

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ  
И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

О.И.Крестовский

Влияние вырубок  
и восстановления лесов  
на водность рек



Гидрометеоиздат  
Ленинград  
1986



Рецензенты: канд. геогр. наук В. В. Куприянов (ГГИ),  
канд. физ.-мат. наук Г. В. Менжулин (ГГИ)

Отв. ред. д-р геогр. наук, проф. А. А. Соколов

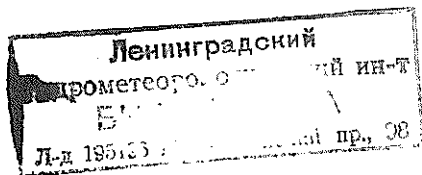
В монографии дается оценка влияния рубок и последующего восстановления леса на элементы водного баланса и сток рек лесной зоны Европейской территории СССР. Рассматриваются по десятилетиям эволюция видового состава леса, испарения и стока в реки с зарастающих лесом участков. Предлагаются модели изменений суммарного годового испарения, а также годового, весеннего и межлетнего стока под влиянием изменения структуры лесов. Анализируются результаты расчета изменений водности рек ряда административных областей ЕТС под влиянием сложившейся и прогнозируемой структуры лесов.

Предназначена для гидрологов и специалистов водного хозяйства, лесоводов и географов.

O. I. Krestovsky's work "The impact of forest cutting and regeneration on river water content" gives the estimation of the impact of cutting and subsequent regeneration of forest on water budget components and river flow in forested zone of the European USSR. Evolution of forest type, evaporation and inflow to rivers from forested areas is considered according to decades. The models of change of annual evapotranspiration, annual spring and low water flow under the influence of forest structure are proposed. The results of computation of water content change in some administrative areas of the European USSR under the influence of present and forecasted structure are analysed.

The publication will prove the value to hydrologists and to specialists in geography and in water and forest management.

659055



К 1903030200-015  
069(02)-86 6-86(1)

© Государственный гидрологический институт (ГГИ), 1986 г.

## От редактора

О гидрологической роли леса, влиянии его вырубки на водоносность рек написано так много, что, по образному выражению известного лесоведа Г. Н. Высоцкого, «...не хватило бы жизни, чтобы прочесть все написанное по этому вопросу». Тем не менее интерес к этой проблеме не ослабевает, а наоборот, по мере оскудения лесных богатств все возрастает. Объясняется это ее большой практической важностью для выбора и обоснования стратегии использования лесного фонда с соблюдением при этом интересов водного хозяйства и охраны окружающей среды.

В научном отношении изучение гидрологической роли леса представляет большую сложность. При этом необходимо учитывать многообразные, необычайно запутанные взаимосвязи в природе, в которой лесу принадлежит немаловажная роль регулятора водного баланса: осадков, испарения, стока и водообмена между поверхностными и подземными водами.

Именно исключительной сложностью и все еще недостаточной изученностью этих взаимосвязей объясняется тот неприятный для науки факт, что, несмотря на многолетние исследования, в которых принимали участие многие выдающиеся ученые, проблема гидрологической роли леса до сих пор не имеет обоснованного решения и не может считаться исчерпанной.

При изучении влияния леса на водоносность рек, как известно, широкое распространение получил метод прямого сопоставления, или статистической корреляции стока рек со степенью залесенности их бассейнов. Как неоднократно отмечалось, этот метод обладает тем существенным недостатком, что исходит из представления о труднодоказуемом равенстве (или небольшом различии) «прочих» условий стока (кроме леса). Еще более крупным недостатком этого метода является использование при этом абстрактного понятия «лес» без указания, о каком именно лесе идет речь. Гидрологическая роль леса, однако, зависит не только от «степени залесенности» бассейна, но и от характера леса. Выводы, полученные с помощью метода сравнений, поэтому весьма противоречивы. По данным одних ученых, пользовавшихся в своих исследованиях этим методом (в разных вариантах), лес увеличивает сток, по данным других — уменьшает или влияет по-разному в разных районах (в одних увеличивает, в других уменьшает).

Исследование О. И. Крестовского, посвятившего много лет изучению водного баланса непосредственно в природе и предпринявшего попытку по-новому подойти к изучению гидрологической роли леса, несомненно, заслуживает серьезного внимания. Автор отказался от прямого применения для этой цели уже неоднократно использовавшихся данных по стоку парных бассейнов с разной степенью залесенности, в том числе и по стоку логов

и стоковых площадок воднобалансовых станций, на которые еще недавно возлагались большие надежды. Решение проблемы он видит в изучении, казалось бы, наиболее трудноопределимого элемента водного баланса леса — испарения, вернее, суммарного водопотребления леса. Полагая количество атмосферных осадков на лесных участках в пределах десятилетних отрезков времени более или менее стабильными, Крестовский определяет водоотдачу с них по разности осадков и суммарного водопотребления леса. Под последним он понимает испарение под пологом леса, транспирацию древостоем и испарение осадков, задержанных кронами деревьев. Такой подход позволил ему проследить изменение «водопотребления» и «водоотдачи», т. е. суммарного стока, для разных типов лесных насаждений, после вырубki леса и по мере его естественного или искусственного возобновления.

Важнейший вывод, к которому пришел автор, заключается в том, что гидрологическая роль леса проявляется значительно более сложно, чем это представлялось до сих пор. Она зависит от возраста леса, его видового состава и полноты. При этом автор не просто декларировал эту в общем-то известную мысль, но, и это главное, показал конкретно, как именно меняются соотношения «водопотребления» и «водоотдачи» леса на разных фазах его развития. Так, сразу после вырубki леса «водопотребление» с вырубленных участков резко уменьшается, что приводит к увеличению «водоотдачи». Затем, по мере восстановления леса, к 40—60 годам, водопотребление леса достигает своего максимума и водоотдача с лесного участка становится ниже зональной нормы. К своему зрелому возрасту лес, как и всякий живой организм, вновь уменьшает водопотребление и его водоотдача приближается к первоначальной (до вырубki) зональной норме.

В целом такой вывод представляется вполне логичным и обоснованным. Он близок к выводам известного лесовода А. А. Молчанова, касающимся изменения суммарного испарения по мере увеличения возраста леса. Нельзя, однако, полностью согласиться с автором, когда выводы о гидрологической роли леса, полученные для условно принятого «крупного» лесного участка, в пределах которого, по его мнению, имеет место замкнутый водный баланс, он распространяет на речной бассейн. Представляется, что в речном бассейне механизм влияния леса на суммарный сток (а не водоотдачу) несколько иной: рост леса, возможно, влияет на изменение условий дренирования и подземного стока. Этого предлагаемая автором схема не учитывает в должной мере.

Несмотря на приведенные замечания, работа О. И. Крестовского является существенным вкладом в решение проблемы гидрологической роли леса и, надо полагать, будет весьма полезной при оценке изменения водности рек в связи с проведением лесохозяйственных мероприятий. Она послужит также новым стимулом для расширения и углубления экспериментальных исследований в этой области.

А. А. Соколов

## Предисловие

В связи с интенсивным преобразованием естественных природных ландшафтов особенно остро стоит проблема оценки изменений водного режима и состояния водных ресурсов в настоящее время и в будущем.

Одним из массовых видов хозяйственной деятельности, охватывающей большие территории, является заготовка древесины, т. е. вырубка лесов с последующим их восстановлением.

Вопросу оценки влияния последствий вырубки и восстановления лесов на водный баланс и сток, а также учету этого влияния в практике гидрологических расчетов и прогнозов посвящено основное содержание книги. При этом рассматриваются типы возобновления лесов и их структурные изменения в разных фазах развития леса, что определяет изменения водного баланса вырубленных участков.

До недавнего времени в научной литературе не отводилось должного внимания влиянию на годовой сток леса различного возраста его полноты и видового состава. Недоучет этого, а также характера почво-грунтов, на которых произрастает лес, породил ряд противоречивых выводов о влиянии леса на годовой сток и его внутригодовое распределение. Известно, однако, что в большинстве лесных районов Европейской территории СССР современный лес уже не тот, что был 100 и даже 50 лет назад. Лес, так сказать, помолодел и видовой состав его изменился, что побудило автора вновь обратиться к проблеме гидрологической роли леса для того, чтобы разобраться в сложном многообразии влияния лесов, их вырубки и восстановления на водный режим рек. При этом автором использован свой 30-летний опыт экспериментальных воднобалансовых исследований в лесах и полях лесной зоны Европейской территории СССР (ЕТС).

Автор не претендует на полноту изложения затронутых в книге вопросов, а также на завершенность полученных решений, но считает, что сумел показать неоднозначное влияние лесов разного возраста на изменение стока, поступающего в речную сеть, и создать общедоступную методику для оценки этого явления на водосборах южной и средней таежных подзон ЕТС. При этом принималось, что из всех видов хозяйственной деятельности в бассейне, изменяющих условия стока талых и дождевых вод, в лесных районах вырубка и возобновление лесов оказывают наиболее существенное влияние на изменение водного баланса и режима стока.

Автор выражает свою искреннюю благодарность д-ру геогр. наук И. А. Шикломанову и канд. геогр. наук В. В. Куприянову за ценные замечания и пожелания, высказанные в процессе работы над книгой, а также А. Г. Сергеевой и А. В. Батуевой — своим бесценным помощникам в хождении по лесам, обобщению результатов исследований и подготовке настоящей книги.

# 1. Введение

Известно, что вследствие рубок леса изменяется возрастной и видовой состав древостоев, их продуктивность, вид и густота напочвенного покрова, т. е. на протяжении векового периода роста нового леса непрерывно меняется весь комплекс лесных биогеоценозов. В результате также непрерывно изменяется и соотношение основных элементов водного баланса лесного участка — суммарное испарение и сток. Что касается осадков, выпадающих над лесом, то они, по-видимому, не претерпевают сколько-нибудь значительных изменений.

В работе дается оценка возможного изменения годового, весеннего и межлетнего стока с крупных лесных площадей под влиянием вырубki и последующего восстановления лесов в южной и средней таежной подзоне равнинной части Европейской территории Советского Союза (ЕТС). Оценка выполнена исходя из средних многолетних климатических условий рассматриваемой территории и незначительной их изменчивости по десятилетиям.

На возможность неоднозначного влияния леса на испарение по мере его роста указывалось в исследованиях А. А. Молчанова, М. И. Львовича, А. М. Алпатьева, Г. Ф. Хильми, С. Ф. Федорова. В последнее время (1979—1983 гг.) среди ряда советских ученых [8, 9, 15, 40—43, 48, 72, 77, 85, 86] делается попытка количественно оценить это влияние. Отмечается, что на определенной стадии развития леса возможно как снижение испарения на 5—10 %, так и, наоборот, его увеличение на 10—20 % по отношению к спелому лесу. Уменьшение испарения должно иметь место на вырубленных участках и в перестойных (старых) лесах, а увеличение — в молодняках и средневозрастных лесах. К такому же выводу, в частности, пришел в свое время и А. А. Молчанов (1960—1963 гг.). Однако оценки влияния возрастной и видовой структуры лесов на сток рек и его внутригодовое распределение им не дано.

Настоящая работа основана на обобщении исследований советских ученых (гидрологов, физиологов леса, лесоводов и лесомелиораторов), а также многолетних экспериментальных данных Государственного гидрологического института (ГГИ) по водному балансу различных водосборов и лесных комплексов. В частности, под руководством автора в 1973—1980 гг. проводились детальные воднобалансовые исследования в бассейне р. Вятки на открытых и залесенных водосборах и участках леса разного возраста, полноты и вида насаждений, а также на вырубках. Результаты этих исследований частично опубликованы [36—43]. В настоящее время такие исследования продолжаются в Вологодской области.

Вопрос о влиянии лесов на водность рек особенно остро возник в России в 70-х годах прошлого века, когда происходила особенно интенсивная их рубка. Со времени работы экспедиции для «Исследования источников главнейших рек Европейской России»

[27] и по настоящее время выполнены многочисленные исследования для выяснения гидрологической роли леса и оценки влияния вырубок на водность рек. История этого вопроса весьма полно изложена в книге А. А. Соколова [77].

Как справедливо указывает Соколов, выводы, полученные в результате исследований, часто носят противоречивый характер. При внимательном анализе, опираясь на современный уровень знаний, можно сделать заключение о том, что противоречивость выполненных ранее исследований в той или иной мере объясняется недоучетом различий увлажненности периода, в течение которого выполнялись исследования, возраста и видового состава леса, его продуктивности, состава почво-грунтов, глубины залегания грунтовых вод и др. Особо следует отметить отсутствие в гидрологических исследованиях учета в прошлом различий водопотребления лесов разного возраста, а также почвенно-гидрогеологических условий. Поэтому при экспериментальных исследованиях и статистических обобщениях часто сопоставлялись физически неоднородные бассейны, отличающиеся по степени лесистости.

Сложность установления влияния леса на водность рек усугубляется циклическими колебаниями климата, хозяйственной деятельностью на водосборах и непрерывным существенным изменением площадей, занятых лесами и полями с 1880 г., когда начались массовые наблюдения за стоком главных рек, по настоящее время. Кроме того, в бассейнах рек качественно менялась структура лесов — уменьшался возраст древостоев и увеличивались площади под лиственными и смешанными породами леса. Поэтому автор не счел возможным применить традиционные методы сравнения стока с речных водосборов разной залесенности и лишь частично использовал результаты экспериментальных исследований стока с небольших водосборов и площадок, где лес вырубался или насаждался. Следует отметить, что экспериментальные исследования (в организации некоторых принимал участие и автор) имеют ряд недостатков. Главными из них являются: неполное дренирование подземного стока, особенно руслами лесных водосборов; несоответствие окружающего фона экспериментальным лесам и полям (лесонасаждения, как правило, находятся среди полей, а созданное поле-поляна располагается среди леса), вследствие чего имеет место дополнительный приток (адвекция) тепла и влаги; несоблюдение в ряде экспериментов равенства почвенно-гидрологических условий и отсутствие лесотаксометрических характеристик; отсутствие длительных (многие десятки лет) рядов сравнительных наблюдений. В связи с указанным большинство экспериментов позволяет судить лишь об изменениях поверхностной составляющей суммарного стока.

Представляя всю трудность определения влияния леса, его вырубки и возобновления на сток в реках, автор стремился подойти к решению этой задачи путем рассмотрения водного баланса разновозрастных лесов.

