-исследовательским институтом гидротехники и мелиорации специально для Центрального научно-исследовательского института лесного хозяйства.

Рассмотрение полученного материала и дальнейшая его обработка требуют некоторых предварительных замечаний: 1) в наблюдениях имеются пропуски за целые месяцы и за ряд месяцев; 2) некоторые данные расходов сомнительны; 3) периоды наблюдений на отдельных речках охватывают разные годы; 4) наблюдения велись при слабом контроле; 5) наблюдения имели производственную задачу — дать модули стока для проектирования водоотводных магистралей.

Поэтому для получения возможно однородного материала с целью дальнейшего его использования были взяты наблюдения за наиболее полное четырехлетие 1927—1930 гг., что все же не покрывает месячные и даже годовые пропуски по некоторым постам.

Затем из списка 29 рек было выделено* 5, на водосборе которых озера занимали площадь более 5%, так как они маскировали бы влияние лесистости.

Самым же основным недостатком рассматриваемого материала является неточность определения лесистости водосбора, которое производилось по условным обозначениям трехверстной карты без использования лесных планов и без экспедиционных проверок. Для целей сельскохозяйственной мелиорации такой точности и не требовалось, для специальной же цели — выявления влияния лесистости на суммарный сток и распределение его в течение года — необходимо уточнение лесистости по планам и хотя бы рекогносцировочно.

За отсутствием иных, более точных материалов пользуемся все же имеющимися.

Располагая реки в порядке повышения лесистости, приводим для них средние месячные модули стока (табл. 75).

Распределение приведенных рек на три группы по лесистости их водосбора и подсчет средних для каждой группы модулей стока дают нижеследующую таблицу модулей стока для рек мало облесенных, средние и сильно облесенных (табл. 76).

Сводка модулей стока по небольшим рекам Ленинградской области показывает следующее.

1) Сток с лесных водосборов за апрель меньше, а в мае значительно больше по сравнению с малолесными водосборами. Это вполне естественно, так как в мае из леса идут еще запасы снеговой воды, с полей же эти запасы уже сошли; несколько большим остается сток с лесных водосборов, и в июне это об-

Модули стока по небольшим рекам Ленинградской области за 1927—1930 гг.
(реки расположены в порядке увеличения лесистости)

Наименование рек и водомерных постов	Процент леси- стости	Площадь водосбора в га	Среднемесячные модули стока в л/сек. с 1 га						
			апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь, октябрь	
Плюсса, п. № 2	16,7	21 300	0,5050	0,358	0,4705 *	0,1843	0,0818	0,1972	0,1735
Сорочь	20,4	250 670	0,343	0,213	0,257	0,1033	0,187	0,223	0,0893
Вережа у дер. Сырково	23,9	7 300	0,8589	0,1291	0,03062	0,2206	0,09005	0,0945	0,0652
Замоский канал	23,7	2 668	0,2315	0,127	0,1018	0,03025	0,040	0,1592	0,0725
„ п. 4	32,5	5 430	0,333	0,1923	0,202	0,131	0,145	0,2145	0,228
Анода	36,7	174 000	0,2998	0,283	0,1032	0,0550	0,0838	0,072	0,0864
Кавра № 9	38,5	7 147	0,141	0,334	0,161	0,1060	0,1036	0,231	0,0584
„ № 1	40,1	9 679	0,326	0,3896	0,161	0,1546	0,1493	0,104	0,1613
„ № 10	40,4	11 084	0,383	0,252	0,1673	0,164	0,195	0,131	0,180
Лавы № 6	43,5	20 380	0,4635	0,3364	0,1941	0,1854	0,1926	0,1618	0,1917
„ № 11	49,4	8 451	0,6805 *	0,2665	0,146	0,123	0,1416	0,1706	0,153
„ № 2	50,4	7 935	0,3075	0,323	0,09 *	0,121	0,0955	0,132	0,1616
Кереть	59,6	17 290	0,302	0,18522	0,1406	0,0422	0,0302	0,07103	0,075
Саря	65,1	13 604	0,366	0,191	0,1285	0,103	0,1245	0,153	0,183
Лимба № 3	67,7	8 161	0,143	0,1757	0,216	0,2024	0,0704	0,0388	0,1333
Сапа № 4	69,9	6 085	0,231	0,263	0,148	0,128	0,161	0,169	0,552 *
Лимба № 7	69,8	1 445	0,504	0,514	0,51	0,1893	0,237	0,3585	0,591 *
Пинега № 6	74,8	5 073	0,918	0,67	0,128	0,0795	0,170	0,143	0,22
Черная	81,0	17 570	0,261	0,1416	0,1246	0,118	0,194	0,164	0,198
Ухтомка	83,9	15 900	0,228	0,489	0,096	0,0728	0,113	0,072	0,093
Горенка	86,9	3 760	0,353	0,4663	0,0331	0,0276	0,0176	0,0751	0,0656

* Модули стока, отмеченные в таблице звездочками, возбуждают сомнение в правильности и при дальнейшей обработке исключены. Правильность их сомнительна вследствие резкого необъяснимого отклонения от смежных величин.

**Модули стока водосборов с малых рек Ленинградской области
за 1927—1930 гг.**

Лесистость в %	Модули стока в л/сек. с 1 га						
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
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

стоятельство является весьма благоприятным для сплава и для питания больших рек.

2) Сток с лесных и малолесных площадей за июль, август и сентябрь оказался одинаковым.

Не приводя здесь целиком другой полной таблицы, содержащей максимальные и минимальные пятидневные и десятидневные модули стока, укажем, что она дает весьма пестрые, незакономерные средние величины этих категорий стока. Минимальные пятидневные и десятидневные модули стока в летнее время оказались одинаковыми с лесных и малолесных площадей, но цифры сильно меняются, и выводы без коренной проверки всего хода обработки материала и проверки лесистости не могут считаться надежными.

При этом еще увеличению лесистости водосбора соответствует уменьшение заболоченности водосбора, и чему приписывать изменение модулей стока — лесистости или заболоченности, остается не вполне ясным.

Несмотря на указанные осложнения, все же приведенный материал по рекам Ленинградской области является ценным; во всяком случае он является единственным по своему объему.

Сток по лесной речке Онце в Сиверском опытном лесхозе. В течение 1928—1931 гг. автором проводились регулярные наблюдения над стоком воды по лесной речке Онце. Полученный материал характеризует режим лесной речки, но, к сожалению, не дает возможности сравнения со стоком какой-либо полевой речки.

Речка Онца впадает в р. Оредеж в 70 км к югу от Ленинграда. Протяжение речки Онцы всего 8,7 км, если считать истоком ее выход из озера Ширского площадью 22,5 га, находящегося на водораздельном сфагновом болоте с мощностью торфа более 4 м.

На речке Онце установлено в 1928 г. три водомерных поста со следующими характеристиками (табл. 77):

Бассейн реки Онцы

Положение постов	Расстояние от истока в м	Площадь водосбора в га	Средний уклон по реке	Уклон скатов к реке	
				левый	правый
Верхний	1 800	1 230	0,0017	0,0029	0,0038
Средний	5 100	2 017	0,0015	0,0030	0,0047
Нижний	7 300	2 580	0,0016	0,0031	0,0043
Ручей Черный . .	—	619	0,0023	—	—

Бассейн реки Онцы подстилается девонскими песчаниками; на них лежат валунные суглинки, местами ленточные глины; на глинах встречаются песчаные отложения в виде невысоких гряд и возвышений, но чаще верхний покров образован отложениями торфа.

Растительный покров бассейна: 40% сосны, 15% ели, 28% березы, 3% осины, 4% лесосеки, 10% открытых болот.

По водосбору реки Онцы имеется 53,5 км канав и русел, по водосбору ручья Черного — 17 км канав.

Наибольшие суточные весенние модули стока приведены в табл. 78, пятисуточные — в табл. 79. Наибольшие летне-осенние паводковые модули иллюстрируются табл. 80, средний летний за июнь — август модуль стока — табл. 81.

Таблица 78

Суточные весенние максимумы стока по реке Онце
(в л/сек. с 1 га) за 1928—1931 гг.

Положение постов	1928	1929	1930	1931
Речка Онца, верхний пост	0,94	0,53	0,57	1,58
" " средний "	0,57	0,37	0,37	1,28
" " нижний "	0,62	0,50	0,64	1,32
Ручей Черный	—	0,61	0,63	2,30

Таблица 79

Пятисуточные весенние максимумы (в л/сек. с 1 га) за 1928—1931 гг.

Положение постов	1928	1929	1930	1931
Речка Онца, верхний пост	0,67	0,46	0,46	—
" " средний "	0,53	0,34	0,33	1,07
" " нижний "	0,59	0,42	0,52	1,16
Ручей Черный	—	0,54	0,50	2,00

Наибольшие летне-осенние паводковые модули
(в л/сек. с 1 га) за 1928—1931 гг.

Положение постов	Однодневные				Пятидневные			
	1928	1929	1930	1931	1928	1929	1930	1931
Речка Онца, верх- ний пост	1,07	0,23	0,60	0,50	0,88	0,18	0,48	0,41
Речка Онца, средний пост	1,46	0,47	0,67	0,85	0,72	0,23	0,33	0,42
Речка Онца, нижний пост	1,71	0,48	1,61	0,86	—	0,186	0,63	0,83
Ручей Черный . . .	—	—	—	—	—	0,177	—	0,61

Таблица 81

Средние летние модули (в л/сек. с 1 га) за июнь — август 1928—1931 гг.

Положение постов	1928	1929	1930	1931
Речка Онца, верхний пост	0,016	0,016	0,050	0,054
„ „ средний „	0,013	0,012	0,035	0,051
„ „ нижний „	0,014	0,025	0,024	—

Систематизируя материал приведенных таблиц, получаем: наибольший надежный весенний модуль стока был 1,58, наибольший пятидневный модуль стока — 1,16 л/сек. с 1 га; летне-осенние дожди дали такие же модули стока, как и весеннее снеготаяние. Речка пересыхала на несколько дней в 1929 и 1930 гг., несмотря на лесное и болотное питание.

В 1931 г. имелась возможность проследить, как уменьшается сток весенних вод с лесного водосбора речки Онцы, не пополняемый выпадением атмосферных осадков. Конец апреля и весь май 1931 г. характеризуются почти полным отсутствием атмосферных осадков, как видно из следующих данных: 21—30 апреля — 3 мм, 1—10 мая — 0,1 мм, 11—20 мая — 4 мм, 21—31 мая — 2,4 мм.

Максимум весенней воды в 1931 г. на речке Онце был 28 апреля. Снеговой покров в лесу сошел полностью к 29 апреля; указанные условия показывают, что речка Онца и ручей Черный за апрель и май питались исключительно запасами весеннего снеготаяния. Проследив падение расходов воды в этих водостоках, мы проследим тем самым расходование запасов воды из бассейна при отсутствии пополнения (табл. 82 и рис. 12).

Падение расходов воды на речке Онце

Время наблюдения	Расходы воды в м ³ /сек.		Отношения в %	
	речка Онца, нижний пост	ручей Черный	речка Онца, нижний пост	ручей Черный
Апрель				
27	2,350	1,438	—	—
28	3,395	1,275	100	100
29	2,601	1,062	70	83
30	2,085	0,879	61	69
Май				
1	1,551	0,462	45	36
3	1,110	0,223	32	18
5	0,920	0,168	27	13
7	0,764	0,097	22	7,6
9	0,535	0,060	15	4,7
11	0,280	0,045	8	3,6
13	0,207	0,041	6	3,2
15	0,145	0,031	4,3	2,4
17	0,145	0,035	4,3	2,8
19	0,120	0,031	3,6	2,4
21	0,090	0,026	2,6	2,0
23	0,080	0,026	2,3	2,0
25	0,043	0,017	1,3	1,3
27	0,024	0,017	0,7	1,3
29	0,035	0,005	1,0	0,4
31	0,024	0,004	0,7	0,3

Приведенные в табл. 82 цифры показывают, что полное истощение свободных запасов снеговой влаги с лесо-болотного

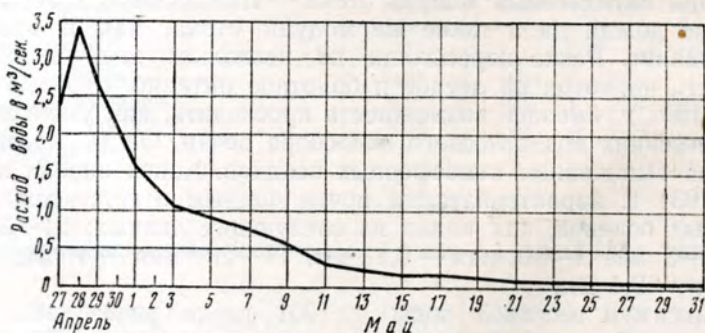


Рис. 12. Спад весеннего расхода лесной речки Онцы

водосбора произошло в 1931 г. в течение 33 дней, причем уже на третий день после максимума расход составлял всего лишь 50% максимального, а в течение 28 дней он снизился до 1% от максимального.

Весна 1931 г. дает возможность сделать еще подсчет кубатуры воды, поступившей в речку Онцу со дня начала весеннего таяния, т. е. с 16 апреля, и по день почти прекратившегося стока — 31 мая. За указанный срок с 16 апреля по 31 мая через нижний водомерный пост на речке Онце прошло 2 920 593 м³ воды, что при площади водосбора 2 580 га соответствует стоку столба воды в 113 мм.

Атмосферных осадков выпало за это время 13 мм, следовательно, снеговой воды и грунтового запаса стекло 100 мм.

Высота снежного покрова при начале таяния определена в 470 мм; при плотности 0,35 это дало запас воды в снеге 165 мм, стекло 100 мм, следовательно, коэффициент стока снеговой воды составляет 60%.

За это же время по ручью Черному стекло 1 162 079 м³ воды, что при водосборе 619 га соответствует слою воды 109 мм.

Поверхностный сток с элементарной площадки, как уже указывалось ранее, в том же Сиверском лесхозе был близок к нулю.

Бездождная весна 1931 г. и затем ливень в начале июня дали возможность отчетливо проследить влияние выпадения осадков на увеличение стока после длительного бездождия, т. е. проследить зависимость стока по лесной речке таежной зоны от выпадающих атмосферных осадков (табл. 83).

Таблица 83

Сток по речке Онце в зависимости от атмосферных осадков

Время наблюдения	Атмосферные осадки в мм	Расход (нижний пост, водосбор 2 580 га) в м ³ /сек.
Май 1931 г.		
1—10	0,1	} Падал с 1,551 до 0,024
11—20	4,0	
21—31	2,4	
Июнь 1931 г.		
1	12,2	0,020
2	23,5	0,022
3	0,1	0,223
4	1,2	0,095
5	2,1	0,076
6	2,4	1,265
7	0,2	1,465
8	4,4	1,505
9	4,5	1,465
10	28,8	1,590
11	9,7	1,385
12	7,9	1,225
13	0,1	1,455

Примечание. По водосбору речки Онцы протяжение канав и русла равно 53,5 км.

Табл. 83 и рис. 13 показывают, что двухдневные осадки в 35,7 мм дали сначала незначительное увеличение расхода воды в реке Онце благодаря попаданию дождя в русло реки, в канавы и на скаты возле нее; эта вода держалась один день и начала быстро спадать. Лишь на 4—5-й день после дождей вода в реке Онце сильно поднялась. Запаздывание поднятия

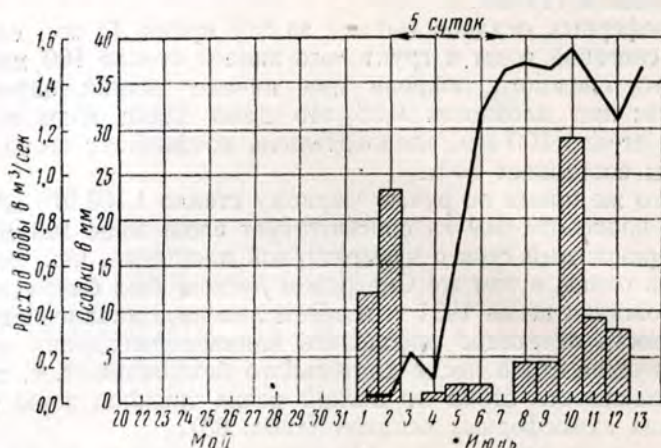


Рис. 13. Изменения расхода воды по реке Онце в зависимости от атмосферных осадков

расхода в реке произошло на трое суток и после сильного дождя 10 июня.

Запаздывание увеличения расхода воды в лесной реке на 3—5 суток по отношению ко времени выпадения дождя является существенным фактом, специфичным для леса. Оно объясняется тем, что в лесу обычно нет поверхностного стока воды; поверхностный сток в лесу нацело трансформируется во внутрипочвенный: внутри лесной подстилки, внутри торфа, внутри оподзоленного минерального слоя. Этот внутрипочвенный сток начинает подходить к реке в максимуме через 3—5 суток после выпадения осадков, т. е. довольно быстро.

Грунтовый сток

Снеговая вода при своем образовании и дождевая вода, падающая на поверхность почвы, сразу расчленяется на две, обычно неравные, части: одна часть стекает на поверхности земли, другая просачивается в почвогрунт и здесь в свою очередь разделяется на три части: 1) стекает по уклону внутрилесной подстилки, внутри торфа, внутри оподзоленного минерального грунта, образуя внутрипочвенный сток и выклиниваясь

наружу в логах, балках, у подошв склонов; 2) проходит в глубинные слои, создавая грунтовое питание рек; 3) задерживается почвогрунтом вследствие его влагоемкости и расходуется на физическое и физиологическое испарение.

Отличие лесной почвы резко проявляется при первом же расчленении снеговой и дождевой воды на стекающую по поверхности и на просачивающуюся в грунт.

По наблюдениям Н. А. Качинского (1927), лесная почва не сковывается морозом и потому в период зимних оттепелей и весной нормально принимает доходящие до нее талые и дождевые воды, пропуская их в глубинные горизонты. Этому способствует и раннее размерзание почвы у ствола деревьев, где по корням просачивается вода вглубь. За три года детальных наблюдений в лиственном лесу (береза, дуб, осина и др.) в районе Москвы Качинский получил следующие цифровые результаты:

1923/24 г. Зима снежная. Лесная почва не замерзла вовсе. Залежь промерзла на 31 см.

1924/25 г. Зима малоснежная. Лесная почва промерзла на 27—30 см, залежь — на 40 см.

1925/26 г. Зима снежная, с оттепелями. Лесная почва промерзла отдельными пятнами, залежь — на 21 см.

Оттаивание почвы идет сначала снизу. Вверху же оттаивание начинается лишь после схода снега. Такой ход процесса подчеркивается Н. А. Качинским многократно.

В 1935/36 г. А. И. Летковский провел наблюдения над промерзанием почв в разных типах леса Кудского водоохранного участка Калининской области (С. И. Колупайло, 1932), где им было сделано 400 почвенных ям. Промерзание за упомянутый год было большое. В табл. 84 приводим выборочно сопоставленные глубины промерзания для лесов в возрасте 30—60 лет, полнотой 0,5—0,6, с густым покровом и на открытых пространствах.

Таблица 84

Глубина промерзания в зависимости от характера почвы и типа леса

Почва	Тип леса	Глубина промерзания в см		
		в лесу с густым покровом	на открытом большом пространстве с покровом	на концентрированной лесосеке
Песок крупный	Сосняк вересковый	32—34	50	48—49
Супесь мелкая	Сосняк-брусничник	20—21	42	39—40
Суглинок средний	Ельник-зеленомошник	8—9	18	15—16
Торф глубокий	Сосняк сфагновый	9—11	20	19

Из приведенных в табл. 84 цифр видно, что пески промерзали наиболее глубоко, супесь мельче, суглинки и торф еще мельче.

Кроме того, А. И. Летковским подтверждено, что с выпадением на поверхности земли большого слоя снега промерзание почвы прекращается и, наоборот, начиная снизу, происходит размерзание. При этом оттаивание грунта под снегом происходит иногда нацело.

Глубокое и резко различное промерзание песка наблюдалось в 1938 г. на Окском пункте; 28 февраля, при снеговом запасе воды 150 мм, здесь на поле промерзание оказалось 30—40 см, в сосновом же лесу промерзания не было.

Приведенные материалы последних лет по замерзанию и оттаиванию подтверждают имевшиеся аналогичные многочисленными прежними суждения о малой промерзаемости почв под лесом.

Значительное поглощение снеговой воды в лесу вполне подтверждается и приведенными материалами наблюдений по стоку с элементарных площадок в Сиверском лесхозе, в Воронеже, на Истринском и Окском участках, в Шиповом лесу и в других местах при наличии очень большого поверхностного стока снеговых вод на открытых площадях.

Аналогичны материалы и по стоку дождевой воды. Мы уже отмечали, что лишь сильные ливни в 30 мм или длительные дожди создают в лесу поверхностный сток. Обычно же дождь целиком поглощается лесной почвой, особенно при наличии лесной подстилки и большого числа микрозападин.

Следовательно, уже в момент достижения водой поверхности земли лес оказывает свое сильное трансформирующее влияние — поверхностный сток воды заменяется просачиванием воды в грунт. Часть поступившей в грунт воды движется по уклону внутрипочвенным стоком к логам, оврагам, долинам. Наличие внутрипочвенного стока уже указывалось при изложении стока с площадок и по логам.

В Сиверском опытном лесхозе наличие значительного и притом быстрого почвенного стока выявлено двумя путями.

В разделе о стоке по речке Онце показано, что после выпадения дождя расход на речке увеличивался на следующий день лишь на малую величину от воды, попавшей непосредственно в русло речки и в канавы. Сильное же увеличение расхода наблюдалось автором лишь через несколько дней. Например, дожди в 35 мм, выпавшие 1 и 2 июня, дали сильное увеличение расхода в речке Онце лишь 6 июня, т. е. через четверо суток, при почти отсутствовавших дождях после 2 июня. Вся вода прошла вниз через лесную подстилку и моховой покров и вышла в канавы через их откосы; после дождя откосы канав всегда блестят от выступающей из них воды при полном отсутствии поверхностного стока.

В Сиверском лесхозе на стоковом участке площадью 6 100 м²

(С. М. Токмачев, 1935) поверхностный сток снеговых вод был очень мал, а летнего стока практически совсем не было; между тем участок находится на склоне к речке Онце, которая, как отмечено, отзывалась на дожди через несколько дней после их выпадения, если почва не была пересыщена водой еще до дождя. Торфа на участке не имеется, сток идет по подзолу-глеевому суглинку.

Большой внутрипочвенный сток отмечен в 1928 г. О. А. Спенглером (1938) на склоне логов Валдайской стоковой станции. Поперек склона была прорыта канавка глубиной 20 см, огражденная с верховой стороны земляным валом. Поверхностного стока по склону не было, а в канавку вода поступала обильно; 17 апреля 1938 г. каждый погонный метр канавки давал до 25—30 см³/сек.

На склонах холмов почвенный сток местами выклинивался на поверхность почвы, превращаясь в поверхностный сток. Выклинивание внутрипочвенных вод у подошв склонов имело следствием то, что весенний сток по Пригородному логу Валдайской станции был (согласно Нови и Решетникову) в 4 раза больше, чем сток с элементарных площадок, причем запас воды в снеге на склоне составлял 190 мм, а по всему водосбору лога — 151 мм, т. е. сток по логу должен был быть меньше, чем по его склону.

Наличие почвенного стока доказывается и сопоставлением коэффициентов поверхностного стока снеговой воды весной 1938 г. на площадях Истринской гидрологической станции. Здесь коэффициент снегового стока с элементарных площадок оказался равным 0,65, а со всего лога (с площадью водосбора 12,2 га) — 0,91; следовательно, по логу шла выклинившаяся на поверхность почвенная влага склонов.

Приводим некоторые выводы по данному вопросу гидролога Гортон¹, опубликованные им в статье «Гидрологические перспективы проблемы стабилизации речного стока».

Наличие лесной подстилки уменьшает поверхностный сток, предупреждает эрозию и содействует инфильтрации воды.

Во время длительных дождей лесная подстилка насыщается водой до полной влагоемкости и в этих случаях она перестает оказывать влияние на уменьшение поверхностного стока. Лесная подстилка, особенно лиственных пород, становится труднопроницаемой для воды, особенно когда она лежит под снегом, и поэтому может затруднить поступление снеговой воды в грунт.

Лесная подстилка имеет структуру малой капиллярной силы поднятия.

Крона деревьев задерживает 15—20% выпадающих осадков.

Листья и ветви деревьев смягчают удары капель дождя о почву и этим предотвращают уплотнение поверхности.

¹ Journ. of Forestry, 1937, № 11.

Фильтрационная способность почв под лесом больше, чем безлесной.

В лесу имеются микрозападины, которые задерживают в себе воду и способствуют поглощению ее грунтом.

Скорость ветра в лесу меньше; поэтому испарение с поверхности земли может быть меньшим, но это зависит от содержания воды в подстилке.

Деревья — большие испарители воды.

Снеговой покров лежит в лесу дольше, глубина промерзания почвы меньше.

Различия между лесом и культивируемым полем столь разносторонни, что необходимо продолжение специальных исследований по влиянию их на режим рек.

Глубинный грунтовый сток

Глубинный грунтовый сток с лесных и открытых площадей остается до настоящего времени почти неизученным, хотя метод его исследования известен.

В зимнее время испарения грунтовой воды нет, поэтому при низком стоянии грунтовой воды наблюдаемое в смотровых скважинах дальнейшее снижение уровня воды может вызываться лишь оттоком в глубинные слои грунта.

Если известны капиллярная скважность грунта и величина снижения уровня воды, то объем глубинного грунтового стока вычисляется умножением скважности на величину снижения.

Таким методом на Тосненской гидрологической станции в валунном суглинке получены следующие величины глубинного стока воды при разных расстояниях уровня воды от поверхности и при некапиллярной скважности суглинки, принятой в 2% (табл. 85):

Таблица 85

Глубинный грунтовый сток на Тосненской гидрологической станции

Расстояние грунтовой воды от поверхности в см	Лес		Луг	
	суточное снижение уровня	суточный глубинный сток	суточное снижение уровня	суточный глубинный сток
	в миллиметрах			
0—50	40	1,6	38	0,14
50—100	28	0,56	25	0,50
100—150	18	0,36	5	0,10
150—200	9	0,18	4	0,08
200—250	5	0,10	—	—

Исходя из наблюдавшихся уровней грунтовой воды, вычислены годовые количества глубинного стока на Тосненской станции. Приводим их в табл. 86.

Таблица 36

Глубинный грунтовой сток на Тосненской станции (в мм)

Годы	Лес	Луг
1934/35	94	151
1935/36	181	151
1936/37	36	63
1937/38	120	148

Величины глубинного грунтового стока получились значительными. Существенно важным здесь является то, что глубинный грунтовой сток через валунный суглинок с лесной площади оказался меньшим, чем с луговой; такой результат вычисления получился по той причине, что уровень грунтовой воды на лесной площади Тосненской станции стоял зимою ниже, чем на лугу, т. е. создавал меньший напор, поэтому и сток в глубину принимался меньшим. Полученные величины не могут считаться достоверными, так как они исчислены в зависимости от скважности грунта, принятой за 2% под лесом и под лугом.