Применение метода водного баланса требует измерения всех его элементов или надежного расчета трудно определяемых его составляющих. Для замкнутого участка местности применительно к сезону или отдельному году уравнение водного баланса имеет вид

$$x = E + Y + \Delta W + \Delta U_{гр} + \Delta V + \Delta S, \quad (1.1)$$

где  $x$  — осадки (исправленные на все виды недоучета осадкомерными приборами);

$E$  — суммарное испарение лесного комплекса

$$E = E_{тр} + E_{п} + E_{ос}, \quad (1.2)$$

включающее транспирацию влаги зеленой массой (фитомассой) древостоя  $E_{тр}$ , испарение под пологом леса  $E_{п}$  с почвы и напочвенной растительности с учетом подроста древостоя, испарение осадков  $E_{ос}$ , задержанных кронами деревьев;

$Y$  — суммарный сток

$$Y = Y_{пов} + Y_{под} + Y_{ф}, \quad (1.3)$$

слагающийся из поверхностного (склонового) стока  $Y_{пов}$ , подземного стока  $Y_{под}$  всех водоносных горизонтов, включая верховодку,  $Y_{ф}$  — фильтрационный отток в глубокие водоносные горизонты, дренируемые руслами крупных рек;  $\Delta W$ ,  $\Delta U_{гр}$  и  $\Delta V$  — соответственно изменение запасов влаги: в почво-грунтах зоны аэрации, в подземных (грунтовых) и болотных водах, на поверхности участка (водосбора) в водоемах и руслах рек;  $\Delta S$  — изменение твердых запасов воды: в снежном покрове, во льду на почве и в наледях за расчетный сезон; для периода весеннего половодья  $\Delta S$  переносится в левую часть уравнения.

Изменение запасов воды вычисляется как разность между их значениями на конец и начало сезона, при этом знак плюс указывает на увеличение, а минус — на уменьшение запасов за расчетный период. Все элементы уравнения приводятся в миллиметрах слоя воды относительно изучаемой площади (участка, водосбора, территории).

Для многолетнего периода (10 лет и более) значения элементов, обозначенные  $\Delta$ , приближаются к нулю и уравнение баланса влаги можно представить в виде

$$\bar{x} = \bar{E} + \bar{Y}. \quad (1.4)$$

Вопросы организации наблюдений и методики расчетов элементов водного баланса подробно изложены в специальных изданиях [53, 54, 84], а также в ряде руководств и пособий [12, 19, 52, 74 и др.] и поэтому здесь не рассматриваются. Отметим только, что суммарный сток с небольшого замкнутого участка местности (вырубка, эталонный массив леса, водосбор лога или небольшого ручья) непосредственно измерить трудно, в связи с чем он вычисляется по приведенным выше уравнениям водного баланса.



Значения  $E_{\text{тр}}$  обычно определяются по водному балансу экспериментальных объектов или рассчитываются по уравнениям теплового баланса, по связям с испаряемостью, а также по данным о биологической продуктивности древостоя. Значения  $E_{\text{п}}$  измеряются с помощью различных испарителей и лизиметров, а  $E_{\text{ос}}$  — осадкомерных приборов. Методика определения  $E_{\text{тр}}$ ,  $E_{\text{п}}$  и  $E_{\text{ос}}$  подробно изложена С. Ф. Федоровым [84].

По данным экспериментальных воднобалансовых исследований определялись региональные значения  $x$ ,  $S$ ,  $Y$ ,  $E$ , включая  $E_{\text{тр}}$ ,  $E_{\text{п}}$  и  $E_{\text{ос}}$ , а также их соотношения для различных элементов лесного комплекса и сельскохозяйственных угодий. При обобщении материалов нами использовались отношения между частными значениями измеренных или вычисленных элементов водного баланса ( $x$ ,  $E$ ,  $E_{\text{тр}}$ ,  $E_{\text{п}}$ ,  $E_{\text{ос}}$ ,  $Y$ ) исследуемых разновидностей ( $N$ ) лесных комплексов к региональным их значениям, вычисленным для лесных массивов и речных водосборов за годы экспериментальных наблюдений. Такие соотношения величин, например:

$$K_{EN} = E_N/E_{\text{мас}}, \quad K_{E_{\text{тр}}N} = E_{\text{тр}N}/E_{\text{мас}},$$

$$K_{YN} = Y_N/Y_{\text{мас}}, \quad (1.5)$$

по сравнению со значениями элементов меняются значительно меньше от года к году, что позволяет за короткий ряд экспериментальных наблюдений вполне надежно определить средние значения коэффициентов  $K_{EN}$ ,  $K_{E_{\text{тр}}N}$ , ...,  $K_{YN}$ . Обобщение подобных коэффициентов, полученных по разным районам лесной зоны, позволило установить территориально общие соотношения или зависимости водопотребления и стока для лесов разного вида и возраста, включая и начальную их фазу развития на вырубках. При этом сделано допущение о том, что найденные средние соотношения можно использовать для средних многолетних климатических условий подзон средней и южной тайги ЕТС, т. е. коэффициенты  $K_{EN}$ , ...,  $K_{YN}$  могут служить основой для оценки влияния структуры лесов на сток рек этих подзон.

В настоящее время в лесах рассматриваемого района распространены следующие виды хозяйственной деятельности, в разной степени влияющей на элементы водного баланса:

1) заготовка древесины, т. е. рубка леса с последующим его возобновлением, включая лесные посадки;

2) посадка леса на пустошах, гарях и других безлесных участках; сюда же можно отнести и естественное зарастание лесом малопродуктивных и мелкоконтурных сельскохозяйственных угодий;

3) рубки ухода за лесом с изменением возрастного и видового состава древостоев, включая и применение химических веществ;

4) осушение избыточно-увлажненных лесных участков;

5) вырубка леса с последующим превращением лесных площадей в сельскохозяйственные угодья, промышленные и населенные пункты;

6) создание водохранилищ и прудов.

Наиболее крупным (по своим масштабам) вмешательством человека в исторически сложившееся равновесное состояние естественной среды в лесной зоне представляют рубки и последующее восстановление лесов. При этом происходит резкое омоложение леса, надолго изменяется видовой состав древостоя и напочвенного покрова, резко уменьшается, потом интенсивно нарастает, а затем постепенно снижается годичный прирост древесины и суммарный объем транспирирующей зеленой массы леса.

Аналогичные изменения претерпевают в течение многих десятков лет лесные угодья при посадке леса, рубках ухода, осушений. Однако эти мероприятия производятся пока что на незначительных площадях (по отношению к лесному фонду) и их влияние на сток рек вряд ли сейчас превышает 1—2%. Поэтому в настоящей книге основное внимание обращено на последствия рубок и восстановления лесов на водность средних и крупных рек лесной зоны ЕТС.

## 2. Изменение лесных биогеоценозов при восстановлении лесов после рубки в подзонах южной и средней тайги ЕТС

Хозяйственные мероприятия в лесах влияют в разной степени на изменение лесных биогеоценозов и связанное с ним изменение суммарного водопотребления лесных комплексов. При возобновлении леса изменение биогеоценозов в первое десятилетие происходит очень интенсивно, наблюдается трех-четырёхкратная смена напочвенной растительности. Затем процессы смены биогеоценозов замедляются и уже с 30-летнего возраста нового леса заметные изменения в растительном покрове происходят в масштабе десятилетий. В фазе старого леса показатели биогеоценозов почти не меняются.

Знание закономерностей смены лесных биогеоценозов позволяет подойти к оценке изменений во времени структуры водного баланса лесных участков и территорий.

### 2.1. Изменение лесистости территории и возраста леса

Изменение лесистости территории означает не только количественное уменьшение или увеличение площади лесов, но и каче-

ственное изменение их структуры. Уменьшение лесистости происходило ранее в основном за счет сведения старого леса, а увеличение — за счет нарастания молодого леса и кустарников.

Интенсивное уменьшение лесных площадей на Европейской территории СССР наблюдалось в период с 1870 по 1920 г., затем наступил период увеличения лесистости территорий, особенно с 50-х годов, продолжающийся и по настоящее время. Весьма полные данные по изменению лесистости губерний Европейской России с конца XVII столетия по 1914 г. приводятся М. А. Цветковым [90]; в работах [11, 29, 82, 91] освещена динамика лес-

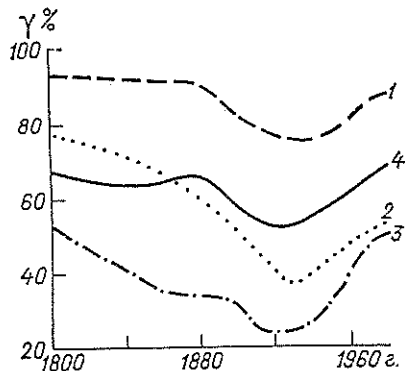


Рис. 2.1. Изменение лесистости ряда областей лесной зоны ЕТС за 1800—1980 гг.

Области: 1 — Вологодская, 2 — Кировская, 3 — Калининская, 4 — среднее взвешенное по семи областям (Псковская, Калининская, Ленинградская, Карельская АССР, Вологодская, Кировская, Пермская).

стости речных водосборов с 1860 по 1960—1972 гг. Наиболее полные сведения о лесистости водосборов малых и средних рек (с площадями до 50 тыс. км<sup>2</sup>) по состоянию на 1960—1968 гг. содержатся в справочнике [20].

Обобщая перечисленные данные и дополняя их сведениями, полученными по современным картам, можно представить изменение лесистости ряда областей ЕТС за 1800—1980 гг. (рис. 2.1) в виде табл. 2.1.

Таблица 2.1

Изменение лесистости областей (%) по десятилетиям

| Область                           | Площадь,<br>тыс. км <sup>2</sup> | Год  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                   |                                  | 1880 | 1890 | 1900 | 1910 | 1920 | 1930 | 1940 | 1950 | 1960 | 1970 | 1980 |
| Псковская                         | 55,3                             | 35   | 30   | 28   | 27   | 25   | 25   | 30   | 35   | 41   | 45   | 50   |
| Калининская                       | 84,2                             | 33   | 33   | 30   | 23   | 23   | 23   | 25   | 30   | 38   | 47   | 50   |
| Ленинградская                     | 85,9                             | 46   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 47   | 50   | 52   | 55   | 57   |
| Карельская АССР                   | 172,4                            | 80   | 75   | 70   | 67   | 64   | 65   | 68   | 70   | 73   | 75   | 78   |
| Вологодская                       | 145,7                            | 90   | 86   | 82   | 78   | 75   | 75   | 75   | 76   | 80   | 86   | 88   |
| Кировская                         | 120,7                            | 60   | 55   | 50   | 45   | 40   | 36   | 40   | 43   | 47   | 50   | 52   |
| Пермская                          | 160,7                            | 75   | 70   | 65   | 60   | 60   | 62   | 63   | 64   | 65   | 70   | 75   |
| Всего (средневзвешенные значения) | 824,9                            | 66   | 62   | 58   | 54   | 52   | 53   | 54   | 57   | 60   | 65   | 68   |

Для водосборов средних и особенно малых рек получить данные о изменении лесистости за прошедший 100-летний период весьма сложно, поэтому к настоящему времени такие сведения имеются лишь по отдельным водосборам, часть из которых представлена в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Лесистость водосборов некоторых рек лесной зоны ЕТС в XIX—XX веках  
[11, 20, 29, 82, 91]

| Река—пункт               | Площадь водосбора, км <sup>2</sup> | 1880 г. | 1900 г. | 1914 г. | 1927 г. | 1946 г. | 1960 г. | 1970 г. |
|--------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Вятка — Аркуль           | 96 900                             | 57      | —       | 40      | 36      | —       | 50      | 52      |
| Молога — Весьегонск      | 31 500                             | 43      | —       | —       | 26      | —       | —       | 53      |
| Волга — Калинин          | 24 900                             | 35      | —       | —       | 20      | —       | —       | 41      |
| Западная Двина — Витебск | 27 300                             | 60      | —       | 35      | 39      | 40      | 45      | 51      |
| Днепр — Речница          | 58 200                             | 41      | —       | —       | 24      | —       | 32      | 33      |
| Березина — Бобруйск      | 20 200                             | 50      | 40      | 36      | 28      | 32      | 40      | 54      |
| Птичь — Лучицы           | 8 770                              | 48      | 42      | 38      | 28      | 35      | 41      | 49      |

Резкое снижение, а затем нарастание лесистости происходило, как правило, в хорошо обжитых районах, в северных и северо-восточных районах лесистость изменялась незначительно. Уменьшение лесистости было связано с интенсивным освоением лесных площадей под сельскохозяйственные угодья (пашня, сенокосы, выпасы) в 1860—1910 гг., т. е. сразу после отмены крепостного права, а также в период расселения на хутора крестьян в соответствии со столыпинской аграрной реформой. Лес беспощадно вырубался, сваливался в кучи и сжигался. Затем земля распахивалась и засеивалась. Участки с «бедными» почвами (супеси, пески, мощные подзолы) использовались в дальнейшем под сенокосы и выпасы скота, а с богатыми питательными веществами почвами (суглинки, маломощные супеси)—превращались в пашни. Таким путем появлялись многочисленные маленькие поля и поляны среди лесов. При этом некоторые хутора и сенокосные поляны с сараями отстояли от деревень на 10—20 км, что можно еще видеть на старых топографических картах.

На территории Новгородской губернии в 1800 г. луга и выпасы занимали 2 %, пашни 11 %, леса 72 % и заболоченные земли 15 %, а к 1904 г.—соответственно 22, 15, 48 и 15 % [26].

Интенсивное сведение лесов под сельскохозяйственные угодья совпало с началом интенсивной лесозэксплуатации. Например, из Новгородской губернии в 90-е годы в Санкт-Петербург по Волхову ежегодно сплавливалось до 1,5 млн. бревен и свыше 335 тыс. сажен дров [26]. Такое количество лесоматериалов могло быть получено, по нашим расчетам, при ежегодной вырубке 1500 га строевого леса и около 8000 га вторичных (лиственных и сме-

шанных) лесов, что в сумме составляет 95 км<sup>2</sup>, или 0,2—0,3 % площади лесов губернии (с учетом местного потребления лесопроductов). К 1910 г. потребление лесоматериалов примерно удвоилось [26], т. е. ежегодно вырубалось до 0,5 % площади лесного фонда.

В период коллективизации сельского хозяйства (с 1930 г.) происходило объединение хуторов; удаленные, мелкоконтурные, часто непродуктивные сельскохозяйственные угодья забрасывались и зарастали лесом. В годы Отечественной войны на временно оккупированной территории были уничтожены отдаленные деревни и хутора, а окружающие их поля зарастали кустарниками и лесом. В период 1950—1970 гг. наблюдался процесс миграции населения из мелких, удаленных деревень в крупные поселения. Все это привело к выравниванию контуров леса и увеличению лесистости территории даже в тех районах, где не было войны. Например, в Кировской области, по данным автора, лесистость отдельных водосборов за период 1938—1975 гг. возросла почти в 2 раза: на водосборе р. Филипповки — с. Филиппово с 21 по 40 %, р. Ярани — д. Наумово с 15 до 25 %, р. Вои — г. Нолинск с 15 до 50 %, р. Кильмези — д. Вичмарь с 34 до 65 % и т. д. Обследование этих и других водосборов с самолета, а также наземным путем показало, что увеличение лесистости произошло за счет молодого леса. Одновременно с этим на сильно залесенных водосборах площади сельхозугодий остались почти без изменений: р. Великая — с. Великорецкое облесенность изменилась с 74 до 76 %, р. Кобра — д. Верхние Тюрюханы — с 92 до 90 %, р. Вятка — с. Красноглинье — с 91 до 90 %, р. Лоза — пгт Игра — с 74 до 78 % и т. д.

В Новгородской области [56] к 1970 г. около трети всех сельскохозяйственных угодий покрылось кустарниками и мелколесьем: зарослями ольхи, осины, березы. Убыль угодий произошла в основном за счет сокращения лугов и частично пашни.

Зарастание перспективных сельскохозяйственных угодий и бывших вырубок повсеместно обусловило к 1940—1950 гг. наличие больших площадей, занятых молодым и средневозрастным лесом. Интенсивная эксплуатация лесов в послевоенный период (1945—1965 гг.) повлекла за собой дальнейшее повсеместное увеличение площадей под молодыми древостоями и резкое снижение леса среднего возраста.

По данным [56], в Центральном экономическом районе ЕТС средний возраст леса в середине 70-х годов составлял 37 лет, в Волго-Вятском — 53 года, Уральском — 71 год и Северо-Западном (Вологодская, Архангельская области и часть Коми АССР) — 113 лет. По исследованиям А. Г. Булавко [11], средний возраст лесов в Белоруссии на 1965 г. составлял 37 лет, а в Литве 36 лет, при этом на долю спелых лесов приходилось всего 8 %, а молодых — 55 % всей покрытой лесом площади.

Для средне- и южнотаежной частей Нечерноземной зоны ЕТС средний возраст леса в начале 70-х годов составлял примерно

55 лет, а в настоящее время — около 62 лет, при этом 50 % площади лесов представлены 30-летними молодняками, а остальные 50 % — 90-летними древостоями (средний возраст). Порядка 40 % площади лесов занимают лиственные породы (береза, осина), а остальную — хвойные [56]. Среди хвойных пород господствующее положение занимает ель (60—70 % площади хвойных).

Такая структура леса сложилась в результате того, что на вырубках 1920—1940 гг., занимающих около 10 % площади всех лесов, сейчас произрастают 50-летние средневозрастные смешанные древостои; на вырубках 1945—1955 гг. и на бывших сельскохозяйственных угодьях суммарной площадью около 25 % средний возраст преимущественно лиственного леса составляет сейчас 30 лет; а на вырубках 1956—1975 гг. — 15 лет (15 % площади). Остальная, покрытая лесом площадь, занята средневозрастными и приспевающими смешанными и хвойными видами древостоев в возрасте 60—90 лет (15 %), а также преимущественно хвойным спелым (100—120 лет) и перестойным хвойным лесом (более 120 лет) — на площади 35 %.

Рассматривая подобные данные за длительный ряд лет и учитывая принятые постановления о лесопользовании и охране лесов, можно предполагать, что время массового сведения лесов прошло. Сейчас заканчивается период восстановления лесов на бывших сельскохозяйственных угодьях; производятся все в больших масштабах лесовосстановительные работы на вырубаемых участках, убыстряющие рост леса и улучшающие его породный состав и продуктивность; производятся рубки ухода и санитарные рубки в лесах I и II групп; увеличиваются темпы лесомелиораций на низкопродуктивных, переувлажненных участках. Все это способствует увеличению среднего возраста и продуктивности лесов в хорошо обжитых районах с одновременным возрастанием объема их фитомассы (крон) в средневозрастной фазе развития [3, 10, 40, 45, 56, 63, 65, 76, 88, 89, 92 и др.].

По-видимому, стабилизировались и площади ежегодно вырубаемых лесов. Так, если в 1940 г. объем заготовок древесины в СССР составлял (в млн. м<sup>3</sup>) около 250, в 1945 г. — 170, 1946 г. — 210, 1959 г. — 390, то в период 1960—1970 гг. ежегодно заготавливалось по 400, в 1975 г. — 410, а в 1980 г. — меньше 400 [88].

В лесной зоне ЕТС центр лесозаготовительных работ все больше перемещается в северо-восточные части Северо-Западного, Центрального и Уральского экономических районов, где сейчас находится около 80 % (9 млрд. м<sup>3</sup>) всего запаса спелой и перестойной, в основном хвойной, древесины [10, 56, 88 и др.]. Следовательно, в ближайшем будущем предстоят большие рубки леса в бассейнах северных и северо-восточных рек, что приведет к резкому снижению возрастного состава леса в северных районах Вологодской, Костромской, Кировской и Пермской областей, а также в южных и средних частях Архангельской области и Коми АССР. Поэтому в условиях планируемой переброски части

стока северных рек в бассейн р. Волги оценка влияния предстоящих интенсивных вырубок леса на водность рек приобретает особую актуальность.

## 2.2. Виды рубок и типы возобновления лесов

По своему назначению все леса в Советском Союзе разделены на три группы (I—III), в пределах которых регламентируются правила лесопользования.

Первая группа включает: зеленые зоны вокруг городов и крупных населенных пунктов; водоохранные зоны в виде отдельных лесных массивов и широких лесных полос вдоль рек, вокруг озер и водоемов; защитные полосы вдоль железных и шоссейных дорог; полезащитные, почвозащитные, курортные, климатообразующие и заповедные леса. В лесах этой группы установлен особый режим ведения лесного хозяйства, направленный на сохранение, преумножение, увеличение возраста и качества леса.

Вторая группа — это леса, расположенные в густонаселенных и промышленных районах, а также водоохранные леса на водосборах рек, озер и водоемов. Установленный режим лесопользования направлен на сохранение таких лесов и восстановление ценных древесных пород.

Третья группа — это все остальные леса — основная сырьевая база страны. В них производятся рубки леса главного пользования и разрешаются все виды рубок, но с соблюдением соответствующих правил.

От вида рубок и состава почво-грунтов во многом зависит тип и интенсивность возобновления и роста леса.

В рассматриваемых подзонах ЕТС наибольшее распространение имеют сплошные рубки леса. Они применяются в основном в лесах III группы и заключаются в удалении всего древостоя с лесосеки за один прием (сезон, год). Этот вид рубок подразделяется на сплошные концентрированные рубки, условно-сплошные рубки и сплошные лесосечные рубки по полосам разной ширины. В лесах I и II групп применяют постепенные и выборочные рубки, а также рубки ухода.

Сплошные концентрированные рубки имеют наибольшее распространение при промышленных заготовках древесины. Они позволяют использовать с наивысшей отдачей технические средства механизации лесозаготовительных и лесотранспортных работ, чем достигается наивысший экономический эффект. Такие рубки производятся на крупных лесосеках шириной от 300 до 1000 м и длиной до 2 км, т. е. на площади до 200 га [3, 55]. Между лесосеками должны оставаться на несколько лет нетронутыми лесные массивы или участки леса с примерной площадью как и лесосека концентрированной рубки.

Условно-сплошные рубки — это те же концентрированные рубки, но на отведенной лесосеке вырубается участки с наилуч-

шим лесом, составляющим 60—90 % всего запаса древесины лесосеки [3, 55]. При этом остаются на корню в виде недорубов участки леса с низкосортными (мелкими) хвойными и лиственными древостоями, а также отдельные группы семенных деревьев.

На практике при сплошных концентрированных и условно-сплошных рубках за ряд лет вырубаются подряд площади на десятках тысяч га и оголяются водосборы не только ручьев, но и малых рек с площадями 100—500 км<sup>2</sup>. Например, верхние части водосборов рек Летки, Федоровки, Белой и Черной Холуниц в Кировской обл. и др. Площади, пройденные такими промышленными рубками, похожи на лесотундру с отдельными островками леса недорубов и семенных куртин, уцелевших от ветровала. Подобные рубки замедляют на 10—20 лет естественное лесовосстановление, являются причиной временного, а также необратимого заболачивания отдельных участков и смены хвойных пород (ель, сосна) древостоя на мягколиственные (осина, береза, ольха). Необратимое заболачивание занимает в среднем 5—15 % площади вырубок.

Сплошные лесосечные рубки предусматривают хорошие условия естественного семенного возобновления хвойного леса. Рубки выполняются обычно по полосам шириной 50—100 м с сохранением на несколько лет полосы нетронутого леса шириной 100—500 м. Разновидностью таких рубок являются чересполосные рубки и рубки на небольших лесосеках любой формы площадью до 10—20 га [3, 55]. Чем уже полоса лесосеки, тем равномернее и гуще распространяются семена хвойных древостоев и больше остается неповрежденного подроста. Поэтому на таких рубках хорошее возобновление леса первоначальных видов древостоя возможно и без проведения лесовосстановительных работ.

Наибольший объем заготавливаемой древесины (до 70—85 %) и наибольшие площади вырубок (до 70—80 % от площади лесов) достигаются путем проведения сплошных вырубок леса. В Коми АССР, например, сплошные концентрированные рубки выполняются на 80 %, а условно-сплошные на 20 % ежегодно выделяемой площади лесосек [81].

В разновозрастных лесах, а также в лесах I и II групп применяются постепенные и выборочные рубки леса, при которых снимается спелый и перестойный лес на небольших лесосеках, представляющих мелкие пятна на фоне лесного массива. При выборочных рубках предусматривается также снятие отдельных небольших групп перестойных деревьев с оставлением хвойного подроста во втором и третьем ярусах. Все это обеспечивает быстрое восстановление леса ценных или нужных пород древостоя. Однако такой вид лесозаготовок не имеет промышленного значения и обычно удовлетворяет местные потребности либо обеспечивает промышленность лесоматериалами особо ценных пород. Для выполнения постепенных и выборочных рубок требуется разветвленная сеть постоянно действующих лесовозных дорог.



Рубки ухода (разновидность — санитарные рубки) могут выполняться во всех трех группах лесов. Главное их назначение — обеспечить хороший рост молодого леса заданных пород древостоя. Рубки ухода обычно выполняются 1—3 раза после посадки леса, при этом производится изреживание леса и удаление сорных пород древостоев и кустарников, например осины, ольхи, ивы, березы и др. При санитарных рубках убираются в основном заболелые и поврежденные древостои, в том числе и ветровальные деревья. Полученная таким путем древесина используется как местной промышленностью, так и в разных отраслях народного хозяйства. Особенно ценится тонкомер хвойных пород.

К отдельному виду регулирования качества молодого леса можно отнести авиахимход, при котором с помощью химикатов удалялись мягколиственные породы деревьев (а иногда и растительный покров и живые организмы). Такой способ управления качеством и ростом леса, получивший широкое распространение в 60-х годах, сейчас почти не применяется.

Лесовосстановительные работы на сплошных вырубках составляют небольшую долю (5—10%) от ежегодной площади лесосек. Однако эти работы выполняются в крупных масштабах при всех остальных видах вырубок леса.

Лесовосстановление хвойными породами древостоев, обеспечиваемое на вырубках естественным путем и посадками леса, в последние три-четыре десятилетия происходило, по мнению автора, примерно на 20—30% всей площади лесосек южных и среднетаежных лесов ЕТС. На остальной площади лесосек имело место возобновление хвойного леса под пологом самосева мягколиственных пород деревьев. В результате в новых молодых и средневозрастных лесах преобладают лиственные и смешанные виды древостоев. Например, в Вологодской обл. по состоянию на 1966 г. елово-сосновые древостои занимают 60%, а березово-осиновые 40% площади лесов. При этом молодняки и средневозрастные древостои хвойных пород произрастают на 21%, а мягколиственных — на 33% всей площади лесов. В Калининской обл. хвойные древостои занимают 51%, а мягколиственные 49% всей площади лесов, молодняки и средневозрастные древостои этих пород — соответственно 19 и 41%.

Успешность возобновления леса, помимо размеров лесосек, зависит еще от типа вырубок. Под последним понимается тот господствующий фон растительных сообществ, которые поселяются на лесосеке в течение первых 3—9 лет после снятия спелого (старого) леса. Эти сообщества растений обуславливаются составом почво-грунтов и их дренированностью, оставшимся лесным окружением, временем года, когда снимался лес, метеорологическими условиями ближайших двух и последующих трех-четырех лет, а также способом разработки лесосеки, степенью повреждения подроста и напочвенного покрова. Многообразие факторов поражает такое же многообразие типов вырубок и возобновления леса, о чем подробно изложено в специальной литературе

[3, 55, 63, 65, 81, 92 и др.]. Поэтому здесь отметим лишь основные положения и перечислим самые распространенные типы вырубок и возобновления леса.

В подзонах южной и средней тайги ЕТС после снятия спелых ельников могут формироваться [92] следующие основные типы вырубок: вейниково-кипрейно-паловый; вейниковый, кипрейно-злаковый; рябинниковый, кипрейный, крупнотравный; вейнико-



Рис. 2.2. Однолетняя сплошная концентрированная вырубка размером  $600 \times 1000$  м с линией снегомерных рек. (Вырубка № 3 экспедиции ГГИ в Кировской области.)

вый, кипрейный, малинниковый; долгомошный; осоково-долгомошный; сфагновый; осоко-сфагновый; травяно-болотный; крупнотравный, таволговый; крупнотравный; широколиственный.

Большое разнообразие типов вырубок наблюдается после снятия сосняков, а также на месте сложных лесов, включавших в разных соотношениях сосну, ель, березу, осину, рябину, клен, липу.