Этим же методом делались подсчеты грунтового стока на Кучинском стационаре под Москвой и на Молого-Шекснинском междуречье.

Невозможность иметь точные сведения о некапиллярной скважности грунта на глубинах 1—4 м является слабым местом этого метода. На Тосненской станции она определена в 2%, на Кучинском стационаре 6%. Иногда вместо «некапиллярной скважности» исходят из «коэффициента водоотдачи грунта», — также трудно определяемой величины.

О величине глубинного грунтового стока дают ясное представление меженные расходы воды в реках при длительном отсутствии осадков, а также зимние расходы воды в реках при длительных низких температурах.

Величины грунтового питания рек СССР изучались и изложены М. И. Львовичем (1938).

В р. Тосне, в бассейне которой находится Тосненская гидрологическая станция, суммарный годовой сток в 268 мм формируется из следующих слагаемых: снеговой сток — 107 мм (40%), дождевой — 97 мм (36%) и подземный — 64 мм (24%).

Таким образом, глубинный сток, вычисленный по ходу снижения грунтовой воды для лесной и луговой площадок Тоснен-

ской станции за 1935—1938 гг., дает большие величины, чем многолетнее подземное питание р. Тосны, вычисленное по месячным и зимним расходам реки.

Величина подземного питания оказывается довольно близкой для рек различного географического положения и находится наиболее часто в пределах 20—30% от всего годового питания (М. И. Львович, 1938).

Например, грунтовое питание Печоры составляет 20% от годового стока, Северной Двины — 29%, Днепра до Орши — 30%, Дона у Калача — 30%, Волги до Ярославля — 30%, Унжи до Макарьевска — 26%, Оки до Муромы — 19%, реки-Москвы до г. Москвы — 21%, Клязьмы до Городка — 19%, Ветлуги до Воскресенска — 30%, Камы до Молотова — 25%.

Большое грунтовое питание имеют: Западная Двина до Витебска — 36%, Сож до Гомеля — 42%, Десна до Брянска — 36%.

Глава VII

ДИНАМИКА СТОКА ПО БОЛЬШИМ РЕКАМ

Гидрологический и русловой режим реки

При суждениях о водоохранном значении леса часто указывается на происшедшее высыхание ручьев и обмеление рек в связи с произведенными рубками леса.

Как уже было отмечено, в режиме реки необходимо различать две стороны: гидрологический режим и русловой режим.

Каждый из них представлен большим числом характеристик. Гидрологический режим характеризуется суммарным расходом воды в реке, распределением расхода в течение года, экстремными величинами — максимумы и минимумы расходов и время их, величинами вариаций гидрологических элементов.

Русловой режим характеризуется изменениями поперечных и продольных профилей русла, вызываемыми размывами и отложениями наносов; состояние русла создает условия для судоходства. Гидрологический режим может оставаться без изменений, а русловой может сильно ухудшаться; последнее обстоятельство имеет для судоходства и сплава большее значение, чем изменение гидрологического режима рек.

Следует всегда иметь в виду различие этих двух категорий изменений: уменьшения расхода воды в реке и усиления отложений наносов — явлений, часто не совпадающих, но в то же время иногда смешиваемых. Например, в Киеве после устройства моста увеличилось отложение песка перед мостом, сток же воды по Днепру оставался без изменений.

Изменение режима рек

Изменением режима рек с давних пор интересуются не только гидрологи, но и широкие круги населения. Поэтому обсуждение этого вопроса охватывало всегда значительный круг лиц.

Обстоятельной работой с приведением материалов гидрометрических наблюдений является статья Векса под названием «Об убыли воды в источниках, речках и больших реках при одновременном повышении паводковых вод в культурных областях».¹

В этой работе приводятся таблицы и графики уровней воды на р. Рейне при Эммерих за 1770—1869 гг., на р. Висле при Мариенвердер за 1809—1871 гг., на р. Дунае в Вене за 1826—1848 гг. и в Оршове за 1840—1871 гг. Векс отмечает происшедшее на этих реках уменьшение среднего уровня и уменьшение меженного уровня воды при увеличении, однако, паводковых горизонтов. Эти неблагоприятные изменения в режиме рек приписываются целиком вырубке лесов; соответственно этому предлагается ряд мероприятий по ограничению рубок леса, по устройству водохранилищ и др.

Исследования Векса как гидротехника имели очень большое влияние на суждения того времени об обмелении рек и о значении леса.

Имела также влияние вышедшая в 1884 г. книга Вейнберга «Лес, значение его в природе и меры к его сохранению». Это издание в 563 страницы не содержит никаких материалов регулярных наблюдений, наполнено показаниями очевидцев, выдержками из всевозможных описаний путешествий и т. п.; книга не имеет никакого научного значения.

И, наконец, коснемся значения, которое имела книга Брикнера «Колебания климата с 1700 года», вышедшая в 1890 г. на немецком языке. Исследовав колебания уровня озер, изменения в положении ледников и другие явления, а также время созревания винограда, Брикнер пришел к заключению о наличии в среднем 35-летних периодов колебаний климата. Ход изменения водоносности озер и рек представлен им следующим рядом:

1740 г.	максимум
1760 г.	минимум
1780 г.	максимум
1800 г.	минимум
1820 г.	максимум
1835 г.	минимум
1850 г.	максимум
1865 г.	минимум
1880 г.	максимум

Экстраполируя далее, можно написать: 1895 г. — минимум, 1910 г. — максимум.

Замеченные колебания водоносности рек идут, по мнению по-

¹ „Известия Австрийского инженерного и архитектурного общества“ за 1873 г.

следователей Брикнера, одновременно в одном направлении на поверхности всего земного шара с отклонениями по местным условиям на несколько лет.

Памятное наводнение на реке-Москве и на всех других реках восточной половины европейской территории СССР произошло в 1908 г., наводнение на р. Миссисипи — в 1912 г., значит, ряд крупнейших наводнений произошел именно в период вероятного «брикнеровского» максимума водоносности рек на земном шаре.

Периоды Брикнера ослабили все указания на одностороннее направление изменения режима рек, на обмеление и пр., хотя число указаний на уменьшения и увеличения горизонтов воды было значительным.

Однако уже А. И. Воейков отрицает существование «брикнеровских» периодов, находя, что имеется больше данных, не совпадающих с этими периодами максимумов и минимумов, чем совпадающих.

Наличие чередования ряда лет максимума и минимума расходов с определенными в некоторых случаях интервалами времени отмечается на многих реках, но в настоящее время признается доказанным, что периодичность на отдельных реках и озерах не выдерживается в течение продолжительного времени и не совпадает по отдельным объектам. Материалы, доказывающие несовпадение периодов Брикнера с действительными колебаниями в режиме рек, приводятся Ю. М. Шокальским, Л. С. Бергом (1938).

В частности, уровень Каспийского моря понижается с 1805 г., уровень Аральского моря с 1880 до 1912 г. поднимался, а последние 20 лет колеблется без определенной тенденции.

В настоящее время, в связи с проектированием Большой Волги, Большого Дняпра, работ по рекам Дону, Кама и многим другим рекам, тщательно обработаны все проводившиеся на реках водомерные наблюдения и вычислены ежедневные расходы воды по ним за несколько десятилетий. Этот материал опубликован в изданиях Государственного гидрологического института и в изданиях Главэнерго; незначительные дополнительные арифметические вычисления дают ценный материал для суждения о том, изменился ли за последние десятилетия гидрологический режим больших рек в каком-либо определенном направлении.

Наиболее длительные наблюдения имеются по Неману у его устья, именно с 1812 г., поэтому на этой реке наиболее интересно проследить, произошли ли какие-либо изменения.

Обработка наблюдений по Неману производилась несколькими гидрологами и в последнем своем результате была представлена проф. С. И. Колупайло на IV Гидрологическую конференцию Балтийских стран, происходившую в 1933 г. в г. Ленинграде. Этим материалом, охватывающим период в 121 год, мы и воспользуемся для дальнейшего.

Затем по длительности наблюдений следует Днепр у Лоцманской Каменки, перед бывшими порогами, где регулярные наблюдения велись с 1852 г., хотя достоверными считаются расходы воды лишь с 1877 г. По Волге имеются регулярные достоверные наблюдения с 1877 г. у Ярославля, с 1878 г. — у г. Куйбышева, с 1876 г. — у Чебоксар и т. д. По Дону имеются регулярные наблюдения с 1831 г.

Проследим по каждой из этих рек, а также и по другим наиболее известным, как изменились суммарный годовой сток, паводок и летний минимум.

Динамика среднегодового стока

По Неману, близ его устья, средний расход воды по десятилетиям приведен в табл. 87.

Таблица 87

Средние расходы воды по Неману по десятилетиям

Десятилетия	Расход воды в м ³ /сек.	Десятилетия	Расход воды в м ³ /сек.
1812—1819	496	1870—1879	546
1820—1829	571	1880—1889	582
1830—1839	491	1890—1899	524
1840—1849	513	1900—1909	574
1850—1859	564	1910—1919	550
1860—1869	540	1920—1929	554

Объединив десятилетия по три, получаем более ясный ряд среднего расхода (табл. 88).

Таблица 88

Средние расходы воды по Неману по тридцатилетиям

Тридцатилетия	Расход воды	
	в м ³ /сек.	в %
1812—1839	519	100
1840—1869	539	104
1870—1899	551	106
1900—1929	560	108

Таким образом, по Неману имеется ясное за каждое из четырех тридцатилетий последовательное увеличение годового стока воды.

Не исключена возможность, что вычисленное увеличение годовых расходов по Неману находится в пределах ошибки, так как русло реки не было устойчивым. Но и возможность увеличения годового стока по Неману вполне поддается объяснению. Бассейн Немана вырубался и распахивался, поэтому испарение с него уменьшилось; при малой ширине бассейна уменьшение испарения не отразилось на выпадении осадков в бассейне, но оно могло и должно было отразиться на уменьшении осадков

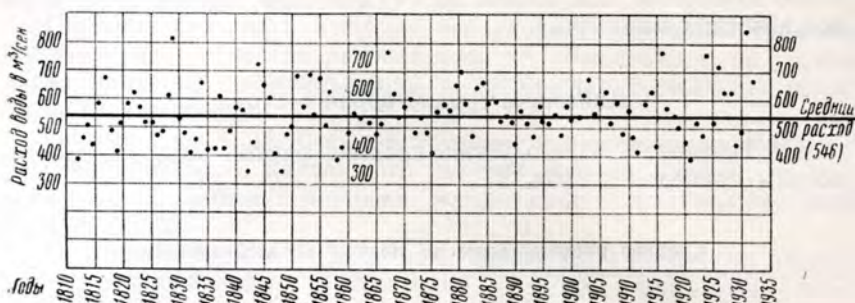


Рис. 14. Годовые расходы воды Немана

за пределами узкой полосы бассейна Немана, например в бассейне Березины и Припяти.

На рис. 14 наглядно показаны отклонения ежегодных расходов воды от средней многолетней величины (горизонтальная линия — расход 546 м³/сек.). Как раз за 1915—1935 гг. по Неману отмечались наибольшие расходы.

Значительный интерес представляет для нас Днепр, на водосборе которого произведены большие вырубки леса.

По Днепру у Лоцманской Каменки, перед бывшими порогами, расход по десятилетиям колебался в среднем следующим образом (табл. 89).

Т а б л и ц а 89

Средние расходы воды по Днепру

Десятилетия	Расход воды	
	в м³/сек.	в %
1881—1890	1 521	100
1891—1900	1 569	103
1901—1910	1 632	106
1911—1920	1 737	114
1921—1929	1 537	101

Из приведенных в табл. 89 данных видно, что годовой сток по Днепру имеет ясно выраженное увеличение с каждым десятилетием, и лишь последнее десятилетие (1921—1929 гг.) оказалось маловоднее предшествовавших, приблизившись к исходному десятилетию 1881—1890 гг. Следовательно, можно констатировать постепенное увеличение, а не уменьшение среднегодовых расходов воды по Днепру. Последнее десятилетие имеет сниженный сток (но все же больше 1881—1890 гг.) вследствие необычайных засух 1921 и 1924 гг.

Расходы по Волге у Ярославля и у г. Горького, ниже впадения Оки, менялись по десятилетиям следующим образом (табл. 90):

Таблица 90

Средние расходы по Волге у Ярославля и у г. Горького

Десятилетия	Ярославль		г. Горький	
	м ³ /сек.	%	м ³ /сек.	%
1881—1890	1 372	100	3 136	100
1891—1900	1 351	98	2 985	96
1901—1910	1 540	112	3 052	98
1911—1920	1 365	100	3 419	109
1921—1930	1 459	106	3 166	101

Средние десятилетние расходы воды по Волге у Ярославля и у г. Горького остались за последние 50 лет без изменения.

Большой интерес представляет также Волга у г. Куйбышева, где отражается режим и Волги и Камы.

По Волге у г. Куйбышева средний годовой расход по десятилетиям (Б. В. Поляков, 1938) имел большие колебания (табл. 91).

Таблица 91

Средний годовой расход воды по Волге у г. Куйбышева

Десятилетия	Расход воды	
	в м ³ /сек.	в %
1881—1890 *	8609	100
1891—1900	7782	91
1901—1910	7334	85
1911—1920	7976	92
1921—1930	8254	96
1931—1936	6723	78

* Правильнее 1830/1881 — 1888/1889, так как год считался с 1 октября.

Приведенные в табл. 91 данные показывают, что за два десятилетия 1911—1930 гг. годовые расходы по Волге у г. Куйбышева увеличивались и достаточно сильно, но за последние шесть лет они резко снизились; из годовых таблиц расходов видно, что резкое снижение началось с 1930 г., причины такого снижения исследуются Гидрологическим институтом.