В первый год-два вырубки почти не заселяются напочвенной растительностью (рис. 2.2), а те ее виды, которые произрастали под пологом спелого леса, начинают чахнуть и выпадать из-за обилия света, тепла и влаги. Но к концу второго — в начале третьего года вырубки начинают интенсивно заселяться перечисленными выше растениями, появляются побеги (семенные и вегетативные) лиственных деревьев и еле заметные саженцы хвойных

пород. Оставшийся хвойный подрост почти не растет, приспособляясь к новым условиям. На 4—5-й год вырубка интенсивно за­растает, появляются ягодниковые кустарнички, разные травы и мхи. К концу 5 и 6-го года кипрей (иван-чай), малина, вейник достигают эпогея в своем развитии. Под их пологом успешно поселяются лиственные и хвойные деревья и лучше себя чувствует оставшийся после рубки хвойный подрост. Лиственные породы начинают интенсивно набирать рост, затеняя всю остальную рас-

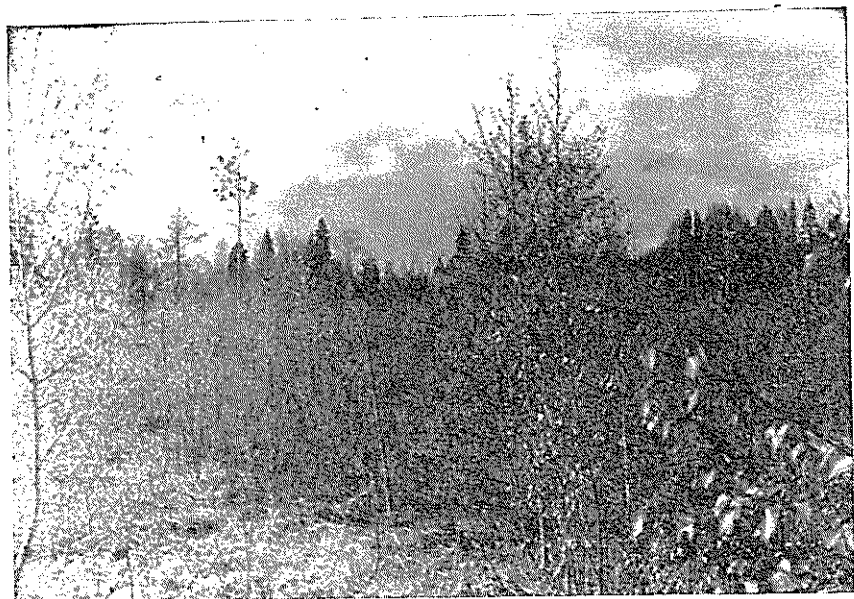


Рис. 2.3. Смыкание крон лиственного подроста на условно-сплошной вырубке 10-летней давности. На втором плане видны недорубы тонкомерных деревьев. (Вырубка № 4 экспедиции ГГИ в Кировской области.)

тельность, которая, кроме, хвойных древостоев, начинает чахнуть и отмирать. К моменту смыкания крон лиственных деревьев (на 8—15-м году) почвенная растительность, поселившаяся на вырубке, в основном погибает и наступает фаза возобновления леса (рис. 2.3).

Иллюстрацией начальной стадии такого естественного возобновления лесов могут служить данные табл. 2.3 для двух типов вырубок после снятия спелых ельников в Пермской обл. Следует отметить, что количество молодых деревьев на вырубках 10-летнего возраста часто составляет 20—50 тыс. шт. на га, а в высокополнотном спелом хвойном лесу обычно составляет 700—1500 шт. на га. Поэтому развитие любого леса после рубок связано с многократным естественным его изреживанием и сменой видового состава древостоя.

Естественное возобновление леса на вырубках различной давности [63]

| Давность рубки, лет | Подрост и самосев, шт/га       |       |       |                            |        |       |       |  | всего |
|---------------------|--------------------------------|-------|-------|----------------------------|--------|-------|-------|--|-------|
|                     | предварительного возобновления |       |       | последующего возобновления |        |       |       |  |       |
|                     | ель                            | пихта | итого | ель                        | береза | осина | итого |  |       |

## На кипрейно-вейниковых вырубках

|   |     |     |     |     |      |      |        |        |
|---|-----|-----|-----|-----|------|------|--------|--------|
| 3 | 400 | 200 | 600 | 300 | 200  | 9100 | 9 600  | 10 200 |
| 5 | 500 | 100 | 600 | 450 | 1600 | 9600 | 11 650 | 12 250 |
| 9 | 500 | —   | 500 | 850 | 900  | 7300 | 9 050  | 9 550  |

## На малинниковых вырубках

|   |      |     |      |      |      |      |      |      |
|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| 3 | 2000 | 600 | 2600 | 1200 | 800  | 3300 | 5300 | 7900 |
| 5 | 900  | 200 | 1100 | 1800 | 900  | 4700 | 7400 | 8500 |
| 9 | 1000 | 200 | 1200 | 2300 | 1200 | 3700 | 7200 | 8400 |

Примечание. На этих вырубках имеются реальные возможности для формирования к 70 годам смешанных елово-осиновых насаждений с примесью березы, а к 120 годам — ельников 8—9 Е, 1—2 Ос, ед. Б.

### 2.3. Эволюция лесных комплексов при возобновлении лесов

Возобновление лесов подразделяется на типы. «Тип возобновления — это совокупность участков, возобновившихся однородными древесными породами, объединенных общностью лесорастительных условий и общим направлением лесовосстановительного процесса» [63]. Но это еще не тип будущего спелого леса. Наглядное представление о возможных вариациях смены лесорастительных сообществ после рубки только одного вида спелого елового леса дает схема, представленная на рис. 2.4.

С эволюцией лесных комплексов (биогеоценозов) связано изменение во времени теплового и водного баланса лесного участка. Поскольку в настоящей работе главным вопросом является рассмотрение изменений элементов водного баланса, то эволюция лесных комплексов приводится здесь в обобщенном, генерализованном, виде.

Каждой фазе развития леса соответствуют определенные таксонометрические характеристики — цифровые показатели, указывающие на состояние древостоев. Поскольку этими характеристиками мы пользуемся в дальнейшем для описания лесов, поясним их значения, тем более что они раскрывают многовидовую сущность и разнообразие лесов.

Классом возраста характеризуют возраст леса по ступеням его жизни, а буквенными литерами — его видовой состав (породу). Для хвойных древостоев (ель — Е, сосна — С, пихта — Пх) и твердолиственных (дуб — Д, клен — Кл, ясень — Я и др.) один класс соответствует возрастной ступени в 20 лет. Для мягколиственных древесных пород (береза — Б, осина — Ос, ольха — Ол)

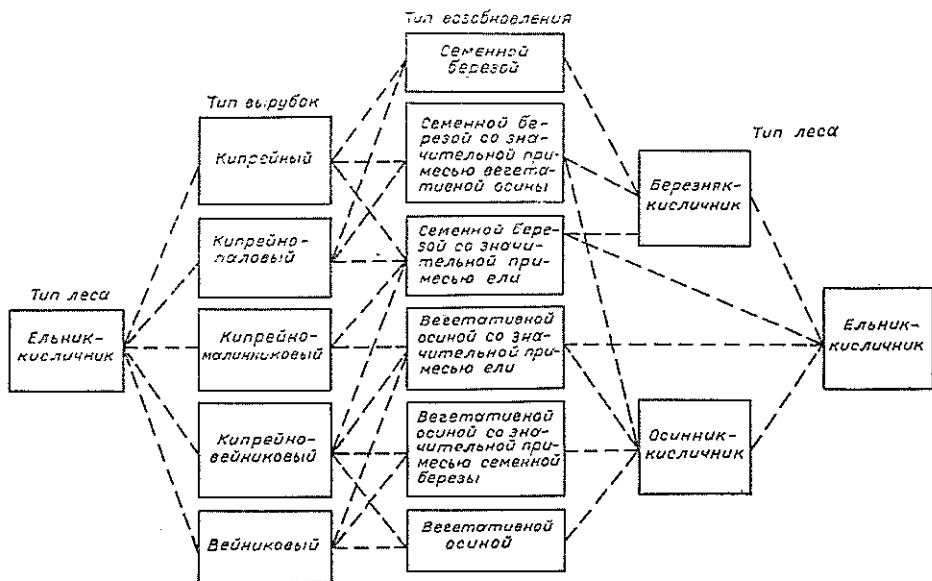


Рис. 2.4. Этапы формирования леса после сплошной рубки (на примере ельников-кисличников Пермской области [63]).

один класс возраста соответствует 10 годам. Быстрорастущим породам и кустарникам (ива, бересклет, черемуха и др.) класс возраста установлен в 5 лет. Таким образом, по классу (кл) можно судить о возрасте как всего леса, так и его составляющих древостоев.

К молодым лесам относятся молодняки I кл. возраста (хвойные породы — хв. до 20 лет, мягколиственные — млст. — до 10 лет и кустарники — до 5 лет) и молодой лес II кл. возраста — иногда его называют жердняком (хв. от 21 до 40 лет, млст. от 11 до 20 лет, кустарники от 6 до 10 лет), рис. 2.5 и 2.6.

Средневозрастным лесам соответствует III и IV кл.: хв. — 41—80 лет, млст. — 21—40 лет. Это интенсивно растущий древостой (рис. 2.7 и 2.8).

Стадию между средним возрастом и взрослым, спелым, лесом, в которой леса замедляют свой рост, называют приспевающей. Ее возраст соответствует V кл.: для хв. пород 81—100 лет, для млст. 41—50 лет (рис. 2.9 и 2.10). Следует отметить, что с учетом различий в лесорастительных условиях, а также экономических

соображений возраст этой фазы может уменьшаться на один класс, особенно, если преобладают смешанные породы древостоев.

Спелые леса имеют VI кл. возраста (101—120 лет для хв. и 51—60 лет для млст. древостоев). Иногда к хвойным спелым ле-

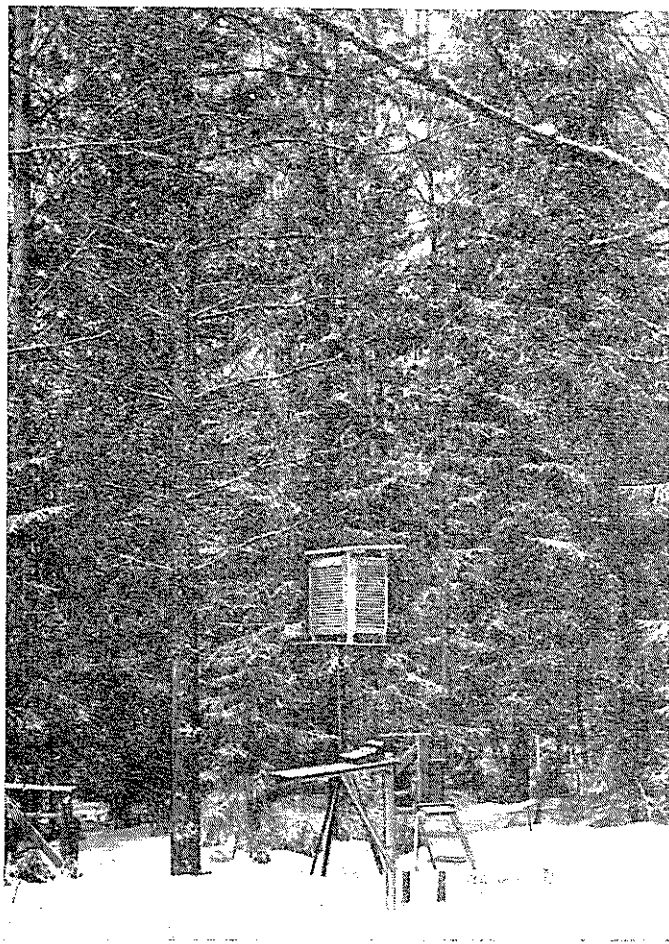


Рис. 2.5. Посадки хвойного леса на вырубке 30-летней давности. (Метеорологический пост экспедиции ГГИ в Кировской области.)

сам относят древостой VI—VII кл. возраста. В таких лесах продолжает увеличиваться диаметр ствола (т. е. объем древесины) до 140 лет жизни древостоев (рис. 2.11 и 2.12).

В старых или перестойных лесах почти прекращается прирост по диаметру ствола, древостой разрушается от старости и болезней и объем ежегодно отмирающей древесины равен объему годо-

вого прироста более молодых деревьев. Перестойные хвойные леса имеют VII—VIII, а иногда и IX классы, т. е. возраст более 120—140 лет. Мягколиственные леса считаются перестойными в возрасте 61—80 лет и более (VII—IX классы). Однако в таких



Рис. 2.6. Молодой 20-летний березняк (10 Б) с елово-сосновым подлеском. Осадкомер на поляне в окружении невысокого лиственного леса. (Экспедиция ГГИ, Кировская область.)

лесах в результате отмирания лиственных пород господствующее положение начинают занимать хвойные древостой.

Класс возраста, а также видовой состав леса дается по первому, т. е. верхнему, ярусу древостоев. При достижении IV класса возраста характеристики леса во многих случаях даются по хвойным породам. Будущий видовой состав леса становится известным,

начиная с этого возраста. По деревьям, достигшим V—VI классов возраста, дается генетическое название хвойного леса, например ельник-кисличник (см. рис. 2.11), ельник-черничник све-

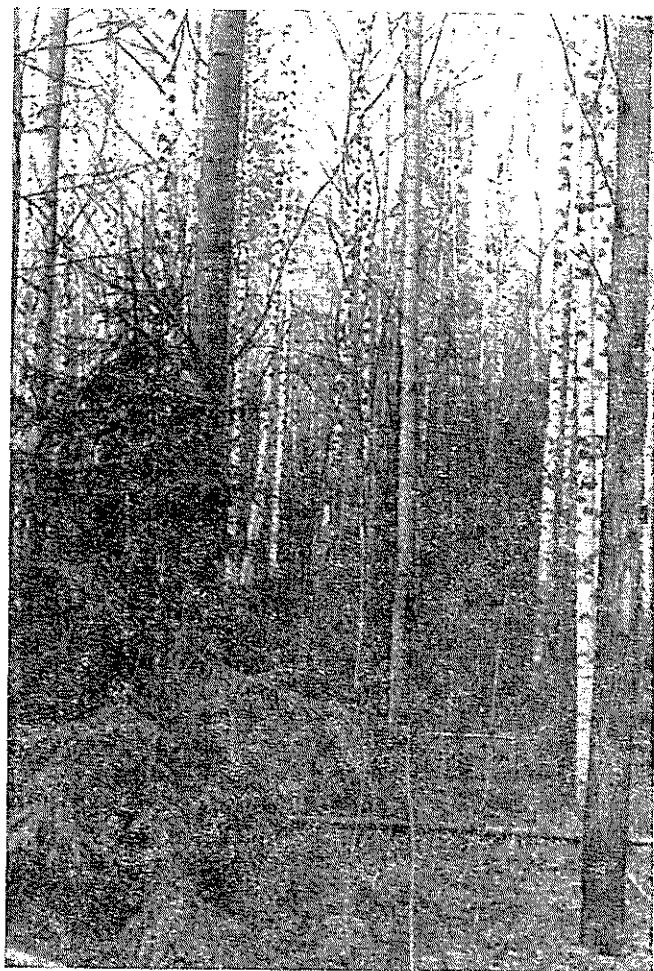


Рис. 2.7. Средневозрастный 35-летний березово-осиновый лес (10 Б, Ос, ед. Е) с еловым подростом во втором и третьем ярусах (Кировская область.)

жий, сосняк-брусничник (см. рис. 2.12) и т. п. В искусственных лесах (посадки леса) видовой состав леса уже известен после второй, а иногда и первой рубки ухода, т. е. во II классе возраста (см. рис. 2.5).

Видовой состав лесных насаждений (или просто состав) дается в виде формулы леса, в которой цифры указывают количе-



ство деревьев одного вида или площадь, занятую этим видом древостоев. Каждая единица равна 10 % площади леса. Чистый лес, состоящий из одного вида древостоя, например сосны, харак-



Рис. 2.8. Средневозрастный 50-летний елово-осиновый древостой 6 Ос, 4 Е, ед. Б в Кировской области. (Воднобалансовый участок № 6 экспедиции ГГИ.)

теризуется как 10 С. Лес, в котором ель занимает 50 %, сосна 20 %, береза 30 % и встречается примесь осины (единичные деревья с суммарной площадью менее 5 %), характеризуется формулой 5 Е, 2 С, 3 Б, ед. Ос.

Бонитет насаждений — это показатель добротности леса и производительности почвы, а также характеристика продуктивности леса и запаса его древесины. Принято пять классов бонитета

I—V. При наилучших условиях произрастания и производительности леса ему присваивается I класс бонитета, а при наихудших условиях, когда лес угнетен и не может развиваться,—



Рис. 2.9. Приспевающий высокополнотный елово-сосновый древостой 7 Е, 3 С, ед. Б, II класса бонитета. (Эталонный лес № 3 экспедиции ГГИ в Кировской области.)

V класс (например, сосновый лес на верховом болоте). Продуктивность еловых спелых насаждений меняется от 400—500 м<sup>3</sup>/га (I—Ia кл. бонитета) до 50—80 м<sup>3</sup>/га (V кл.). Примерно такая же производительность и у сосновых насаждений, однако при боните Iа класса запас древесины может достигать 600 м<sup>3</sup>/га. У мягколиственных пород производительность существенно ниже — от 300 до 50 м<sup>3</sup>/га (I—V кл.).

Полнота леса — это степень плотности стояния деревьев на единице площади. Полноту леса можно примерно характеризовать степенью сомкнутости крон деревьев в долях от единицы.

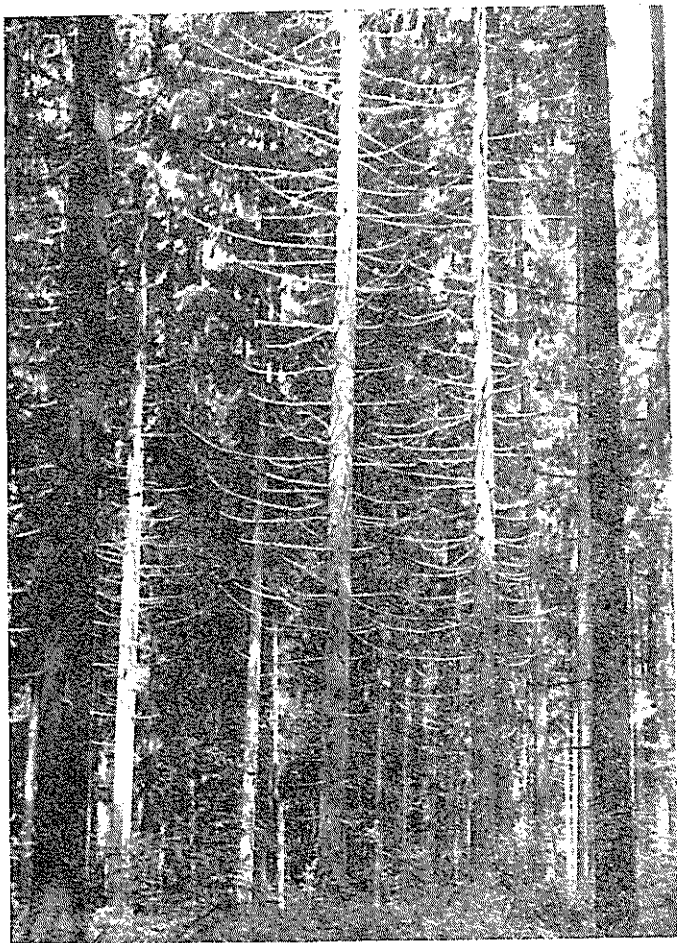


Рис. 2.10. Приспевающий еловый древостой 10 Е, ед. С, I класса бонитета; интенсивное отмирание сучьев в нижних и средних частях стволов деревьев. (Водосбор лога Таежного Валдайского филиала ГГИ в Новгородской области.)

Густой лес имеет полноту 0,7—1,0 (см. рис. 2.9), средней густоты 0,4—0,6 (см. рис. 2.12), редкий 0,1—0,3. На верховых болотах полнота леса обычно составляет 0,1—0,2. При полноте хвойного леса 0,9—1,0 растительного покрова почти нет и почва покрыта опадом хвон. То же часто наблюдается и в мягколиственных лесах. Чем меньше полнота суходольного леса, тем светлее под его

пологом, тем гуще напочвенная растительность и хорошо развивается древесный подрост третьего яруса.

Густота — это число деревьев на единице площади лесного участка (штук на 1 га).

Рост леса характеризуется увеличением высоты, диаметра ствола, объема стволовой древесины и зеленой массы (фитомассы) крон деревьев. Различают годичный прирост указанных характе-



Рис. 2.11. Спелый ельник-кисличник 10 Е, I класса бонитета, возраст 100 лет. (Воднобалансовая площадка № 3 Валдайского филиала ГГИ в Новгородской области.)

ристик, т. е. за один год, прирост за несколько лет — текущий прирост, средний прирост — среднее увеличение характеристик леса за всю его жизнь или за длительный период.

Прирост по высоте и диаметру дается в сантиметрах за год, а по объему — в м<sup>3</sup>/год. Эти характеристики обычно выводятся как средние на 1 га. Прирост характеризует продуктивность леса: чем он выше, тем более интенсивно развивается лес и больше его продуктивность. Например, средний прирост объема древесины в Карельской АССР составляет 1,1 м<sup>3</sup>/га в год, Коми АССР — 0,9 м<sup>3</sup>/га, Вологодской обл. 1,9 м<sup>3</sup>/га, Ленинградской обл. 2,3 м<sup>3</sup>/га, Калининской обл. 2,8 м<sup>3</sup>/га, Владимирской обл. 3,4 м<sup>3</sup>/га.

В молодых и средневозрастных лесах текущий прирост объема древесины значительно выше, чем в старых. Например, в южных районах Коми АССР этот прирост составляет соответственно 1,2—

1,7 и 0,4—0,7 м<sup>3</sup>/га в год [9]. Наиболее интенсивный прирост наблюдается: по высоте в молодом возрасте древостоя (рис. 2.13 и 2.14); по диаметру — в молодых и средневозрастных чистых

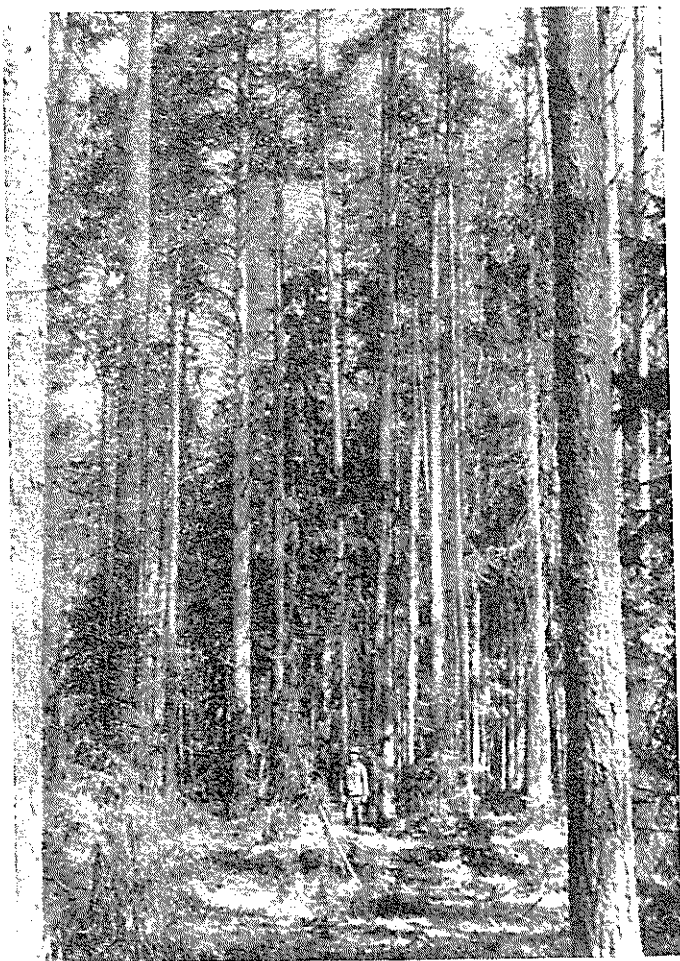
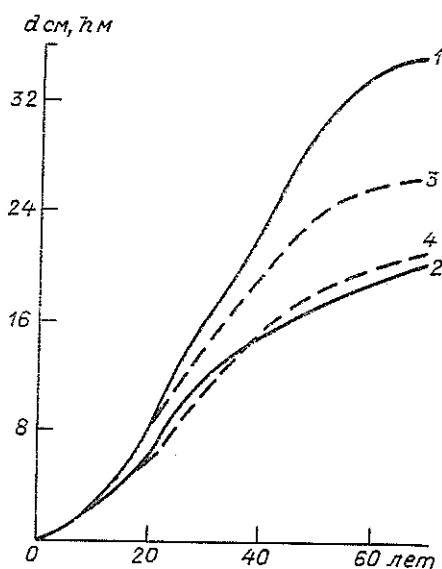


Рис. 2.12. Спелый сосняк-брусничник 9 С, I Е, ед. Б, I класса бонитета, возраст 110 лет. (Воднобалансовый участок № 2 экспедиции ГГИ в Кировской области.)

лесах, а также в средневозрастных и приспевающих лесах смешанных пород древостоев; по объему древесины — в средневозрастных и приспевающих лесах. Объем зеленой массы крон деревьев (листья, хвоя), ежегодный ее опад и возобновление достигают наивысших значений в молодых и средневозрастных лесах, т. е. во II—III классах возраста соответствующих видов древостоев (см. рис. 2.14).

Общим для всех материнских лесов и новых спелых лесов является связь видового состава древостоев с механическим составом почво-грунтов и условиями их дренированности.

На песках, мощных и легких супесях, подстилаемых с глубины 0,8—1,0 м суглинками, т. е. на бедных по питательным веществам



почво-грунтах, поселяется сосна. В стадии молодого и средневозрастного леса сосне сопутствует береза. Только сосна в условиях бедных почв и частого их пересыхания способна конкурировать со всеми остальными видами древостоев. В лесах продуктивная влагоёмкость верхнего метрового слоя песков составляет 40—

Рис. 2.13. Характеристика роста чистых ельников по диаметру ( $d$ ) и высоте ( $h$ ) ствола на высокопродуктивных почвах [92].

1 и 2 — диаметр максимальных и средних деревьев; 3 и 4 — высота ствола максимальных и средних деревьев.

70 мм, а супесей — 80—120 мм. В летние засушливые периоды эта влага почти полностью расходуется на испарение, что приводит к гибели подроста влаголюбивых видов деревьев и напочвенной растительности. Недостатком влаги в почво-грунтах объясняется также меньшее испарение с песчаных участков в засушливые годы по сравнению с суглинками на 15—20 % [34, 35].

В сосновых лесах рассматриваемых подзон выделяются 10—12 основных типов спелого леса и столько же главных типов его естественного возобновления на вырубках [3, 45, 55, 65, 81 и др.].

На суглинках и супесях, подстилаемых с глубины 0,3—0,5 м тяжелыми суглинками, основным материнским лесом являются ельники с примесью березы и осины. На тяжелых суглинках, характеризующихся слабо промывным типом почв, вместе с елью поселяется пихта. Последняя распространена в восточных районах ЕТС, занимая 10—20 % площади елового леса. Суглинистые и тяжелосуглинистые почво-грунты имеют наиболее высокие продуктивные запасы влаги (150—180 мм в верхнем метровом слое) и наибольшее содержание питательных веществ. Осина и береза, сразу поселяющиеся на вырубках (см. табл. 2.3, см. рис. 2.4), обеспечивают восполнение и накопление питательных веществ в почве. Осина на вырубках постепенно вытесняется березой, а последняя — елью. При хорошей обеспеченности влагой и пи-

тательными веществами ель подавляет все остальные виды древостоев. В таких условиях произрастают высоко продуктивные еловые леса I—III классов бонитета (см. рис. 2.9, 2.11).

В соответствии с краткой характеристикой еловых лесов [92] в подзонах средней и южной тайги распространено 11 основных типов спелого леса и столько же типов его возобновления после вырубki (табл. 2.4).

В современный период еловые леса занимают 50—60 % площади лесов, а в сильно освоенных южнотаежных районах — 30—

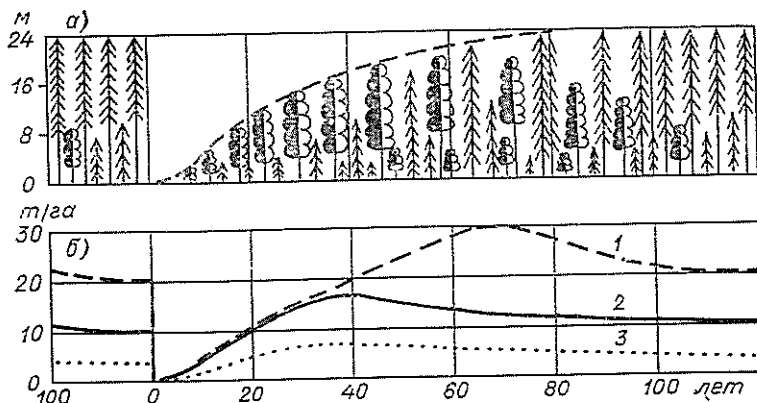


Рис. 2.14. Изменение высоты и состава древостоя (а), а также объема фитомассы (б) при восстановлении леса после вырубki.

1 — ель; 2 — сосна; 3 — береза, осина.

40 %, на северо-западе рассматриваемых подзон — 25—35 % всей лесопокрытой площади [92]. Остальные лесные площади заняты сосной, березой и осиной, а также смешанными лесами, в которых постоянно вырубается ценные хвойные древостои.

По мнению многих ученых [92], господство ели на рассматриваемой территории ЕТС произошло после отступления ледников (10—12 тыс. лет назад), а современные леса с господством ели, сосны и березы развились 500 лет назад.

В малонаселенной местности рассматриваемых таежных подзон суглинистые почво-грунты распространены на 50—60 % площади лесов, песчаные и супесчаные — на 20—40 % и торфянисто-глеевые — на 10—15 %. Таким образом, там, где лес еще не рубили, существует весьма строгое соответствие между составом почво-грунтов и составом спелого и перестойного леса. Вторичные леса, не достигшие приспевающей фазы, не являются надежными индикаторами почво-грунтов. Посадки леса, особенно после рубок ухода, регулирующих желаемый породный состав древостоя, также часто не являются индикаторами почво-грунтов и степени их дренированности.