На Северной Двине у Усть-Пинеги расходы колебались по десятилетиям следующим образом (таб. 92):

Таблица 92

Средние годовые расходы воды по Северной Двине

Десятилетия	Расход воды	
	в м ³ /сек.	в %
1881—1890	3 222	100
1891—1900	3 692	115
1901—1910	3 416	106
1911—1920	3 222	100
1921—1930	3 679	114

По Дону у хут. Калач средние годовые расходы за два последних десятилетия оказались выше предшествовавшего времени (табл. 93).

Таблица 93

Средние годовые расходы воды по Дону у хут. Калач

Десятилетия	Расход воды	
	в м ³ /сек.	в %
1882—1890	703	100
1891—1900	643	92
1901—1910	673	96
1911—1920	801	114
1921—1930	719	102

Таким образом, можно определенно считать, что за последние 20 лет по Неману, Днепру и Дону годовой расход воды по сравнению с предшествовавшими двадцатилетиями несколько увеличился. По Днепру за последнее десятилетие вследствие засухи 1921 и 1924 гг. сток оказался сниженным, но все же выше 1881—1890 гг. По Волге суммарный сток за 1880—1930 гг. остался без изменения, но с 1930 г. по невыясненным причинам

он резко снизился. По Северной Двине сток за 1921—1930 гг. увеличился.

В главе о переносе влаги атмосферными течениями и о значении внутреннего влагооборота указывалось на невозможность изменения суммарного стока по рекам европейской территории СССР под влиянием деятельности человека, так как величина этого стока определяется приносом влаги с Северного и Атлантического океанов, возможно лишь перераспределение влаги по бассейнам рек. Поэтому отмеченное увеличение годового стока по рекам Неману, Днепру, Волге и Дону могло быть вызвано или увеличением атмосферных осадков, или уменьшением испарения.

Действительно, оказывается, что осадки в бассейне Днепра за рассматриваемый период времени увеличивались (табл. 94).

Таблица 94

Годовая высота осадков в бассейне Днепра

Десятилетия	Высота осадков	
	в мм	в %
1881—1890	523	100
1891—1900	547	105
1901—1910	582	101
1911—1920	576	110
1921—1928	553	106

Следовательно, увеличение суммарного стока за последние десятилетия по Неману, Днепру и Волге вызвано, вероятно, увеличением атмосферных осадков.

Весенние паводки. Оставаясь в суммарной годовой величине без изменения или несколько увеличиваясь, сток с бассейна реки может претерпевать, независимо от этого, изменения в распределении паводков и межени.

Принято считать, что вырубка леса увеличивает паводки и уменьшает питание рек. Посмотрим на многолетнем материале стока, изменились ли весенние паводки по Неману, Днепру, Волге, Дону и Северной Двине.

Наиболее резким показателем весеннего половодья являются наблюдающийся мгновенный максимум расхода, его величина и время.

По Неману максимальные расходы за каждый год приведены в той же работе С. И. Колупайло (1933), но без указания времени наступления максимума.

Средние за периоды в 30 лет величины максимумов расходов по Неману оказались следующими (табл. 95):

Максимумы расхода воды по Неману

Тридцатилетия	Средние из наибольших расходов	
	в м ³ /сек.	в %
1812—1839	2 356	100
1840—1869	2 674	113
1870—1899	2 677	113
1900—1929	2 694	114

За последние 90 лет, как видим, изменений не произошло. График на рис. 15 показывает отклонения годовых максимумов от среднего за 120 лет максимума (показан горизонтальной ли-

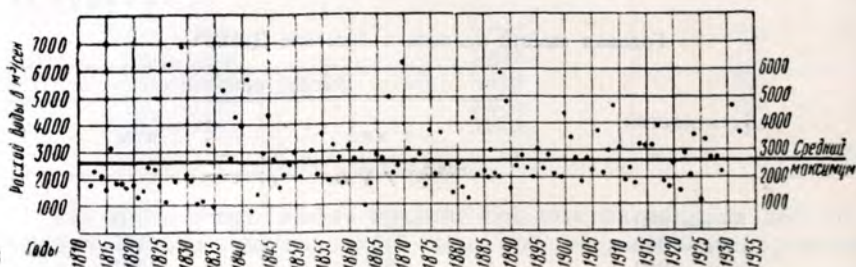


Рис. 15. Максимальные расходы воды Немана

нией) 2 638 м³/сек.: оказывается, что максимумы за период 1910—1935 гг. теснее расположены к средней величине максимумов.

Если по Неману вместо крайних максимумов проследить величины апрельских месячных расходов, включающих весенний паводок, то и в апрельских месячных расходах тенденции к изменениям не обнаруживается.

По Волге у Ярославля и у г. Горького (ниже впадения Оки) средняя величина мгновенных максимумов за каждый год, по десятилетиям, остается без явных изменений (табл. 96).

Таблица 96

Максимумы расхода воды по Волге в м³/сек.

Десятилетия	Ярославль	г. Горький
1881—1890	7 656	20 980
1891—1900	6 981	20 331
1901—1910	7 511	21 131
1911—1920	7 681	22 270
1921—1930	6 619	21 435

По Дону у хут. Калач средняя величина мгновенных максимумов остается без изменения (табл. 97).

Таблица 97

Максимумы расхода воды по Дону у хут. Калач

Десятилетия	В м ³ /сек.	В %
1882—1890	6 048	100
1891—1900	5 456	90
1901—1910	4 775	79
1911—1920	6 453	106
1921—1930	5 619	93

Заслуживает внимания материал по динамике весенних паводков по реке Москве у г. Москва. Памятное старожилам небывало высокое наводнение в 1908 г. в Москве вызвало в то время большой интерес и было приписано вырубке лесов.

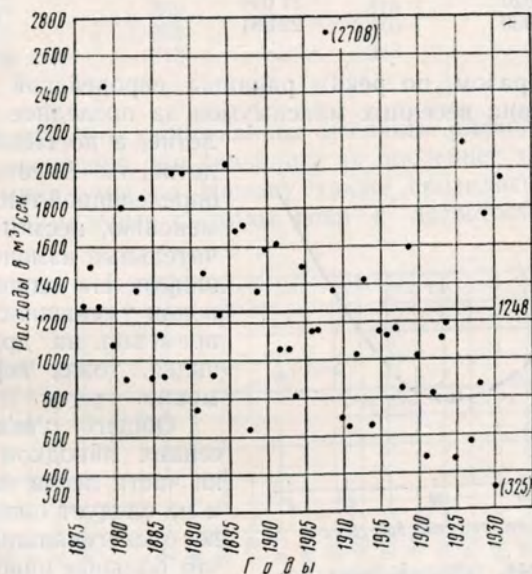


Рис. 16. Весенние максимальные расходы воды реки Москвы

В. Шпейер (1910) доказывал наличие все возрастающих паводков на реке Москве. Но вскоре наводнение 1908 г. было забыто. И, действительно, как это видно на рис. 16, где показаны весенние максимальные расходы за 1876—1931 гг., точка 1908 г. ле-

жит совершенно одиноко, после 1908 г. и до 1925 г. включительно был длительный период непрерывно очень малых весенних паводков.

По этому графику видно, что вообще до 1908 г. весенние паводки были выше, чем после 1908 г., т. е. с 1876 г. выявилась тенденция снижения паводков на реке Москве. Именно на такое направление изменений паводков обратил внимание П. А. Ефимович (1936), анализируя с максимальной тщательностью и ответственностью режим реки Москвы для проекта канала Москва — Волга.¹

Совершенно устойчивы весенние максимумы на Северной Двине у Усть-Пинеги, как видно из табл. 98.

Таблица 98

Максимумы расхода воды по Северной Двине

Десятилетия	В м ³ /сек.	В %
1881—1890	22 019	100
1891—1900	22 832	104
1901—1910	23 388	106
1911—1920	21 016	95
1921—1930	22 681	103

Таким образом, по рекам равнины европейской территории СССР величина весенних максимумов за последнее пятидесяти-

летие, а по Неману за столетие, не имеет какой-либо определенной тенденции к изменению, несмотря на значительные изменения в ландшафте. На одних реках паводок уменьшился, вероятно, временно, на других увеличился, тоже, вероятно, временно.

Общего увеличения весенних паводков от вырубки части лесов на водосборе и не следует ожидать; в главе о снеготаянии показано, что большие паводки формируются как на сплошь лесных, так и на безлесных площадях; вырубка части

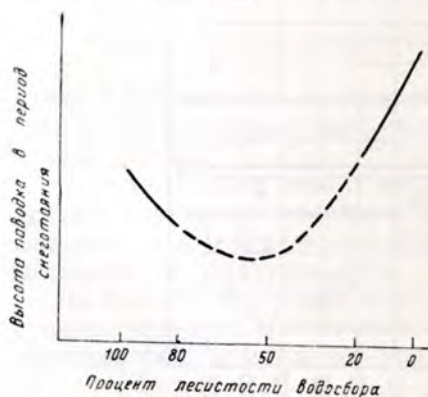


Рис. 17. Кривая, показывающая колебания весенних паводков на реках в зависимости от лесистости водосбора

леса на сплошь лесном водосборе снижает весенний паводок; но после уменьшения лесистости до некоторого предела дальнейшая рубка леса увеличивает весенний паводок (рис. 17). Этот опти-

¹ Переименован в 1947 г. в канал имени Москвы.

мальный для создания умеренного паводка процент лесистости еще не установлен; поэтому при происходившей рубке леса могли создаваться условия и для уменьшения и для увеличения весеннего паводка.

Летне-осенние минимумы. Остается еще подсчитать, изменились ли в течение последних 50—120 лет летние минимумы. Кроме суточных (мгновенных) минимумов, которые могли быть случайными, приведем здесь и месячные минимумы, выбирая за каждый год летне-осенний месяц с наименьшим стоком и вычисляя по ним средние месячные минимумы (табл. 99).

Таблица 99

Летние минимумы расхода воды по Неману

Тридцатилетия	Среднее из минимальных суточных в м ³ /сек.	Среднее из минимальных месячных	
		в м ³ /сек.	в %
1812—1839	259	330	100
1840—1869	259	316	96
1870—1899	256	310	94
1900—1929	213	283	86

Оказывается, что минимальные месячные расходы по Неману снижаются; особенно они снизились за последнее тридцатилетие. Суточные минимумы по Неману также снизились. Если сопоставлять минимальные расходы реки с лесистостью бассейна,

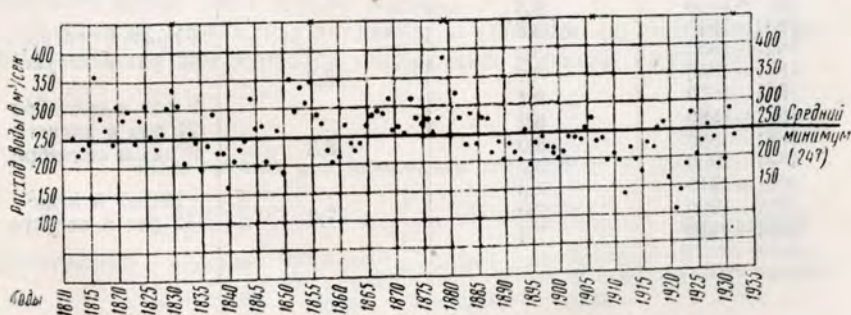


Рис. 18. Минимальные расходы воды Немана

отвлекаясь от других действующих факторов, то по Неману можно констатировать снижение лесистости и сильное снижение меженного расхода воды, т. е. изменение режима реки в неблагоприятную сторону.

На рис. 18 снижение летнего минимума, начиная с 1887 г.,

показано совершенно четко: почти все летние минимумы с 1887 г. оказались ниже средней многолетней их величины. Особенно низки уровни в 1912, 1921 и 1922 гг.; за время с 1812 г. таких низких уровней не было ни разу.

Не затрагивая сложного вопроса о периодичности гидрологических явлений, все же следует отметить, что минимумы расходов по Неману выявили периодичность. На графике минимумов совершенно ясно видны пять максимумов (отмечены крестами), именно годы 1830, 1855, 1879, 1906 и слабо выраженный в 1931 г.

Интервалы между максимумами и минимумами оказались, насколько это возможно для явлений природы, совершенно одинаковыми — 25 лет.

Наличие продолжительных наблюдений на Немане дает возможность сопоставить сроки наступления минимальных расходов. Отмечая из таблиц «Учет стока р. Немана» (С. И. Колупайло, 1933) за каждый год порядковый месяц с минимальным расходом, получаем по десятилетиям следующие средние порядковые номера месяцев, считая с 1 января, наступления минимального расхода (табл. 100):

Т а б л и ц а 100

Сроки минимумов по Неману

Периоды	Порядковый месяц минимального расхода		Примечание
	за десятилетие	за тридцатилетие	
1812—1820	8,4	8,8	6 раз в августе
1821—1830	9,3		
1831—1840	8,8		24 раза в сентябре
1841—1850	8,0		21 раз в августе
1851—1860	8,7	8,3	
1861—1870	8,1		9 раз в сентябре
1871—1880	8,2		21 раз в августе
1881—1890	8,0		9 раз в сентябре
1891—1900	8,6	7,4	
1901—1910	7,8		18 раз в июне
1911—1920	7,0		12 раз в августе
1921—1930	7,3		

Ясно выразилось и второе изменение, характеризующее минимальные месячные расходы по Неману: именно, месячные минимумы в последнее тридцатилетие стали наступать на месяц раньше. Эта перемена также соответствует общепринятому представлению, что вырубка леса ускоряет наступление летне-осеннего минимума.

По Волге у г. Куйбышева и у Сталинграда произошло сни-

жение минимальных летне-осенних расходов. Снижение это наблюдалось 45 или 35 лет назад и еще резче выявляется с 1930 г.

Приводимые в табл. 101 средние из минимальных месячных расходов по Волге у г. Куйбышева и Сталинграда за летне-осенний период подсчитаны из таблиц Полякова (1934).

Таблица 101

Минимальные месячные расходы по Волге

Десятилетия	Ярославль		г. Куйбышев		Сталинград	
	м³/сек.	%	м³/сек.	%	м³/сек.	%
1881—1890	521	100	4 522	100	5 539	100
1891—1900	497	96	4 278	95	5 029	91
1901—1910	709	136	3 893	88	4 534	82
1911—1920	532	102	3 901	86	4 470	81
1921—1930	500	96	4 295	95	4 920	89
1931—1936	—	—	3 176	70	3 603	69

Минимальные месячные расходы Волги у г. Куйбышева и Сталинграда за рассматриваемые 56 лет выявили явное снижение минимумов, причем особенно сильное снижение произошло за последние шесть лет.

Месяцами минимального расхода Волги у г. Куйбышева являются август и сентябрь, не было ни одного такого года, чтобы минимальный месячный расход за летне-осенний период приходился на какие-либо другие месяцы.

Месячные минимумы за август и сентябрь по отдельным десятилетиям распределяются следующим образом (табл. 102):

Таблица 102

Число месяцев с минимальным расходом по Волге

Десятилетия	г. Куйбышев		Сталинград		Порядковый месяц минимума от начала года
	годовое с августа	минимальное с сентября	годовое с августа	минимальное с сентября	
1881—1890	5	5	3	7	8,5
1891—1900	4	6	1	9	8,6
1901—1910	4	6	2	8	8,6
1911—1920	5	5	5	5	8,5
1921—1930	1	9	1	9	8,9
1931—1936	1	5	1	5	8,9

Оказывается, что наступление минимальных летне-осенних расходов у г. Куйбышева и Сталинграда за последние 16 лет стало запаздывать.

Снижение месячных минимумов произошло и на реке Москве. На рис. 19 видно общее снижение

точек от начала к концу десятилетий. Эта же тенденция выявляется из данных табл. 103.

По Дону выше Калача месячные и суточные летне-осенние минимумы не выявили ясного изменения ни в величинах, ни в сроках наступления (табл. 104).

Без изменения остались летне-осенние минимумы на Северной Двине (табл. 105).

Таким образом, летне-осенние месячные минимумы по реке-Москве за 30 лет, по Волге в нижнем течении

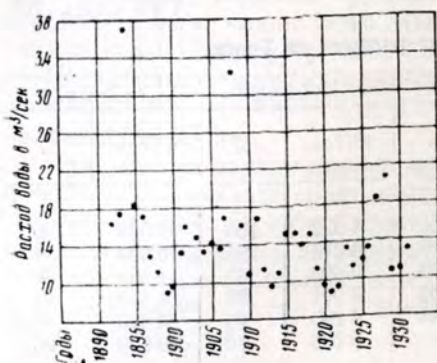


Рис. 19. Минимальные месячные расходы реки-Москвы за июнь—октябрь

Таблица 103

Месячные минимумы расхода воды по реке Москве

Десятилетия	В м³/сек.	В %
1891—1900	16,6	100
1901—1910	16,1	97
1911—1920	12,9	78
1921—1930	12,9	78

Таблица 104

Минимумы расхода воды по Дону

Десятилетия	Месячные минимумы		Суточные минимумы		Порядковый месяц мини- мума от начала года
	в м³/сек.	в %	в м³/сек.	в %	
1882—1890	208	100	194	100	9,4
1891—1900	156	75	146	75	9,5
1901—1910	136	65	125	65	9,6
1911—1920	198	95	174	90	9,5
1921—1930	206	99	175	90	9,4

Максимумы расхода воды по Северной Двине

Десятилетия	Месячные минимумы		Суточные минимумы		Порядковый месяц от начала года
	в м³/сек.	в %	в м³/сек.	в %	
1881—1890	1 665	100	1 314	100	8,2
1891—1900	2 041	123	1 364	104	8,8
1901—1910	1 765	106	1 462	112	8,7
1911—1920	1 568	94	1 112	85	8,4
1921—1930	1 788	108	1 375	104	8,6

за последние 35 лет, а по Неману за 60 лет существенно снизились; по Дону и по Северной Двине они остались без изменения.

Приписывать ли снижение летне-осенних минимумов по реке Москве, Неману и Волге вырубке леса или иным условиям, уверенно судить невозможно, но несомненно, что вырубка лесов по Волге за последние 30 лет, а по Неману еще за больший период времени была значительная, по Северной Двине и по Дону эта вырубка была относительно меньшей, и, может быть, именно поэтому минимальные расходы не изменились.

Эти обстоятельства увязываются с обычными представлениями о влиянии леса на меженный сток. По Неману имеется еще ряд других признаков, которые могут приписываться уменьшению лесной площади, именно увеличение, хотя и очень слабое, весенних паводков, увеличение суммарного годового стока вследствие уменьшившегося испарения и, наконец, наступление летних минимумов за последнее тридцатилетие на месяц ранее, чем в предшествовавшее время. Но было бы неосторожно категорически утверждать, что происшедшие изменения в расходах воды некоторых значительных рек равнины СССР вызваны деятельностью человека. В последующие годы может выявиться перелом в обратную сторону. Нельзя забывать, что гидрологический режим реки в ее естественном состоянии является функцией климата.

В противоположность естественному гидрологическому режиму рек, русловой режим меняется на наших глазах: смывы почвы, размывы грунта и отложения выносов в руслах рек являются повседневными явлениями.

Плановая деятельность социалистического государства решительно улучшает естественный режим реки; создание плотин в Угличе, в Рыбинске, в г. Куйбышеве значительно выравнивает сток по реке.

Но водорегулирующее значение леса сохранится по всем сплавным рекам бассейна и положительно отразится на снижении максимального весеннего прохода воды через плотины; это водорегулирующее значение леса, конечно, не абсолютно, а оно находится в зависимости от процента лесистости, от распределения леса по водосбору реки, от грунта бассейна.

Глава VIII

СХЕМЫ ВОДРЕГУЛИРУЮЩЕГО СОСТОЯНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ЛЕСА

Полезные влияния леса на природу и на объекты ее эксплуатации выражаются в четырех основных направлениях:

- 1) усиление внутреннего оборота влаги: увеличение испарения и выпадения осадков;
- 2) регулирование стока: ослабление паводков и усиление межени;
- 3) ослабление эрозии: смыва и размыва грунта с отложением его в русле рек;
- 4) уменьшение скорости ветра; ослабление испарения с полевых земель.

Каждое из этих воздействий леса для проявления в полной мере требует определенного размещения леса по территории, определенного состава, полноты и возраста леса, при этом различных, в зависимости от грунта и рельефа. Интенсивность же мероприятий по каждой группе обуславливается плановым развитием всего народного хозяйства СССР, в частности на европейской территории Союза. Однако основное назначение леса — давать древесину для социалистического строительства, поэтому основная деятельность лесовода — добиться наибольшего прироста древесины нужного качества и использования ее без потерь. Эти хозяйственные задачи должны достигаться при наилучшем возможном использовании и всех остальных полезных свойств леса.

Усиление внутреннего оборота влаги

Влага приносится на европейскую территорию Советского Союза воздушными течениями с Северного и Атлантического океанов (см. главу V) в количестве за год (при условно грубых подсчетах) 209 мм высоты слоя воды, отнесенной к поверхности всей европейской равнины СССР.

Эти приносимые с океана 209 мм воды совершенно недостаточны для наличной естественной и культивируемой растительности и соответствуют осадкам засушливых областей.

Значение леса и всякой другой растительности должно состоять и в том, чтобы перехватывать выпадающие на сушу океанические осадки, не допускать их сразу к стоку в реку, а вновь передавать испарением в атмосферу. Этим достигается то основное положение, что одни и те же 209 мм океанической воды выпадают на европейскую территорию СССР несколько раз (2,3 раза), давая среднюю годовую высоту осадков 500 мм. И чем меньший коэффициент стока дал каждый дождь и снеготаяние, тем большее число раз «обернется» над материком океаническая влага, обратившись во влагу континентальную. При общем направлении движения влагопереносящих слоев атмосферы с севера и запада на юг и на восток, испарившаяся с суши вода переносится от северной и западной окраин в глубь континента, выпадая каждый раз южнее и восточнее. Чем меньшая часть при каждом выпадении осадков попадет в русло реки, тем дальше в глубь континента проникает океаническая влага. Уральские горы являются восточным рубежом продвижения паробразной влаги, Кавказские горы — южным рубежом.

Огромное значение леса проявляется в виде фактора, увеличивающего путем испарения внутренний оборот влаги. При большом испарении естественно, что уровень грунтовой воды под лесом и влажность грунта снижаются до создания равновесия — иссушения грунта до какого-то предела влажности, когда рост леса начинает страдать и вместе с этим уменьшается транспирация влаги.

Снижение уровня воды под лесом подготавливает резервуар для принятия весенней и дождевой воды, не дающий ей скатиться по поверхности, а создающий возможность поступления в грунт, чтобы пойти затем на испарение и на замедленный сток в реку. Если вода скатывается в реку по поверхности, то она сразу выходит из внутреннего влагооборота и создает ненужный паводок и размыв грунта.

Чтобы лучше влиять на усиление внутреннего оборота влаги и, следовательно, на передачу влаги с севера к югу, с запада на восток, лес на пути движения влагоносных воздушных течений должен обладать наибольшей способностью задерживать поверхностный сток и наибольшей испаряющей способностью.

В настоящее время северный ландшафт, образуемый тундрой, болотами и перестойными, захламленными лесами, испаряет недостаточное количество влаги; больше половины выпадающих осадков, принесенных с океана, сразу стекает обратно в океан. В главе о внутреннем влагообороте было показано, что по Печоре (верхняя часть) стекает 85%, по Северной Двине 58%, по Онеге 50% от выпадающих атмосферных осадков, тогда как по Днепру и по Дону всего лишь 21%, т. е. в бассейне Дона миллиметр воды, прежде чем полностью стечь в реку, четыре раза испаряется в атмосферу, увеличивая этим в четыре раза и выпадение осадков.

Большое бесполезное расходование воды на сток северными реками видно из сопоставления многолетних модулей стока (табл. 106), приведенных выборочно из работы Б. Д. Зайкова и С. Ю. Белинкова (1937).

Таблица 106

Многолетние модули стока

Север		Средняя полоса		Степь	
реки	модуль стока в л/сек. с 1 км ²	реки	модуль стока в л/сек. с 1 км ²	реки	модуль стока в л/сек. с 1 км ²
Печора	17,3	Мста	8,0	Сейм	4,1
Мезень	10,6	Зап. Двина . .	8,3	Сула	3,5
Вага	9,5	Волга у Яро- славля	7,4	Псел	3,0
Вычегда	10,3	Молога	8,1	Хопер	4,0
Пинега	9,9	Шексна	9,1	Медведица . .	2,7
Онега	9,7	Унжа	8,5	Сев. Донец . .	2,0
Нева	9,2	Ветлуга	6,7	Ока до Орла .	4,1
Кольского полуострова .	12,0	Кама (вся) . .	8,0	Самарка . . .	1,3
				Еруслан . . .	2,0

Лесохозяйственные мероприятия по усилению оборота влаги

Изложенное делает совершенно ясным, что лесное хозяйство севера и запада следует вести таким образом, чтобы задерживать сток воды в реки и усиливать испарение. Соображение это уже давно выдвинуто Г. Н. Высоцким во многих его работах.

Наибольшей способностью испарения обладает лес в период наиболее интенсивного нарастания древесины на 1 га; по лесному справочнику (М. М. Орлов, 1926) наибольший текущий прирост сосны в Архангельской и Ленинградской областях для всех бонитетов наблюдается в 60-летнем возрасте.

Резко снижается текущий прирост древесины с 1 га в возрасте леса свыше 100 лет; соответственно, вероятно, снижается и испарение: перестойный лес еще до вырубki создает условия заболачивания площади. Поэтому скорейшая вырубка перестойных лесов на севере и западе с заботой о надлежащем возобновлении леса является мерой усиления испарения и, следовательно, мерой усиления передачи влаги на юг.

При одном и том же возрасте леса испарение зависит еще от полноты древостоя; вполне сомкнутый древостой, при наличии еще подлеска, создает застой воздуха под кронами и между кро-

нами. Есть логическое основание утверждать, что какая-то степень прореженности леса создает условия наибольшего испарения; воздух должен с некоторой свободой овеивать крону и покров почвы. Однако никаких обоснованных цифровых указаний по этому поводу не имеется.

Захламленность поверхности сильно снижает испарение; поэтому очистка лесосек является вместе с тем и гидроклиматическим мероприятием, содействующим переносу влаги на юг взамен стока ее в реки Севера.

Освоение всех пустырей под лес и под сельскохозяйственные культуры поведет также к усилению испарения с площадей Севера.

Все мероприятия, ведущие к увеличению прироста древесины и травяной массы, увеличивают тем самым транспирацию влаги; поэтому осушение заболоченных лесов, вызывая резкое увеличение прироста древесины, увеличивает транспирацию и усиливает оборот влаги.

Прорезывание же канавами торфяных сфагновых болот, при последующем развитии на осушаемых болотах леса и сельскохозяйственных культур, уничтожает мертвые запасы воды в болотах, усиливает оборот влаги, увеличивает грунтовое питание рек.

Таков комплекс мероприятий, общим результатом которых будет уменьшение стока в реки Севера, снижение грунтовой воды, усиление передачи влаги с Северного океана в глубь континента.