В густонаселенных районах Нечерноземной зоны ЕТС, по мнению автора и некоторых других исследователей (например, [78]),

Обобщенная характеристика основных типов еловых лесов до и после их  
вырубки в подзонах средней и южной тайги ЕТС (по исходным данным [92])

| Тип ельника        | Средняя таксационная характеристика спелого леса |                         |                           |                              | Породный состав формирующихся<br>молодняков в первом (1-й) и во<br>втором (2-й) ярусах |
|--------------------|--------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|                    | преобладающий состав                             | класс<br>бонитета       | полнота                   | запас,<br>м <sup>3</sup> /га |                                                                                        |
| Брусничник         | 8—9 Е, 1—2 С, или 1—2 Б,<br>ед. Б, Ос            | $\frac{IV}{IV-III}$     | $\frac{0,6-0,7}{0,7-0,8}$ | $\frac{180-200}{220-250}$    | 6—8 Б, Ос; 2—3 Е, 1 С                                                                  |
| Кисличник          | 8 Е; 1 Ос, 1 Б, ед. С, Пх                        | $\frac{III}{III-II}$    | $\frac{0,7-0,8}{0,8-0,9}$ | $\frac{250-350}{300-350}$    | 1-й 9 Б, Ос; 1 Е; 2-й 10 Е                                                             |
| Черничник свежий   | 8—9 Е, 1—2 Б, ед. Ос, С, Пх                      | $\frac{IV-III}{III-II}$ | $\frac{0,6-0,7}{0,7-0,8}$ | $\frac{200-250}{240-280}$    | 1-й 10 Б, Ос; 2-й 10 Е                                                                 |
| Черничник влажный  | 8 Е, 1—2 Б, ед. Ос, С                            | $\frac{V}{IV}$          | $\frac{0,6-0,7}{0,6-0,8}$ | $\frac{150-200}{200-250}$    | 1-й 8—9 Б, Ос; 1—2 Е;<br>2-й 10 Е                                                      |
| Долгомошник        | 8—9 Е, 1—2 Б, ед. С                              | $\frac{V}{V-IV}$        | $\frac{0,5-0,7}{0,5-0,8}$ | $\frac{130-180}{140-220}$    | 1-й 7—9 Б, Ос; 1—3 Е;<br>2-й 10 Е                                                      |
| Чернично-сфагновый | 8—9 Е, 1—2 Б, ед. С, Ос                          | $\frac{V}{V-IV}$        | $\frac{0,5-0,7}{0,6-0,8}$ | $\frac{140-180}{120-180}$    | 7—8 Е, 2—3 Б, ед. С, Ос                                                                |



| Тип ельника        | Средняя таксационная характеристика спелого леса |                         |                           |                           | Породный состав формирующихся молодняков в первом (1-й) и во втором (2-й) ярусах |
|--------------------|--------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|                    | преобладающий состав                             | класс бонитета          | полнота                   | запас, м <sup>3</sup> /га |                                                                                  |
| Травяно-сфагновый  | 7—9 Е, 1—3 Б, ед. С                              | $\frac{V-IV}{V-IV}$     | $\frac{0,5-0,8}{0,5-0,7}$ | $\frac{140-200}{130-180}$ | 5—6 Б, 4—5 Е                                                                     |
| Осоко-сфагновый    | 8—9 Е, 1 Б, ед. —1 С                             | $\frac{V-Va}{Va-IV}$    | $\frac{0,5-0,6}{0,4-0,6}$ | $\frac{80-150}{80-150}$   | 9 Е, 1 Б, ед. С                                                                  |
| Сфагновый          | 8—9 Е, 1—2 Б, ед. С                              | $\frac{V-Va}{V-IV}$     | $\frac{0,5-0,6}{0,5-0,6}$ | $\frac{90-110}{100-130}$  | 8—9 Е, 1—2 Б, ед. С                                                              |
| Крупнотравный      | 7—8 Е, 1—2 Б, ед. —1 С,<br>ед. Ос                | $\frac{IV-III}{IV-III}$ | $\frac{0,6-0,8}{0,6-0,7}$ | $\frac{200-280}{200-240}$ | 1-й 10 Б, ед. Ос; 2-й 10 Е                                                       |
| Логово-приручейный | 7—8 Е, 2—3 Б                                     | $\frac{IV}{IV-III}$     | $\frac{0,5-0,7}{0,6-0,7}$ | $\frac{150-210}{200-240}$ | 7—8 Б, 2—3 Е; или 1-й 10 Б,<br>2-й 10 Е                                          |
| Сложный            | 8—9 Е, 1—2 Б, Ос, ед. Л, Кл,<br>Ол               | $\frac{-}{III-II}$      | $\frac{-}{0,7-0,9}$       | $\frac{-}{320-360}$       | 1-й 10 Б, Ос; 2-й 10 Е, ед. Л,<br>Кл, Ол                                         |

Примечания: 1. В числителе приводятся данные для среднетаежных, а в знаменателе — южнотаежных ельников.

2. В работе [92] для каждого типа ельника указывается: прирученность к рельефу и почво-грунтам, тип формирующейся вырубki, состав и состояние подроста, состав подлеска и напочвенной растительности с распределением ее по площади вырубki.

Эволюция видового состава

| Число лет после выруб-<br>ки леса | Посадки ели и сосны, а также естественное возобновление<br>леса хвойными древостоями |                  |                          | Естественное<br>лиственные |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------|----------------------------|
|                                   | 1-й тип                                                                              | 2-й тип          | 3-й тип                  | 4-й тип                    |
| 10                                | 9 Е, 1 Ос                                                                            | 9 С, 1 Б         | 7 С, 3 Е, ед. Б          | 8 Ос, 2 Б, ед. Е           |
| 20                                | 7 Е, 3 Ос, ед. Б                                                                     | 8 С, 2 Б, ед. Ос | 6 С, 3 Е, 1 Б,<br>ед. Ос | То же                      |
| 30                                | 7 Е, 3 Ос, ед. Б                                                                     | То же            | 6 С, 3 Е, 1 Б,<br>ед. Ос | „                          |
| 35                                | 6 Е, 3 Ос, 1 Б                                                                       | „                | 6 С, 3 Е, 1 Б            | „                          |
| 40                                | То же                                                                                | 9 С, 1 Б         | То же                    | 8 Ос, 1 Б, 1 Е             |
| 45                                | „                                                                                    | То же            | „                        | 7 Ос, 2 Е, 1 Б             |
| 50                                | 8 Е, 2 Ос, ед. Б                                                                     | „                | „                        | 6 Ос, 3 Е, 1 Б             |
| 55                                | То же                                                                                | „                | „                        | 6 Ос, 4 Е, ед. Б           |
| 60                                | „                                                                                    | „                | „                        | 5 Е, 5 Ос, ед. Б           |
| 65                                | „                                                                                    | „                | „                        | То же                      |
| 70                                | „                                                                                    | „                | „                        | „                          |
| 75                                | 8 Е, 2 Ос                                                                            | „                | 5 С, 5 Е, ед. Б          | 6 Е, 4 Ос, ед. Б           |
| 80                                | 9 Е, 1 Ос                                                                            | 10 С, ед. Б      | То же                    | 7 Е, 3 Ос, ед. Б           |
| 90                                | 9 Е, 1 Ос                                                                            | То же            | „                        | 8 Е, 2 Ос                  |
| 100                               | 10 Е, ед. Ос                                                                         | „                | 4 С, 6 Е                 | 9 Е, 1 Ос                  |
| 120                               | 10 Е                                                                                 | 10 С             | То же                    | То же                      |
| 140                               | 10 Е                                                                                 | 10 С             | „                        | „                          |

леса сохранились в основном на непригодных для сельского хозяйства участках местности, характеризующихся наличием песков, мощных супесей и подзолов, оглеенных и торфяных почв, заболачиванием, близким залеганием грунтовых вод, очень большими уклонами и пр. Поля же располагаются, как правило, на участках с суглинистыми и супесчаными почвами, подстилаемыми суглинками при глубине грунтовых вод в межень более 1 м. Кроме того, вблизи населенных пунктов из-за постоянной рубки деревьев распространены мало- и средневозрастные леса с преобладанием лиственных древостоев.

## восстанавливающегося после вырубки леса

| восстановление хвойного леса через древостой |                          | Естественное восстановление леса с постоянными рубками средневозрастных хвойных и частично лиственных древостоев |                  |                           |         |
|----------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|---------|
| 5-й тип                                      | 6-й тип                  | 7-й тип                                                                                                          | 8-й тип          | средний возраст леса, лет |         |
|                                              |                          |                                                                                                                  |                  | 7-й тип                   | 8-й тип |
| 9 Б, 1 Ос, ед. С                             | 7 Ос, 3 Б                | 9 Б, 1 Ос, ед. С                                                                                                 | 9 Ос, 1 Б, ед. Е | 10                        | 10      |
| 8 Б, 1 Ос, 1 С                               | 7 Ос, 3 Б, ед. Е,<br>С   | 8 Б, 1 Ос, 1 С                                                                                                   | 9 Ос, 1 Б, ед. Е | 20                        | 20      |
| 7 Б, 2 С, 1 Ос                               | 6 Ос, 3 Б, 1 С,<br>ед. Е | 7 Б, 2 С, 1 Ос,<br>ед. Е                                                                                         | 7 Ос, 2 Б, 1 Е   | 30                        | 30      |
| 7 Б, 3 С, ед. Ос                             | 5 Ос, 3 Б, 1 С,<br>1 Е   | 7 Б, 3 С, ед. Е, Ос                                                                                              | 7 Ос, 2 Б, 1 Е   | 35                        | 35      |
| 6 Б, 4 С, ед. Ос                             | 4 Ос, 3 Б, 2 С,<br>1 Е   | 6 Б, 3 С, 1 Е                                                                                                    | 6 Ос, 3 Б, 1 Е   | 40                        | 40      |
| То же                                        | 4 Ос, 3 Б, 2 С,<br>1 Е   | То же                                                                                                            | 6 Ос, 3 Б, 1 Б   | 45                        | 45      |
| "                                            | 3 Ос, 3 Б, 2 С,<br>2 Е   | "                                                                                                                | 6 Ос, 2 Е, 2 Б   | 50                        | 50      |
| 5 С, 5 Б, ед. Ос                             | 3 Ос, 3 Б, 2 Е,<br>2 С   | 8 Б, 2 С, ед. Е                                                                                                  | 7 Ос, 2 Е, 1 Б   | 48                        | 52      |
| 5 С, 5 Б                                     | 3 Е, 2 С, 3 Б,<br>2 С    | 8 Б, 2 С, ед. Е                                                                                                  | То же            | 53                        | 53      |
| То же                                        | То же                    | 8 Б, 2 С, ед. Е, Ос                                                                                              | "                | 58                        | 58      |
| "                                            | "                        | 8 Б, 1 С, 1 Ос,<br>ед. Е                                                                                         | 6 Ос, 2 Е, 2 Б   | 62                        | 60      |
| 6 С, 4 Б                                     | 3 Е, 3 С, 3 Б, 1 Ос      | 8 Б, 1 С, 1 Е,<br>ед. Ос                                                                                         | 6 Ос, 1 Е, 3 Б   | 64                        | 64      |
| 6 С, 4 Б'                                    | 4 Е, 3 С, 3 Б,<br>ед. Ос | 6 Б, 2 С, 1 Е, 1 Ос                                                                                              | 7 Ос, 1 Е, 2 Б   | 65                        | 70      |
| 7 С, 3 Б                                     | 4 Е, 4 С, 2 Б,<br>ед. Ос | 6 Б, 1 С, 2 Е, 1 Ос                                                                                              | 7 Ос, 2 Е, 1 Б   | 56                        | 73      |
| 8 С, 2 Б                                     | 5 Е, 4 С, 1 Б            | 6 Б, 1 С, 2 Е, 1 Ос                                                                                              | 6 Ос, 2 Е, 2 Б   | 65                        | 72      |
| 9 С, 1 Б                                     | 6 Е, 4 С, ед. Б          | 6 Б, 1 С, 1 Е, 2 Ос                                                                                              | 7 Ос, 1 Е, 2 Б   | 80                        | 73      |
| 9 С, 1 Б                                     | 6 Е, 4 С, ед. Б          | 6 Б, 1 С, 1 Е, 2 Ос                                                                                              | 6 Ос, 2 Е, 2 Б   | 84                        | 86      |

Рассмотрев кратко основные типы рубок, возобновления лесов и таксометрические характеристики разновозрастных древостоев, мы как бы представили общую картину роста нового леса и возможные варианты его развития. Однако при всем кажущемся большом разнообразии развития новых лесов, существуют определенные закономерности, позволяющие выделить восемь наиболее распространенных (или главных) типов возобновления и роста нового леса. Они представлены в табл. 2.5 и использованы нами в дальнейшем в качестве основы при расчетах водопотребления и водного баланса лесных комплексов. Каждый из указанных

типов является обобщенным по двум—четырем подтипам разновидностей роста леса и эволюции сопутствующих комплексов, число которых первоначально составляло более 20.

Выделенные восемь типов возобновления и роста леса состоят из трех групп. В первой группе рассматривается восстановление леса на суглинках (1-й тип), песках (2-й тип) и супесях (3-й тип), подстилаемых суглинками на глубине более 60 см. В эту группу включены леса, восстановление которых происходит хвойными материнскими породами древостоя. Такое восстановление леса наблюдается на сплошных полосных, периодических полосных и ленточных лесосеках, на небольших по площади вырубках, на краевых участках концентрированных вырубках, на участках сплошных вырубок с оставшимся хорошим подростом, а также на вырубках и участках, где проводилось лесовосстановление — посадки леса и рубки ухода (см. рис. 2.5 и 2.9). Как указывалось выше, лесовосстановление по 1—3-му типам происходит примерно на 20—30 % суммарной площади всех лесосек.