С удовлетворением можно сказать, что все эти гидроклиматические мероприятия вполне совпадают и с интересами лесного хозяйства Севера, особенно со скорейшей рубкой перестойных лесов при надлежащем их возобновлении.¹

Лесоводственные мероприятия по задержанию стока в реки и по увеличению испарения должны проводиться главным образом на широкой лесной полосе, дающей модуль годового стока выше 10 л/сек. с 1 км² (рис. 20). Такая полоса шириной 250 км проходит по Кольскому полуострову, по Карелии, включая и Онежское озеро, пересекает среднее течение Северной Двины, захватывает бассейн Мезени и пересекает верхнюю половину бассейна Печоры. Коэффициент стока на этой полосе близок к 0,70. Это значит, что 70% от выпадающих осадков сразу же пропадают для внутреннего влагооборота, стекая в реки Северного океана.

Чтобы добиться заметного усиления испарения в северной зоне, лесоводственные мероприятия должны быть проведены на всей территории зоны; малое испарение на Севере и потому

¹ Более полное освещение этого вопроса содержится в работе В. И. Рутковского «Обоснование лесохозяйственных мероприятий по усилению защитных и водоохранных свойств леса», Гослесбумиздат, 1948 г.—Ред.

большая величина стока вызывается в основном низкой температурой воздуха и зависящей в значительной мере от нее большой относительной влажностью воздуха. Изменить эти сильно

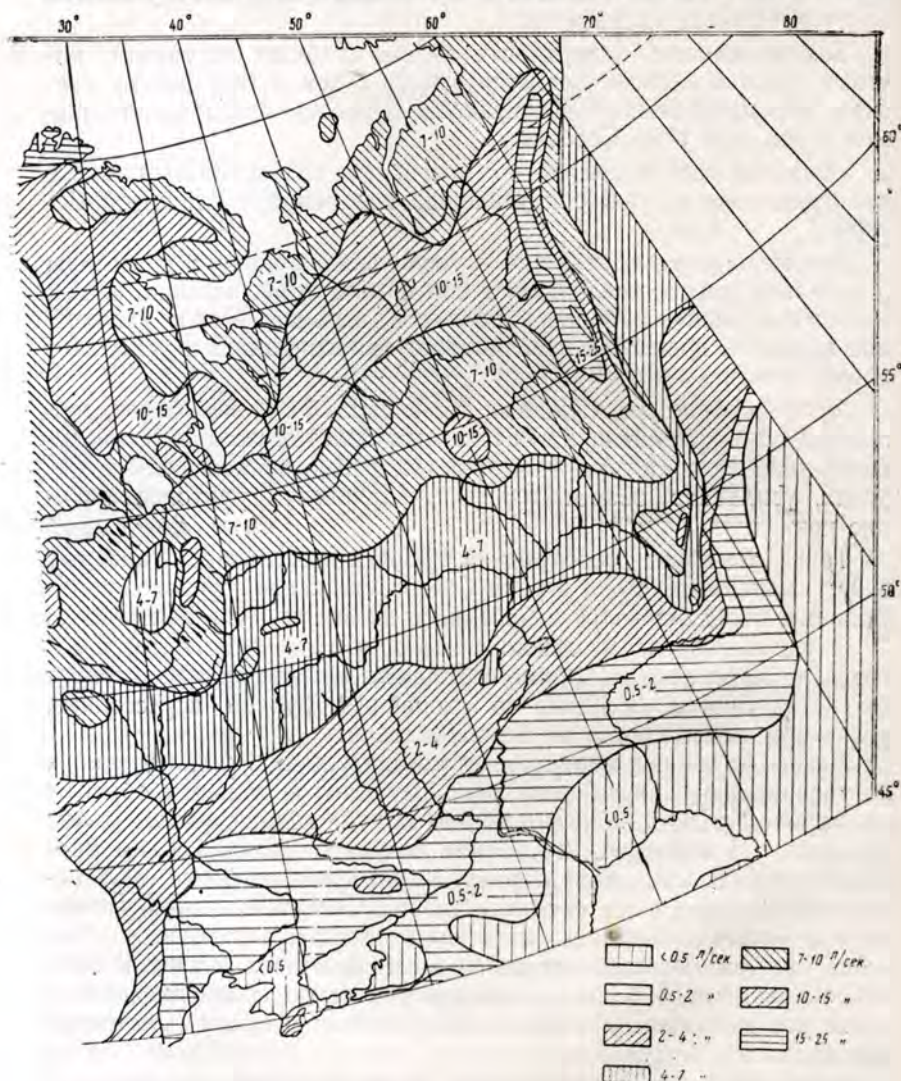


Рис. 20. Среднегодовой сток в л/сек. с 1 км^2 на европейской территории СССР.

влияющие факторы невозможно, но уменьшение стока усилением транспирации является вполне реальным.

К северной зоне наибольшего стока примыкает с юга полоса большого стока с модулей 7—10 л/сек. с 1 км^2 , пересекающая

всю европейскую территорию СССР от Балтийского моря до Урала; средняя ширина этой полосы 330 км, она захватывает бассейны Западной Двины, всего Волхова, Сухоны, Юга, Вычегды и верхнее течение притоков Волги: Мологи, Шексны, Унжи, Ветлуги, Камы, Вятки.

Здесь, в зоне 7—10-литрового стока, лесоводственными мероприятиями по усилению прироста древесины, по вырубке перестойных насаждений, по прореживанию сомкнутых насаждений, по очистке поверхности от хлама возможно и следует уменьшить сток на север, перебрасывая усилением испарения влагу на южный склон в бассейн Волги.

Эти мероприятия наиболее важны в западной части полосы, откуда наибольший процент влаги достигнет юга и юго-запада европейской территории СССР.

Есть основание полагать, что усиление летнего испарения с бассейна р. Волхова, т. е. по рекам Мсте, Ловати, Полисти, Шелони, уменьшит летнее и особенно осеннее питание Волховской электростанции. Это предположение справедливо при том условии, если испаряющаяся с бассейна р. Волхова вода относится воздушными течениями за пределы этого бассейна.

Но если значительная часть испаряющейся воды выпадает над лесом недалеко от места испарения или если лес вызывает выпадение осадков из проносящихся над ним воздушных течений, то усиление испарения с бассейна р. Волхова увеличит здесь же и выпадение осадков, т. е. усилит местный влагооборот, не уменьшая стока. Сказать достоверно, далеко или близко от своего места испарения выпадает влага из атмосферы, не имеется возможности.

Волхов является специфическим случаем; создающееся здесь противоречие или неясность должны сглаживаться возможно большим накоплением весенней воды плотиной и использованием мертвых запасов воды сфагновых болот.

Западная Двина, верховья Волги, Молога, Шексна имеют на своих бассейнах значительное число озер, которые хорошо регулируют сток; поэтому на этих бассейнах должны быть в полной мере осуществлены все лесоводственные мероприятия по усилению внутреннего влагооборота, переносащего влагу на юго-восток.

Южнее, в зонах модуля стока 4—7 л/сек. и 2—4 л/сек. с 1 км², задача усиления влагооборота сохраняет везде свое значение. Но на юге леса мало, поэтому здесь заметное усиление влагооборота лесными массивами достижимо только после крупных массовых лесокультурных мероприятий. Здесь лесу надлежит исполнять в полной мере другие функции: предотвращение смыва почвы и размыва грунта водами, ослабление скорости ветра над полями и повышение влажности воздуха.

Схемы регулирования стока

Регулирование стока заключается в удлинении периода прохода весенней воды, в снижении паводковых расходов и в увеличении меженных расходов. Достигается это двумя методами: созданием разновременности таяния снега на бассейне реки и трансформацией быстрого поверхностного стока в медленный грунтовый сток. В отношении снижения и продления паводка оба метода могут осуществляться посредством леса, что имеет большое значение. Возможности же увеличения лесоводственными мероприятиями летне-осенних расходов воды в реках остаются не вполне ясными.

Согласно изложенным материалам по снеготаянию, таяние снега в еловом лесу оканчивается на 15—25 суток позднее, чем на открытом месте, в сосновом — на 10—20 суток и в лиственном — на 5 суток позднее.

К тому дню, когда на поляне среди леса снег полностью сходит, в лесу оказывается снега еще 50% от зимнего запаса. Убыль запаса воды в снеге в сосновом лесу практически начинается на 15 суток позднее, чем на поле.

При таком запаздывании таяния интенсивность таяния в лесу оказывается той же, что и в поле, так как температура воздуха весной за интервал в 15 суток становится значительно более высокой, чем за время таяния снега в поле.

Приведенные сроки подвержены сильным колебаниям, вплоть до искажения соотношений; например, в малоснежные зимы под пологом густого ельника оказывается настолько мало снега, что он стает раньше, чем в сосновом и лиственном лесу. В иные же весны сход снега в еловом лесу запаздывает более чем на месяц по сравнению с полем.

Для построения дальнейших схем водорегулирующего размещения леса по бассейну реки необходимо схематизировать приведенные выше даты начала, конца и продолжительности снеготаяния.

Наиболее близким к среднему является следующее, принимаемое для дальнейших схем положение: снеготаяние в сосновом лесу начинается и заканчивается на 15 суток позднее, чем на открытом месте, продолжаясь примерно в течение 14 суток и имея в дни наибольшей интенсивности ту же интенсивность таяния, что и на поле.

Приведенных положений достаточно для того, чтобы обосновать весьма важные предложения по водорегулирующему размещению леса на водосборной площади реки.

Необходимо еще отметить, что излагаемые ниже соображения наиболее приложимы к рекам второго по величине порядка, как-то: Молога, Шексна, Унжа, Ветлуга, Березина, Сож, Припять, Мста и многие другие, имеющие протяжение с учетом извилин 400—600 км, судоходные в большую воду и лесосплав-

ные в течение большей части лета. На этих реках существенно важно поддерживать наиболее длительный по времени и в то же время умеренный по величине проход весенней воды и создать, кроме того, наилучшее грунтовое питание в летнее время.

Схема 1. Если вся водосборная площадь реки покрыта лесом (рис. 21), то интенсивное снеготаяние начинается и заканчивается по всей площади одновременно, продолжаясь, как указывалось выше, в среднем 14 суток. Некоторое влияние в сторону уменьшения или увеличения здесь оказывает степень разнородности леса по составу и по возрасту; положение реки относительно сторон света значения не имеет, так как на протяжении 200—400 км по географической широте или долготе разницы в весеннем снеготаянии не создается; река протяжением 400—600 км, имея извилистость, протягивается по меридиану на 200—400 км.

Среднюю скорость течения воды в реке в период прохода весенней воды принимаем равной 0,7 м/сек., что соответствует прохождению 60,5 км за сутки. При такой скорости на прохождении 500 км по руслу реки потребуется 8,3 суток.

Указанная скорость принята на основании просмотра действительных скоростей на водомерных постах рек второго по величине порядка с учетом того, что скорость на водомерных постах больше, чем по всей реке, так как водомерные посты устраиваются на участках правильного русла, с ясно выраженными берегами и т. п.

Таким образом, продолжительность прохождения снеговой воды через устье реки, имеющей сплошь покрытый лесом водосбор, складывается следующим образом:

Продолжительность таяния снега по всему лесному водосбору 14 суток
 Проход воды с верхней части водосбора до устья реки . . . 8 »

Продолжительность прохода весенней воды 22 суток



Рис. 21. Водорегулирующее размещение леса по схеме 1

Получаемая при снеготаянии вода на лесной поверхности в большей своей части проходит в грунт; здесь некоторая часть ее задерживается на насыщение грунта до полной его влагоемкости, остальная же вода идет внутрипочвенным и глубинным стоком, выклиниваясь у подножья лесных балок и у русел рек. Чем южнее, тем больше высушивается грунт под лесом и потому тем бо́льшая часть снеговой воды идет на пополнение влажности грунта. На севере же грунт в лесу, как и в поле, насыщен с осени водой, и потому снеготаяние дает большой по-



Рис. 22. Водорегулирующее размещение леса по схеме 2

верхностный сток и быстрый одновременный по всему бассейну внутрипочвенный сток в реки. На севере модули максимального стока со сплошь облесенных водосборов, как это будет показано далее, оказываются бо́льшими, чем в средней и южной зонах с водосборов менее облесенных.

Схема 2. Половина водосборной площади освобождена от леса. Здесь оказывается существенно важным, где именно произведена вырубка леса: в верхней или нижней части водосбора реки, так как в зависимости от этого влияние на весенний паводок окажется противоположным.

Если лес вырублен в нижней половине водосбора, а верхняя часть осталась покрытой лесом (рис. 22), то таяние снега начнется в нижней части на 15 суток ранее и закончится к тому времени, когда в верхней части таяние только начнется. Следовательно, снеговая вода нижней части водосбора уже сойдет к тому времени, когда придет вода с верхней, лесной части водосбора.

Продолжительность прохода снеговой воды через устье реки складывается в этом случае следующим образом:

Таяние снега в нижней, безлесной части водосбора	14 суток
Таяние снега в верхней, лесной части водосбора	14 »
Промежуток между интенсивным таянием снега в поле и в лесу	1 сутки
Пробег воды с верхней, лесной части водосбора до устья реки по окончании таяния	8 суток
Продолжительность прохода весенней воды	37 суток

Сравнивая продолжительность прохода снеговой воды по схемам 1 и 2, ясно видим, что вырубка леса в низовой части водосбора сильно увеличивает продолжительность прохода паводка, следовательно сильно уменьшает среднюю высоту паводка, что весьма полезно для судоходства, сплава и сельского хозяйства.

Схема 3. Вырубка леса произведена на верхней части водосборной площади реки, а низ остался сплошь облесенным (рис. 23). Снеготаяние начнется раньше на 15 дней в верхней части водосбора; снеговая вода с верхней части водосбора не успеет пройти через устье реки, как начнется снеготаяние в низовой, лесной части водосбора; произойдет накладка снеговых вод верхней и нижней части водосбора, что даст дни высокого паводка. Это обстоятельство является существенно важным.