Вторая группа характеризует естественное восстановление лесов через листовенные формации деревьев на суглинках (4-й тип), на песках (5-й тип) и на супесях, подстилаемых суглинками на глубине 50—80 см (6-й тип). Такая группа возобновления лесов типична для крупных вырубок и распространена на 40—60 % суммарной площади всех лесосек. Несмотря на оставшийся подрост хвойных деревьев (предварительное возобновление), самосев листовенных пород (последующее возобновление) опережает в росте хвойные древостои и к 10—15 годам после рубки смыкает свой полог. В этот и последующий (5—10 лет) периоды рубка представляет собой труднопроходимую чащу из подроста деревьев листовенных пород высотой 2—10 м и хвойных высотой 0,5—2 м. По мере роста листовенных пород количество хвойных деревьев сокращается, однако они успешно развиваются и к 25—30 годам уверенно занимают второй и третий ярусы листовенного леса. К 40—60 годам листовенные породы достигают фазы спелости и многие хвойные древостои выходят в первый ярус, однако наибольшее количество елей остается во втором и третьем ярусах, препятствуя дальнейшему развитию подроста листовенных пород (см. рис. 2.8). На этом конкурентная борьба пород древостоев не заканчивается: в зимнее время ветви осин и берез охлестывают вершины хвойных деревьев, чем задерживают на 10—15 лет дальнейший их рост в высоту. Однако листовенные породы стареют, выпадают и уступают свое место хвойным деревьям. В период с 40 до 60 лет суммарный запас фитомассы в лесах смешанного состава древостоев достигает своего наивысшего значения (см. рис. 2.14).

К 80 годам значительная часть листовенных деревьев отмирает и в первом ярусе преобладают хвойные древостои. Наступает приспевающая фаза развития хвойного леса. Ветви в нижних и средних частях стволов отмирают (см. рис. 2.9 и 2.10). Оставшаяся крона смыкает свой полог, препятствуя проникновению солнечных

лучей к почве. Лес делается наиболее «темным». Почвенный покров в нем представляет в основном опад хвон с жидким разнотравьем.

Затем в фазе спелости кроны деревьев редеют, занимая  $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{5}$  верхних частей стволов, лес светлеет и на опаде хвон начинает интенсивно развиваться напочвенная растительность (см. рис. 2.11 и 2.12).

В фазе старости лес еще более светлеет за счет дальнейшего отмирания кроны и выпадения отдельных деревьев. Напочвенная растительность получает возможность еще больше развиваться.

В последующие десятилетия лесной комплекс почти не меняется, так как на смену старых усыхающих и выпадающих древостоев выходят в первый ярус ели и сосны из второго яруса. Световой режим для напочвенной растительности не претерпевает больше изменений; делается стабильным и водный баланс такого лесного участка. «Все возвращается на круги своя» [77], т. е. к состоянию перед вырубкой старого леса.

В третью группу включены леса с естественным восстановлением через листовые формации древостоев на супесях (7-й тип) и суглинках (8-й тип). Однако естественное развитие этих лесов искажено постоянными рубками средневозрастных хвойных и частично листовых древостоев. Такие леса распространены в обжитых районах, а также вблизи небольших рек, лесовозных и шоссейных дорог и составляют 10—30 % суммарной площади лесов, а в отдельных районах подзоны южной тайги — до 50 %. Указанные заготовки леса по типу выборочных рубок удовлетворяют обычно местные потребности, но производятся также специализированными лесозаготовителями.

Взрослые леса, искаженные такими рубками, имеют сравнительно небольшой возраст. Так, если за первые 50 лет восстановления леса средний возраст для 7—8-го типов равен 50 годам, то за 70 лет восстановления он равен 61 году, за 100 лет — равен 69 годам, а за 140 лет — 85 годам (см. табл. 2.5). За то же время (140 лет) средний возраст лесов, восстанавливающихся по 1—3-му типу, равен 130 годам, по 4—6-му — 120 годам. Эти возрастные различия также учтены нами при оценке изменений элементов водного баланса лесных участков.

В заключение приведем важный вывод о различиях структуры лесов в густо- и малонаселенных районах, основанный на рассмотрении лесных биогеоценозов и их изменений под влиянием хозяйственных мероприятий на территории 21 области и республик лесной зоны ЕТС:

— в густонаселенных районах с развитым земледелием леса давно и постоянно эксплуатировались; в них преобладают молодые и средневозрастные древостои с большим содержанием листовых пород; лесистость таких районов и большинства речных водосборов небольшая — 10—35 %;

— в менее населенных местах с лесистостью 40—65 % средний возраст лесов выше, чем в густонаселенных районах, и значительно больше хвойных деревьев;

— в малонаселенной местности с лесистостью от 70 до 95 % преобладают спелые и перестойные, в основном хвойные леса, многие участки которых еще не рубились.

Это, на первый взгляд, простое положение о сложившейся структуре современных лесов (рис. 2.15) не замечалось гидрологами, сопоставлявшими сток с речных водосборов, отличающихся процентом залесенности. Не обращалось также внимание, кроме

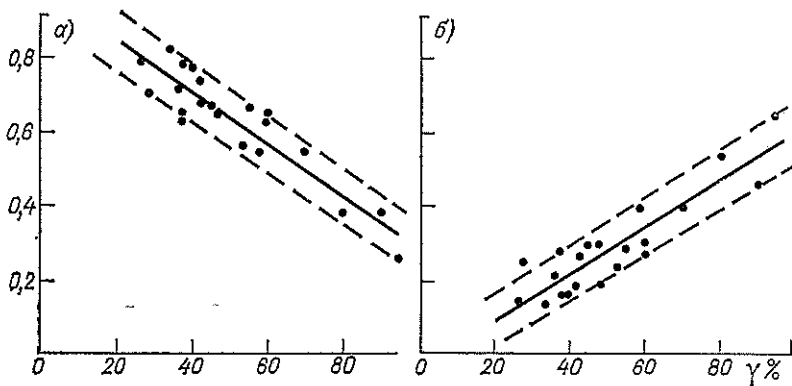


Рис. 2.15. Зависимость доли площади лесов от общей залесенности ( $\gamma$ ) территорий в лесной зоне ЕТС (без подзоны северной тайги).

а — площадь лесов в возрасте 20—80 лет в долях от всей площади леса по состоянию на 1972 г.; б — то же в возрасте 90—160 лет.

А. А. Соколова [77], С. Ф. Федорова [84], А. И. Субботина [78] и автора [34, 39, 41], на различный состав почво-грунтов, рельеф местности и гидрогеологические условия в лесах и полях, влияющие на элементы водного баланса и сток в реки.

### 3. Водопотребление лесными комплексами в течение векового периода роста леса

#### 3.1. Метеорологические условия и их изменчивость

В п. 2.3 указывалось, что современные леса сформировались примерно 500 лет назад. За это время произошла смена трех-четырёх поколений хвойных и шести-восьми поколений мягколиственных древостоев. Поскольку наши выводы распространяются на период имеющихся данных о стоке рек (1880—1980 гг.), т. е.

на одно поколение современных лесов, то нас интересуют изменения средних климатических характеристик за этот период по возрастным ступеням роста леса. Для мягколиственных древостоев они соответствуют 10, а для хвойных — 20 годам.

За норму температуры воздуха мы условно принимаем данные за 100-летний период наблюдений [69], за осадками — 90-летний (с 1891 г.). За указанный период осадки измерялись и приводились к однородному в метеорологическом плане ряду с погрешностью 10%. За более ранние годы данные по осадкам малонадежны. Для сравнения данные по метеостанции Ленинград сопоставлялись с данными отдельных станций, расположенных на широте 58—60.

Основным энергетическим показателем роста леса является температура воздуха. В табл. 3.1 представлена изменчивость средних значений температуры по 10 и 20-летиям: за год, за самый теплый месяц (июль), за период активной вегетации древесной растительности (май—сентябрь), а также за холодный период года (октябрь—апрель). Изменчивость средних годовых значений температуры по 10-летиям несколько больше (абсолютное значение отклонений 0,3°C), чем за 20-летия (0,25°C). Можно считать, что средние годовые значения температуры за прошедшие 10-летия отличались от их нормы в пределах  $\pm 0,5$ —0,7°C, а за 20-летия —  $\pm 0,4$ °C. Средние значения температуры июля за 10-летия отклонялись от нормы в пределах  $-0,9$ ... +1,4°C, а за 20-летия —  $\pm 0,7$ °C. Почти в этих же пределах находились отклонения средних значений температуры за период вегетации. Поэтому можно сделать заключение о том, что температурный фон прошедшего столетия не очень существенно менялся по возрастным ступеням роста современного спелого леса. Однако, если рассматривать 150-летний период, то в нем прослеживается тенденция к общему потеплению: средняя годовая температура воздуха за 1831—1880 гг. составляла 3,6°C, за 1881—1930 гг. 4,1 и за 1931—1980 гг. 4,7°C.

Средняя температура июля за указанные 50-летия соответственно была 17,2; 17,6 и 18,0°C. Аналогичные данные по всем месяцам года приводятся в работе [69].

По станции Киров за 1881—1980 гг. средняя годовая температура воздуха равна 1,6°C; средние температуры за 10-летия отклонялись от нормы на  $\pm 0,7$ °C, а июля — до  $-1,6$ ... +1,0°C (норма 17,8°C), т. е. изменчивость была такой же, как и по станции Ленинград. Средние температуры воздуха за 1881—1930 гг. и 1931—1980 гг. по станции Киров соответственно составляли для года 1,3 и 1,9°C, июля 17,7 и 17,8. Подобные изменения температуры воздуха наблюдались и по станции Вологда.

Таким образом, в северо-западной и северо-восточной части ЕТС изменчивость температурного фона была незначительной по абсолютному значению и переменной по знаку за различные 10 и 20-летия векового периода, но с некоторым потеплением во второй половине рассматриваемого столетия. На территории

Таблица 3.1

Средние значения температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) за 10 ( $\bar{t}_{10}$ ) и 20-летия ( $\bar{t}_{20}$ ) и их отклонения от нормы ( $\Delta\bar{t}_{10}$ ,  $\Delta\bar{t}_{20}$ ), вычисленной за 1881—1980 гг., по станции Ленинград

| Период    | За год         |                      |                |                      | Июль           |                      |                |                      | Период активной вегетации растений (V—IX) |                      |                |                      | Холодный период (X—IV) |                      |                |                      |
|-----------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|-------------------------------------------|----------------------|----------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------|----------------------|
|           | $\bar{t}_{10}$ | $\Delta\bar{t}_{10}$ | $\bar{t}_{20}$ | $\Delta\bar{t}_{20}$ | $\bar{t}_{10}$ | $\Delta\bar{t}_{10}$ | $\bar{t}_{20}$ | $\Delta\bar{t}_{20}$ | $\bar{t}_{10}$                            | $\Delta\bar{t}_{10}$ | $\bar{t}_{20}$ | $\Delta\bar{t}_{20}$ | $\bar{t}_{10}$         | $\Delta\bar{t}_{10}$ | $\bar{t}_{20}$ | $\Delta\bar{t}_{20}$ |
| 1881—1890 | 4,0            | —0,4                 |                |                      | 17,7           | —0,1                 |                |                      | 13,6                                      | —0,3                 |                |                      | —2,9                   | —0,5                 |                |                      |
| 1881—1900 |                |                      | 4,0            | —0,4                 |                |                      | 17,6           | —0,2                 |                                           |                      | 13,5           | —0,4                 |                        |                      | —3,0           | —0,6                 |
| 1891—1900 | 3,9            | —0,5                 |                |                      | 17,4           | —0,4                 |                |                      | 13,4                                      | —0,5                 |                |                      | —3,0                   | —0,6                 |                |                      |
| 1891—1910 |                |                      | 4,1            | —0,3                 |                |                      | 17,2           | —0,6                 |                                           |                      | 13,4           | —0,5                 |                        |                      | —2,6           | —0,2                 |
| 1901—10   | 4,2            | —0,2                 |                |                      | 16,9           | —0,9                 |                |                      | 13,3                                      | —0,6                 |                |                      | —2,2                   | 0,2                  |                |                      |
| 1901—20   |                |                      | 4,2            | —0,2                 |                |                      | 17,7           | —0,1                 |                                           |                      | 13,6           | —0,3                 |                        |                      | —2,4           | 0                    |
| 1911—20   | 4,2            | —0,2                 |                |                      | 18,5           | 0,7                  |                |                      | 13,8                                      | —0,1                 |                |                      | —2,6                   | —0,2                 |                |                      |
| 1911—30   |                |                      | 4,2            | —0,2                 |                |                      | 18,0           | 0,2                  |                                           |                      | 13,8           | —0,1                 |                        |                      | —2,6           | —0,2                 |
| 1921—30   | 4,3            | —0,1                 |                |                      | 17,5           | —0,3                 |                |                      | 13,8                                      | —0,1                 |                |                      | —2,5                   | —0,1                 |                |                      |
| 1921—40   |                |                      | 4,7            | 0,3                  |                |                      | 18,4           | 0,6                  |                                           |                      | 14,3           | 0,4                  |                        |                      | —2,2           | 0,2                  |
| 1931—40   | 5,1            | 0,7                  |                |                      | 19,2           | 1,4                  |                |                      | 14,8                                      | 0,9                  |                |                      | —1,8                   | 0,6                  |                |                      |
| 1931—50   |                |                      | 4,7            | 0,3                  |                |                      | 18,5           | 0,7                  |                                           |                      | 14,4           | 0,5                  |                        |                      | —2,2           | 0,2                  |
| 1941—50   | 4,3            | —0,1                 |                |                      | 17,8           | 0,0                  |                |                      | 14,0                                      | 0,1                  |                |                      | —2,7                   | —0,3                 |                |                      |
| 1941—60   |                |                      | 4,4            | 0,0                  |                |                      | 17,8           | 0,0                  |                                           |                      | 14,0           | 0,1                  |                        |                      | —2,6           | —0,2                 |
| 1951—60   | 4,4            | 0,0                  |                |                      | 17,7           | —0,1                 |                |                      | 13,9                                      | 0,0                  |                |                      | —2,4                   | 0,0                  |                |                      |
| 1951—70   |                |                      | 4,5            | 0,1                  |                |                      | 17,4           | —0,4                 |                                           |                      | 14,0           | 0,1                  |                        |                      | —2,4           | 0                    |
| 1961—70   | 4,6            | 0,2                  |                |                      | 17,1           | —0,7                 |                |                      | 14,1                                      | 0,2                  |                |                      | —2,3                   | 0,1                  |                |                      |
| 1961—80   |                |                      | 4,8            | 0,4                  |                |                      | 17,6           | —0,2                 |                                           |                      | 14,2           | 0,3                  |                        |                      | —2,0           | 0,4                  |
| 1971—80   | 5,0            | 0,6                  |                |                      | 18,0           | 0,2                  |                |                      | 14,3                                      | 0,4                  |                |                      | —1,7                   | 0,7                  |                |                      |
| Среднее   | 4,4            | 0,3                  | 4,4            | 0,25                 | 17,8           | 0,5                  | 17,8           | 0,3                  | 13,9                                      | 0,3                  | 13,9           | 0,3                  | —2,4                   | 0,3                  | —2,4           | 0,22                 |



подзон средней и южной тайги ЕТС пространственный диапазон температурных условий произрастания современных лесов значительно шире, чем отмеченные временные его колебания по отдельным станциям. Средние многолетние значения температуры воздуха по территории изменяются для года от 0,0 до 4,5°C и от 15 до 18°C для июля; сумма значений температуры воздуха выше 5°C — от 1500 до 2200°C, а продолжительность периода вегетации лесов — от 110 до 170 сут [15, 92].