Рис. 23. Водорегулирующее размещение леса по схеме 3

Продолжительность прохода снеговой воды через устье реки требует в этом случае более сложных вычислений.

Положим, что снеготаяние в верхней, безлесной части водосбора началось 1-го числа какого-то месяца.

К устью реки снеговая вода, при расстоянии полевой границы от устья реки 250 км и скорости течения 60 км за сутки, подойдет	4-го числа
Закончится снеготаяние в безлесной части	14-го числа
Закончится проход воды с безлесной части $(14 + 8,3)$	22-го числа
Начнется таяние в нижней, лесной части	15-го числа
Закончится таяние снега в нижней, лесной части	29-го числа
Закончится проход воды с лесной части $(29 + 4)$	33-го числа

Считая 250 км от верхней, лесной границы до устья, что требует 4 суток течения, получим продолжительность прохода снеговой воды через устье со всей площади водосбора $33 - 4 = 29$ суток.

Так как таяние снега в нижней, лесной части бассейна начинается 15-го числа, а проход воды с верхней, полевой части заканчивается 22-го числа, то полевая и лесная воды накладываются друг на друга в течение $22 - 15 = 7$ суток, создавая большой паводок.

Таким образом, два водосбора с одинаковой (50%) облесенностью (схемы 2 и 3) имеют различные весенние паводки в зависимости от того, где сосредоточен лес; если лес сосредоточен в верхней части водосбора, то время прохождения весенней воды

через низовую часть реки продолжительнее и паводок умереннее, чем при сосредоточении леса в низовой части водосбора.

Схема 4. При полной вырубке леса (рис. 24) создаются условия продолжительности прохода снеговой воды, одинаковые с площадью, сплошь покрытой лесом: продолжительность интенсивного снеготаяния одинакова и равна 14 суткам, время добегания воды тоже одинаково и равно, при принятых нами условиях, 8 суткам — всего 12 суток. Но так как таяние снега в лесу, часто на незамерзшем грунте, сопровождается впитыванием воды в грунт и расхождением ее грунтовым стоком и в запас, то весенний паводок со сплошь лесной площади оказывается меньшим, чем с полевой площадью,



Рис. 24. Водорегулирующее размещение леса по схеме 4

где таяние снега происходит на промерзшем грунте и где поверхностный сток составляет большую часть общего стока.

Изложенное показывает, что частичная вырубка леса на сплошь облесенных водосборах не только не увеличивает весеннего паводка, а, напротив, снижает его, удлиняя период снеготаяния, причем это относится в большей степени к условию вырубки леса в низовой части водосбора, что создает наибольшую продолжительность прохождения снеговой воды по низовой части реки.

При чрезмерном сведении лесов, предела которого мы обоснованно указать не можем, начинается увеличение весеннего паводка, достигающего своего максимума при полном обезлесении водосбора.

Отсюда основное предложение: составление плана размещения рубок и облесение площадей по бассейнам рек второй величины (Молога, Шексна, Березина и т. п.) должны вестись таким образом, чтобы верхняя половина бассейна реки становилась в результате массовых лесохозяйственных мероприятий более облесенной по сравнению с нижней половиной бассейна, что будет иметь следствием растяжение времени весеннего паводка и ослабление его высоты. Сплошь лесной водосбор и совершенно безлесный водосбор рек второго порядка дают наибольшие весенние паводки.

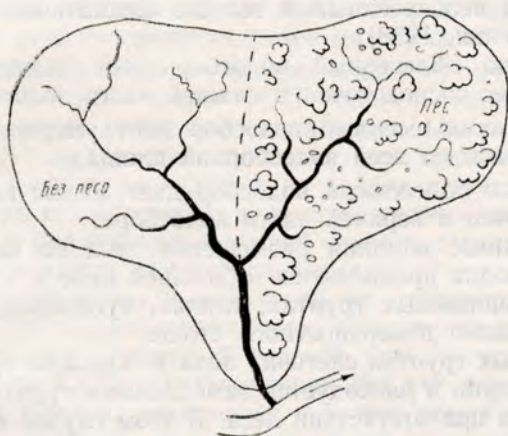


Рис. 25. Водорегулирующее размещение леса по схеме 5

Схема 5. Взамен сохранения лесистости верхней части бассейна судоходной реки и уменьшения лесистости нижней части ее бассейна возможно, в случае формирования судоходной части данной реки слиянием двух одинаково мощных рек, планировать большую лесистость на всем водосборе одной и меньшую лесистость на всем водосборе другой из сливающихся рек, что также даст растяжение времени паводка и снижение высоты паводка при слиянии этих рек (рис. 25).)

* * *

Изложенные пять схем размещения леса по бассейну реки могут быть развиты еще учетом экспозиции поверхности.

Беслесный склон, обращенный на юг, лишается снегового покрова не на 15, а еще на большее число суток раньше, чем лес. Поэтому наиболее растяженный сток снеговой воды создается

при расположении леса в верхней части водосбора и притом на северных его склонах (возможные при этом сочетания описаны В. А. Троицким).

Таким образом, на основе прослеживания хода таяния снега и стока снеговой воды с малых площадей, а также многолетних наблюдений паводковых расходов на больших реках с сильно, средне и слабо облесенными водосборами возможно с достаточной надежностью утверждать следующее:

1. Необлесенный водосбор дает наибольшие паводки при весеннем снеготаянии.

2. Сплошь облесенный водосбор дает большие паводки, но меньшие, чем необлесенный в тех же климатических условиях (Н. М. Горшенин, 1938).

3. Умеренно облесенный водосбор дает значительные паводки, если лес сосредоточен в нижней части водосбора.

4. Умеренно облесенный водосбор дает умеренные паводки, если лес рассеян по всей водосборной площади.

5. Умеренно облесенный водосбор дает малые паводки, если лес сосредоточен в верхней части водосбора.

Перечисленные влияния размещения леса на формирование весеннего паводка проявляются в большей мере и в чистом виде на труднопроницаемых грунтах, глинах, суглинках, создающих условия большого поверхностного стока.

На песчаных грунтах снеговая вода в большом проценте просачивается вглубь и расходуется замедленным грунтовым стоком при наличии и при отсутствии леса. В этом случае влияние леса выявляется в растяжении периода снеготаяния, но теряется на трансформировании поверхностного стока в грунтовой.

В условиях планового социалистического хозяйства воздействие человека на лес для растяжения во времени и для уменьшения по высоте весенних паводков может идти в двух направлениях:

1) планирование мест рубок и культур леса таким образом, чтобы в результате этих мероприятий облесенность верхней части бассейнов рек второго порядка увеличивалась, а нижней части — уменьшалась, если она превосходит (неясную еще по величине) норму;

2) разведение и сочетание таких лесных пород, а также ведение рубок таким образом, чтобы снегонакопление было наибольшим, а снеготаяние начиналось и заканчивалось возможно позднее по сравнению с открытым местом.

Эти два условия создадут наиболее длительный период стока снеговой воды и поэтому наиболее умеренный паводок.

Ясно, однако, что лесное хозяйство должно вестись не только на регулирование водного режима рек, но главным образом с учетом удовлетворения потребностей народного хозяйства в древесине.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные положения о влиянии леса на влагооборот влаги и на режим стока и их обоснования для условий равнины европейской территории Советского Союза изложены в соответствующих главах. При сложности возможных сочетаний действующих факторов и резко различных количественных результатах, создаваемых сочетаниями природных факторов, не представляется возможным убедительно изложить влияния леса в коротких тезисах.

Поэтому ниже приводится ряд сводных основных положений, некоторые из которых могут быть убедительными лишь при ознакомлении с изложенным ранее материалом.

1. Основными и почти исключительными источниками снабжения европейской части СССР влагой являются Северный Ледовитый океан и Атлантический океан. Проходящая над равниной СССР океаническая влага по мере продвижения ветрами к югу и к востоку расходуется на осадки и притом почти целиком, так как на востоке по пути продвижения находятся Уральские горы, а при подходе к южной окраине запасы влаги в атмосфере оказываются уже истощенными.

2. Все количество выпадающей на территории европейской части СССР океанической влаги стекает обратно в моря и океаны, поэтому суммарный годовой сток по всем рекам европейской части СССР, составляющий 836 км^3 и соответствующий слою воды 209 мм, показывает в то же время и объем поступающей на материк воды. Количество воды, поступающей на сушу с океана, колеблется под действием космических факторов; деятельность человека здесь пока никакого влияния не имеет.

3. Высота выпадающих атмосферных осадков в среднем для всей равнины европейской территории СССР равна 484 мм, т. е. в 2,3 раза больше, чем поступление влаги с океанов. Следовательно, кубометр океанической воды, прежде чем вновь попасть в океан, выпадает на равнину в среднем 2,3 раза. Это возможно лишь при наличии испарения с материка, создающего так называемый внутренний, или материковый, круговорот воды. Поэтому, чем сильнее испарение с материка, тем большее число раз выпадает в виде атмосферных осадков продвигающаяся с северо-запада на юго-восток океаническая влага и тем дальше она продвигается на юг. Испарение воды с поверхности суши зависит в значительной степени от растительности и состояния поверхности; и то и другое находится под воздействием человека. Поэтому массовыми мероприятиями, присущими социалистическому государству, возможно существенно влиять на испарение, а следовательно, и на усиление внутреннего оборота влаги, т. е. на увеличение атмосферных осадков и на перемещение влаги внутри материка.

4. Производившиеся исследования влажности грунта под ле-

сом и на юге, в центре и на севере равнины СССР указывают на иссушение грунта лесом; наблюдения над стоком с малых бассейнов показывают меньший суммарный сток с лесного бассейна по сравнению с безлесным. Это приводит к выводу, что лесная площадь испаряет влаги больше, чем площадь безлесная.

5. Результаты исследований ряда лесогидрологов дают основания считать лес фактором, иссушающим путем транспирации непосредственно то место, на котором он произрастает. Это явление вполне положительно характеризует гидрологическое значение леса.

Испарение является фактором, вызывающим здесь же или в ином районе осадки. Быстрый оборот влаги увеличивает осадки и, наоборот, консервирование воды в грунте ослабляет влагооборот, снижает осадки.

6. Наблюдениями последних лет над стоком снеговых и дождевых вод с элементарных площадок и по логам подтверждается положение, что лесом создаются условия значительного поглощения грунтом снеговой воды и почти полного поглощения дождевых вод. Поглощаемая вода расходуется затем на испарение и на грунтовый сток. Большая часть грунтового стока идет по верхним почвенным горизонтам и выклинивается в ближайших логах, образуя по ним значительный наружный сток. При этом продвижение воды внутри верхних горизонтов почвы до логов происходит быстро — за 3—4 дня, и запаздывание стока с лесных площадей происходит в большей мере из-за запаздывания снеготаяния, а не от движения воды внутри почвогрунта.

7. Доказанная наблюдениями задержка в таянии снега в сосновом лесу на 15 суток по сравнению с полем, в еловом лесу на 25 суток, в лиственном на 5 суток имеет чрезвычайно важное значение в формировании весеннего паводка. На полностью облесенном бассейне реки снеготаяние идет одновременно по всему бассейну и притом интенсивно, чем создается большой паводок, несколько смягчаемый поглощением снеговой воды грунтом и ее расходом затем на испарение и на внутрипочвенный сток.

При наличии на бассейне реки лесных и открытых площадей таяние снега на бассейне происходит одновременно, и период таяния снега удлинится вдвое. Этим создается удлинение срока прохода снеговой воды, уменьшение высоты паводка и увеличение летней межени; при этом, если облесенные площади занимают верхние части водосбора реки, растяжение периода прохода весенних вод по реке проявляется в наибольшей мере.

Если вся водосборная площадь реки безлесна, то таяние снега происходит одновременно на всей площади, поглощение воды грунтом сравнительно невелико и этим создаются условия наибольшего весеннего паводка.

8. Частичная вырубка леса, т. е. вырубка на незначительной площади водосбора, уменьшает испарение непосредственно с этой площади без уменьшения выпадения атмосферных осадков на

ней; это вызывает местный подъем грунтовой воды и местное увеличение стока, в том числе, логически, и грунтового. Это явление особенно сильно должно выявляться на песчаных грунтах, испарение с поверхности которых слабее, чем с прочих поверхностей. Уменьшение испарения с небольшой площади, сильно отражаясь на этой площади, не может заметно влиять на режим района. Но если вырубка леса захватывает большой район, то создающееся ослабление испарения нарушает второе звено круговорота влаги — осадки над этим же районом и за его пределами.

9. Материал точных наблюдений с 1880-х годов по всем судоходным рекам европейской территории СССР показал, что наибольшие весенние модули стока имеют реки Севера с весьма облесенным водосбором: Мезень, Пинега, Вага, Вычегда, Юг. Наименьшие модули весеннего стока имеют средние облесенные реки: Молога, Шексна, Унжа, Ветлуга, Вятка, Березина, Клязьма и др. (см. главу III). Это существеннейшее обстоятельство еще мало осознано среди гидрологов и мало известно лесоведам.

10. Планированием распределения рубок по площади бассейна реки и созданием лесокультурными мероприятиями наибольшего задержания таяния снегов в лесу можно добиться наибольшего растяжения периода стока весенних вод с приближением этого периода к межennomу времени.

11. Уменьшение лесистости полностью лесного бассейна реки удлиняет периоды стока и уменьшает пик паводка, т. е. благоприятно для режима реки; затем, по достижении еще не выясненной степени облесенности (возможно, около 50%), дальнейшая вырубка увеличивает пик весеннего паводка и сокращает период паводка, т. е. становится неблагоприятной. Пока еще на гидрометрических материалах нельзя проследить общей тенденции к увеличению паводка на реках в связи с вырубкой леса; в одних условиях вырубка ведет к ослаблению паводка, в других — к его усилению.

12. Река Неман, по материалам 120-летних наблюдений, показывает все признаки усиленной вырубки леса ниже предела благоприятного процента лесистости: паводки увеличивались, межени снижались, наступление летних минимумов происходило на целый месяц раньше, суммарный годовой сток увеличивался.

По реке Каме летние минимумы снижались настолько, что это отразилось на всей Нижней Волге за последние 35 или 45 лет.

Летние минимумы существенно снизились на реке-Москве, причем особенно резко снижение началось после 1910 г., но, наряду с этим, оказывается, нельзя сказать об увеличении максимумов на реке-Москве.

На Днепре, Дону, Северной Двине, Волге до впадения Камы гидрометрические наблюдения с 1880 г. не обнаруживают какой-либо односторонней тенденции в изменении гидрологического режима.

13. Регулирование стока основных судоходных артерий Волги, Камы, Днепра осуществляется в наше время гидротехническими сооружениями, создающими огромные резервуары: Ивановский, Угличский, Молого-Шекснинский, Куйбышевский, Свирский и др. Поэтому влияние леса на эти основные речные артерии ослабляется, но все же остается влияние в отношении весеннего паводка; растяжение периода снеготаяния будет облегчать пропуск излишков весенней воды.

14. Остается в полной силе значение планирования и техники ведения лесного хозяйства на бассейнах судоходно-сплавных рек второго порядка. Концентрация леса в верхней части водосбора рек второго порядка удлинит период навигации на них и ослабит напряженный пропуск весенней воды через плотины на Волге, Каме и Днепре.

Предусматриваемое постановлением XVIII съезда ВКП(б) развертывание строительства небольших местных гидростанций усиливает значение леса как водорегулирующего фактора; именно наличие леса в верхней части водосбора резко снижает опасный для малых гидростанций весенний паводок.

15. Осуществление лесоводственных мероприятий по усилению оборота влаги, т. е. по увеличению транспирационного испарения, по увеличению выпадения атмосферных осадков на юго-востоке, при массовом плановом выполнении их в условиях социалистического государства, содействует важнейшей задаче — созданию условий высоких и устойчивых урожаев зерна в зоне ныне недостаточного увлажнения.

16. Разведение леса в засушливых пустынных районах, например на Арало-Каспийских песках, является нарушением чрезвычайно слабого там внутреннего влагооборота. Разведение леса увеличит испарение застойной в песках грунтовой воды; этим самым увеличатся влажность и выпадение осадков; те же 120 мм ныне выпадающих и консервирующихся в песках осадков обернутся большее число раз, оживляя пустыню. Более того, вполне возможно, что увеличение влажности воздуха над Арало-Каспийской низменностью вызовет выпадение осадков из проносимых над низменностью воздушными течениями паров воды с Каспийского моря к Алтайским горам.

17. От гидрологического режима рек необходимо отличать русловый режим рек, выражающийся в деформации речного русла; деформация речного русла создается отложением приносимых в реки частиц грунта, смываемых с поверхности бассейна и вымываемых из промоин и действующих оврагов. Нерациональное сведение леса увеличивает смыв и размыв грунта.

ЛИТЕРАТУРА

Анри Э., Леса равнин и грунтовые воды (перев. П. Отоцкого), «Почвоведение», № 1, 1903.

Берг Л. С., Основы климатологии, 1938.

Буренков В. А., Кашеев А. Л., Мальчевская, Материалы по изучению процессов заболачивания сплошных лесосек в Лисинском лесном хозяйстве, «Труды лесотехнической академии», № 4, 1934.

Васильев И. С., Водный режим главнейших почвенных разностей Молого-Шекснинского междуречья, «Материалы по изучению Молого-Шекснинской низины», АН СССР, 1937.

Вейнберг Я., Лес, значение его в природе и меры к сохранению, 1884.

Воейков, Наблюдения в поле и лесу, «Метеорологический вестник», 1901, стр. 332.

Высоцкий Г. Н., О гидроклиматическом значении лесов для России, «Лесной журнал», № 1—2, 1911.

Высоцкий Г. Н., Об учреждении лесоводных станций, «Лесной журнал», 1913.

Высоцкий Г. Н., Лесо-водные очерки, 1924.

Высоцкий Г. Н., О взаимных соотношениях между растительностью и влагой, 1904.

Высоцкий Г. Н., Материалы по изучению водоохранной и водорегулирующей роли лесов и болот, «Материалы конференции НКЛеса», 1935.

Высоцкий Г. Н., Водоразделы и увлажнение степей, 1937.

Высоцкий Г. Н., Материалы по изучению водоохранной и водорегулирующей роли лесов и болот, 1937.

Высоцкий Г. Н., О гидрологическом и метеорологическом влиянии лесов, 1938.

Гаврилов Б. И., Специализированные хозяйства в сосновых лесах водоохранной зоны, «В защиту леса», № 1, 1938.

Гаркавый С. А., Вопросы водного режима на культивируемых болотах, Сборник Всесоюзного научно-исследовательского института болотного хозяйства, 1935.

Горшенин Н. М., Полезащитные лесные полосы, Итоги работ Научно-исследовательского института агролесомелиорации, ч. I, 1938.

Гулисашвили В. З. и Стратонович А. И., Физические свойства лесных почв и их изменение под влиянием лесохозяйственных мероприятий, 1935.

✓ Давыдов А. В., Лес как фактор водного режима рек в равнинных условиях европейской части СССР, «Лесное хозяйство», № 12, 1940; № 1, 1941.

Доктуровский В. С., Торфяные болота, 1932.

Дубах А. Д., Материалы по вопросам прудовой техники, 1928.

Дубах А. Д., Влияние леса на речной сток, «Лесное хозяйство и лесоэксплуатация», 1934.

Дубах А. Д., Сток с речных бассейнов и вырубка леса, «Лесное хозяйство и лесозаготовка», 1935.

Дубах А. Д., Очерки по гидрологии болот, 1936.

Дубах А. Д., Сток воды с лесо-болотного водосбора р. Онцы в Сиверском лесном хозяйстве, Сборник Центрального научно-исследовательского института лесного хозяйства, 1936.

Дубах А. Д., Материал к изучению динамики грунтовых вод в лесу и влияния их на рост леса, Сборник Центрального научно-исследовательского института лесного хозяйства, «Повышение производительности лесных земель посредством осушительной мелиорации», 1936.

Дубах А. Д., Влияние размещения леса по водосбору реки на весенние паводки, «Метеорология и гидрология», № 9, 1936.

Дубах А. Д., Сток и испарение с малого лесо-болотного водосбора, «Метеорология и гидрология», № 7, 1938.

Дубах А. Д., Водорегулирующее размещение леса по бассейну реки, «В защиту леса», № 6, 1938.

Ефимович П. А., Вопросы водохозяйственных расчетов и гидрологии, 1936.

Зайков Б. Д. и Беликов С. Ю., Средний многолетний сток рек СССР, «Труды Государственного гидрологического института», 1937.

Иванов Л. А., О водном режиме древесных пород зимою, «Известия лесного института», вып. XXXII, 1925.

Иванов Л. А., Физиология растений, 1938.

Касаткин И. И., Новый метод изучения влагооборота по данным дождемерных станций, 1931.

Касаткин И. И., Круговорот воды на материках, 1932.

Качинский Н. А., Замерзание, разморозание и влажность почвы в зимний сезон в лесу и на полевых участках, 1927.

Кожанов К. Я., Испарение растительностью и поверхностью торфяной почвы, «Метеорология и гидрология», № 6, 1936.

Колупайло С. И., Учет стока р. Немана за 1812—1932 гг., IV гидрологическая конференция Балтийских стран, 1933.

Кочерин Д. И., Вопросы инженерной гидрологии, 1932.

Кузин П. С., График испарения с поверхности речного бассейна, «Записки Государственного гидрологического института», т. XII, 1934.

Лебедев А. Ф., Почвенные и грунтовые воды, 1931.

Летковский А. И., Промерзаемость почв и ее влияние на весенний сток поверхностных вод, «Лесное хозяйство», № 3, 1939.

Лопатин Г. В., Сток реки Волги у Самары, вып. Государственного гидрологического института, «Исследование рек», № 1, 1936.

Лохов В. П., Водоудерживающая способность насаждения на ливне, «В защиту леса», № 4, 1938.

Львович М. И., Опыт классификации рек СССР, «Труды Государственного гидрологического института», вып. 6, 1938.

Любославский Г. А., Некоторые мысли и цифры относительно влияния леса на влажность воздуха, Сборник статей по лесному хозяйству, 1916.

Морозов Г. Ф., Учение о лесе, 1912.

Морозов Г. Ф., Очерки по возобновлению сосны, 1930.

Морозов Г. Ф., К вопросу о влажности лесной почвы, «Почвоведение», № 1, 3, 1901; № 2, 1900.

Мурашов С. И., Снеговой режим в хвойных лесах подмосковных районов, «В защиту леса», № 1, 1938.

Небольсин С. И. и Надеев П. П., Элементарный поверхностный сток, 1937.

Нестеров Н. С., Леса и наводнения, «Лесопромышленный вестник», № 4, 1909.

Нестеров Н. С., Очерки по лесоведению, 1933.

- Никитин, Бассейн Днепра, «Труды экспедиции для исследования источников главных рек Европейской России», 1896.
- Оболенский В. Н., Метеорология, 1939.
- Огневский А. В., Влияние леса на весенние максимальные расходы воды в реках, «Метеорология и гидрология», № 3, 1937.
- Оппоков Е. В., Вопрос об обмелении рек в его современном и прошлом состоянии, 1900.
- Орлов М. М., Лесная вспомогательная книжка, 1926.
- Отоцкий П. В., Грунтовые воды, их происхождение, жизнь и распределение, 1905.
- Охлябинин С. Д., Снежный покров в Бузулукском бору зимою 1901—1902 гг., «Труды опытных лесничеств», ч. II, СПб, 1904.
- Охлябинин С. Д., К вопросу о влиянии леса на климат, Сборник статей по метеорологии, «Записки русского географического общества», т. X, VII (47), 1911.
- Писарев С. А. и Сергеевич Н. П., Режим стока реки Волги и ее главнейших притоков, Главгидроэнергострой, 1936.
- Поляков Б. В., Сток в бассейне реки Дона, «Записки Государственного гидрологического института», т. XII, 1934.
- Поляков Б. В., Гидрологические исследования Нижней Волги, 1938.
- Прокопенко К. И., Статья в сборнике «Исследования по лесоводству», Сельколхозгиз, 1931.
- Родников Н. В., О водоохранных свойствах ельников, «В защиту леса», № 3, 1938.
- Рудовиц А. Ф., К истории вопроса «О влиянии леса на климат», Сборник статей по лесному хозяйству, 1916.
- Рутковский В. И., Обоснование лесохозяйственных мероприятий по усилению защитных и водоохранных свойств леса, Гослесбумиздат, 1948.
- Соколовский Д. Л., Нормы максимального стока весенних паводков рек СССР, 1937.
- Сочеванов В. Е., Конденсация в песках Прикаспийской низменности, Сборник Государственного гидрологического института, № 1, 1938.
- Спенглер О. А., Экспериментальное изучение влияния интенсивности снеготаяния на формирование весеннего паводка, 1938.
- Справочник по водным ресурсам СССР. Северный край, 1934; Донской район, 1936; Среднее Поволжье, 1935.
- Сукачев В. Н., Болота, их образование, развитие и свойства, 1925.
- Ткаченко М. Е., Водоохранный-защитное значение леса, «На лесокультурном фронте», № 1—3, 1932.
- Ткаченко М. Е., Общее лесоводство, 1939.
- Тольский А. П., К вопросу о влиянии леса на высоту почвенной воды, «Почвоведение», № 4, 1902.
- Тольский А. П., Наблюдения над снежным покровом зимою 1901—1902 гг. при Парфинской лесной даче, «Известия СПб лесного института», вып. 9, 1903.
- «Труды по лесному опытному делу в России», статьи Тюрнана и Сулковского, 1914.
- Хамберг, Влияние лесов на климат Швеции, перев. на русск. яз. изд. 1894 г., подлинник — 1885.
- Харитонов Г. А., Влияние лиственных насаждений на снегонакопление, «Лесное хозяйство», № 2/8, 1938.
- Хромов С. П., Введение в синоптический анализ, 1937.
- Шпейер В., Изыскание мероприятий против наводнений в г. Москве, 1910.
- Целлариус С., Описание почвенных и грунтовых разрезов в Охтенской даче, 1910.
- Чирбинский П. К., Снег и снегозадержание, 1932.

✓ Эйтинген Г. Р., Снежный покров в лесу и в поле, «Лесное хозяйство», № 2, 1939.

✓ Эйтинген Г. Р., Задержание осадков пологом леса, «Лесное хозяйство», № 10, 1938.

Энгельс Ф., Роль труда в процессе очеловечения обезьян, *Партиздат ЦК ВКП(б), 1935.

Яшнов Л. И., Краткий курс лесоведения и лесоводства, 1929.

Климатологический справочник по СССР, изд. Государственного гидрологического общества под руководством А. А. Каминского и Е. С. Рубинштейн, 1932

Редактор Н. П. Елпатьевский

Технический редактор Л. К. Кудрявцева

Л-100578 Сдано в производство 30/VI 1950 г. Подписано к печати 4/IV 1951 г.
Бумага 60×92¹/₁₆. Печ. л. 10. Уч.-изд. л. 10,95. Знак. в печ. л. 43.800.
Тираж 4000 экз. Цена 4 руб. 95 коп. Зак. № 2509

Москва, Гослесбуиздат

Типография № 2 Управления издательств и полиграфии Исполкома
Ленгорсовета. Ленинград, Социалистическая, 14