Основой жизнеобеспечения лесных биогеоценозов являются атмосферные осадки. Их значения и изменчивость по 10 и 20-летиям представлены в табл. 3.2, из которой видно, что колебания увлажненности территории по 10-летиям и особенно по 20-летиям находились в пределах 10 % нормы годовых осадков, что близко к погрешностям их измерений. Наибольшее количество осадков наблюдалось в 1921—1930 гг.; для годовой суммы оно составляло 110 %, а для теплого периода 119 % нормы. В этот же период наблюдалось и существенное увеличение водности рек. Наименьшее количество осадков (92—95 % нормы) было в 1901—1910, 1911—1920, 1941—1950 гг., а для летних осадков — еще и в 1971—1980 гг. В среднем за 1891—1930 гг. слой осадков за год составил 617 мм, за последующее 50-летие — 622 мм, а для периода активной вегетации — соответственно 315 и 332 мм.

Для района Вологды и Кирова осадки по десятилетиям изменялись также в пределах 8—10 %. Поэтому можно сделать вывод о незначительной изменчивости осадков по ступеням жизни современного спелого леса, хотя на развитии древесного подроста отдельные засушливые годы и периоды могли оказать существенное влияние.

Приведенные в табл. 3.2 данные по осадкам занижены примерно на 10—15 %, так как в них введены поправки только на смачивание осадкомерного ведра и не введены поправки на испарение и ветровой недоучет [14, 21—23, 33, 53 и др.]. Суммарный поправочный коэффициент к годовым осадкам, измеренным осадкомером Третьякова, составляет для рассматриваемой территории примерно 1,25—1,35, в том числе для осадков холодного периода года 1,30—1,40 и теплого 1,12—1,18. На смачивание ведра расходуется около 10 % выпавших осадков (поправочный коэффициент 1,10). С учетом всех поправок норма годового слоя осадков изменяется на рассматриваемой территории от 700 до 800 мм [14, 15]. Поскольку поправочные коэффициенты для периодов 10 лет и более практически постоянны, то измеренные суммы осадков полностью характеризуют их изменчивость по возрастным ступеням роста леса.

Таким образом, за прошедший 100-летний период роста современных спелых лесов наблюдались незначительные колебания основных метеорологических элементов по фазам роста древостоев. Отклонения от норм средних по 10-летиям значений температуры воздуха и осадков были значительно меньше пространственного диапазона изменений норм метеорологических условий

Таблица 3.2

Среднее количество осадков (мм) за 10 ( $\bar{x}_{10}$ ) и 20-летия ( $\bar{x}_{20}$ ) и их отклонения от нормы ( $\Delta\bar{x}_{10}$ ,  $\Delta\bar{x}_{20}$ ), вычисленной за 1891—1980 гг. по станции Ленинград

| Период    | За год         |                      |                |                      | Июль           |                      |                |                      | За период активной вегетации растений (V—IX) |                      |                |                      | За X—IV        |                      |                |                      |
|-----------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------------------------------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|
|           | $\bar{x}_{10}$ | $\Delta\bar{x}_{10}$ | $\bar{x}_{20}$ | $\Delta\bar{x}_{20}$ | $\bar{x}_{10}$ | $\Delta\bar{x}_{10}$ | $\bar{x}_{20}$ | $\Delta\bar{x}_{20}$ | $\bar{x}_{10}$                               | $\Delta\bar{x}_{10}$ | $\bar{x}_{20}$ | $\Delta\bar{x}_{20}$ | $\bar{x}_{10}$ | $\Delta\bar{x}_{10}$ | $\bar{x}_{20}$ | $\Delta\bar{x}_{20}$ |
| 1891—1900 | 611            | —9                   |                |                      | 68             | 0                    |                |                      | 339                                          | 15                   |                |                      | 272            | —24                  |                |                      |
| 1891—1910 |                |                      | 594            | —26                  |                |                      | 64             | —3                   |                                              |                      | 324            | 0                    |                |                      | 270            | —26                  |
| 1901—10   | 578            | —42                  |                |                      | 61             | —7                   |                |                      | 309                                          | —15                  |                |                      | 269            | —27                  |                |                      |
| 1901—20   |                |                      | 580            | —40                  |                |                      | 51             | —16                  |                                              |                      | 304            | —20                  |                |                      | 277            | —19                  |
| 1911—20   | 583            | —37                  |                |                      | 41             | —27                  |                |                      | 298                                          | —26                  |                |                      | 285            | —11                  |                |                      |
| 1911—30   |                |                      | 640            | 20                   |                |                      | 52             | —15                  |                                              |                      | 342            | 18                   |                |                      | 298            | 2                    |
| 1921—30   | 696            | 76                   |                |                      | 64             | —4                   |                |                      | 386                                          | 62                   |                |                      | 310            | 14                   |                |                      |
| 1921—40   |                |                      | 661            | 41                   |                |                      | 72             | 5                    |                                              |                      | 358            | 34                   |                |                      | 302            | 6                    |
| 1931—40   | 626            | 6                    |                |                      | 81             | 13                   |                |                      | 331                                          | 7                    |                |                      | 295            | —1                   |                |                      |
| 1931—50   |                |                      | 606            | —14                  |                |                      | 69             | 2                    |                                              |                      | 316            | —8                   |                |                      | 290            | —6                   |
| 1941—50   | 587            | —33                  |                |                      | 57             | —11                  |                |                      | 302                                          | —22                  |                |                      | 285            | —11                  |                |                      |
| 1941—60   |                |                      | 618            | —2                   |                |                      | 68             | 1                    |                                              |                      | 314            | —10                  |                |                      | 304            | 8                    |
| 1951—60   | 649            | 29                   |                |                      | 80             | 12                   |                |                      | 325                                          | 1                    |                |                      | 324            | 28                   |                |                      |
| 1951—70   |                |                      | 642            | 22                   |                |                      | 80             | 13                   |                                              |                      | 326            | 2                    |                |                      | 316            | 20                   |
| 1961—70   | 634            | 14                   |                |                      | 80             | 12                   |                |                      | 326                                          | 2                    |                |                      | 308            | 12                   |                |                      |
| 1961—80   |                |                      | 624            | 4                    |                |                      | 79             | 12                   |                                              |                      | 312            | —12                  |                |                      | 312            | 16                   |
| 1971—80   | 613            | —7                   |                |                      | 78             | 10                   |                |                      | 298                                          | —26                  |                |                      | 315            | 19                   |                |                      |
| Средн.    | 620            | 28                   | 620            | 21                   | 68             | 11                   | 67             | 8                    | 324                                          | 20                   | 324            | 13                   | 296            | 16                   | 296            | 13                   |

Примечание. Осадки приведены к однородному ряду, т. е. к показанию осадкомера Третьякова, и введены поправки только на смачивание ведра. С учетом всех видов поправок норма годового слоя осадков равна 700 мм [14, 15].

произрастания лесов подзон средней и южной тайги ЕТС. Поэтому полученные закономерности по влагопотреблению лесов разного возраста и их влиянию на сток рек будут справедливы и для последующего 50—70-летнего периода, если существенно не изменится климат.

Широко распространено мнение о том, что лес увеличивает осадки за счет его повышенной динамической шероховатости. Последняя затрудняет движение воздушных масс, поэтому воздуш-



Рис. 3.1. Осадкомер в кустарнике. (Валдайский филиал ГГИ [23].)

ный поток над лесом резко поднимается, что способствует дополнительной конденсации влаги, увеличению облачности и осадков. Однако количественная сторона такого процесса увеличения осадков еще не определена и объективно не доказана. Поэтому правомерно поднят в печати вопрос: «Влияет ли лес на осадки?» (А. И. Субботин [79]). С большим сомнением к суждению о положительном влиянии леса на осадки относится А. А. Соколов [77] и автор настоящей книги. Дело в том, что принимаемое увеличение осадков лесом на 5—10 % меньше погрешности ветрового недоучета осадков. Стоит только устранить ветер, искажающий ветровое поле вокруг осадкомера, как осадки сразу увеличиваются. В. С. Голубев [21—23 и др. его работы], посвятивший многие годы исследованию этого явления, рекомендует для открытой местности устанавливать осадкомеры в кустарниках (рис. 3.1) или в двойной заборной ветровой защите (рис. 3.2). Для леса С. Ф. Федоров [84—86] и автор [12] рекомендуют устанавливать

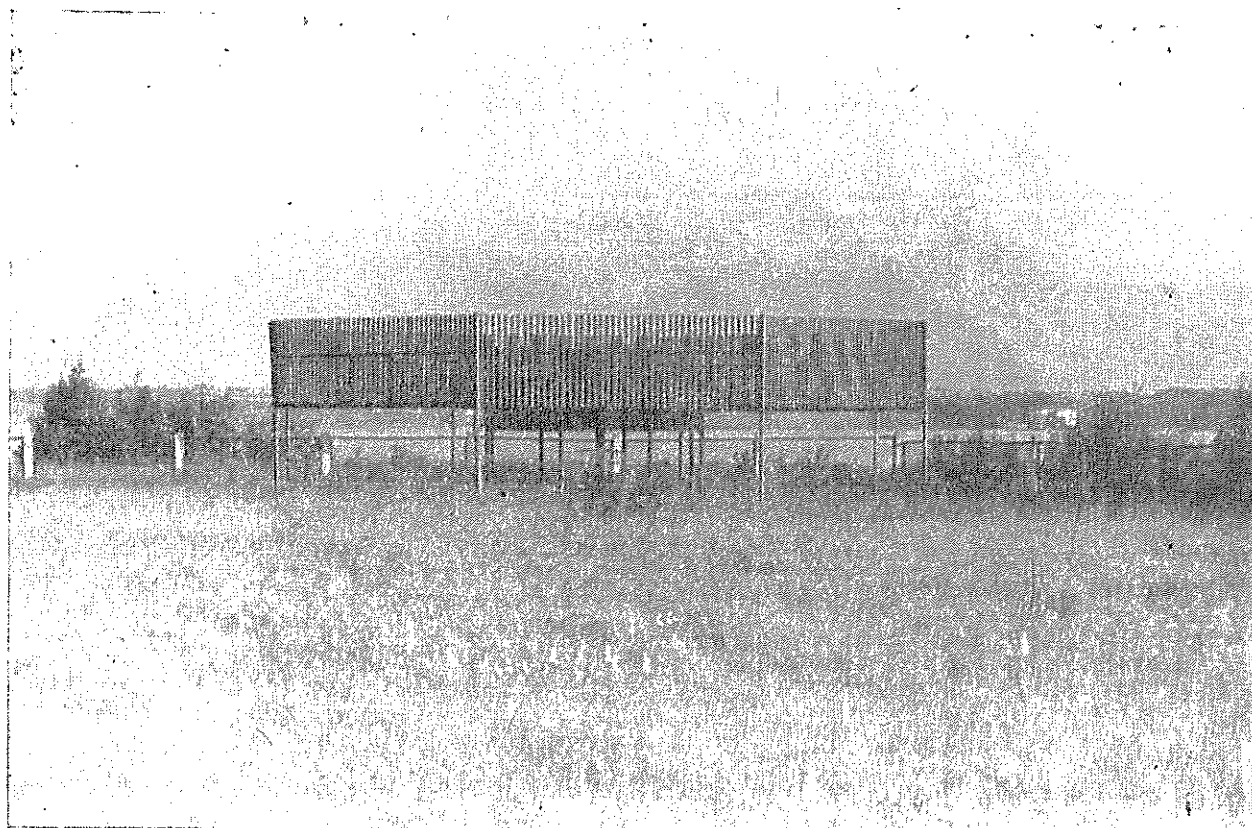


Рис. 3.2. Осадкомер в двойной заборной защите. (Валдайский филиал ГГИ [24].)

осадкомеры на небольших полянах в глубине леса среди изреженного или невысокого лиственного древостоя (см. рис. 3.2). При этом следует избегать небольших полян среди высокоствольного хвойного леса (там осадки завышаются на 5—20%, см. табл. 3.3), а также больших полян или вырубок (более 200 × 200 м), где из-за влияния ветра часть осадков не попадает в осадкомерные приборы. Нельзя устанавливать сравнимые (лес—поле) осадкомерные приборы в приопушечной зоне, т. е. в 500—800 м от края леса, где действительно могут наблюдаться дополнительные осадки.

Если соблюдать указанные условия установки осадкомеров в поле и в лесу и выполнять все требования по измерению осадков

Таблица 3.3

Соотношение осадков, достигающих поверхности почвы и выпадающих над лесом [12, 35, 37]

| Вид леса                                                                                                 | Средняя<br>полнота леса | Соотношение осадков в период |      |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|------|------|
|                                                                                                          |                         | X—IV                         | V—IX | год  |
| Еловый                                                                                                   | 0,8                     | 0,75                         | 0,75 | 0,75 |
|                                                                                                          | 0,4                     | 0,80                         | 0,80 | 0,80 |
| Сосновый                                                                                                 | 0,8                     | 0,80                         | 0,80 | 0,80 |
|                                                                                                          | 0,4                     | 0,90                         | 0,90 | 0,90 |
| Елово-сосновый                                                                                           | 0,8                     | 0,75                         | 0,75 | 0,75 |
|                                                                                                          | 0,4                     | 0,85                         | 0,85 | 0,85 |
| Смешанный                                                                                                | 0,8                     | 0,92                         | 0,80 | 0,85 |
|                                                                                                          | 0,4                     | 0,97                         | 0,85 | 0,90 |
| Лиственный                                                                                               | 0,8                     | 1,00                         | 0,85 | 0,90 |
|                                                                                                          | 0,4                     | 1,00                         | 0,90 | 0,93 |
| Кустарник лиственный с подростом хвойных пород                                                           | 1,0                     | 0,95                         | 0,80 | 0,85 |
| Лес на вырубках в возрасте 10—15 лет                                                                     | 0,5                     | 1,00                         | 0,85 | 0,90 |
| Редколесье (смешанный лес) и облесенные болота с угнетенной формой развития древостоя                    | 0,1—0,3                 | 1,00                         | 0,95 | 0,97 |
| Поляны и вырубки небольших размеров (шириной 50—200 м) среди высокоствольного хвойного леса [12, 85, 86] | —                       | 1,1—1,2                      | 1,00 | 1,05 |
| То же среди изреженного лиственного леса                                                                 | —                       | 1,00                         | 1,00 | 1,00 |
| Крупные вырубки (шириной более 400 м) с несомкнувшимся древостоем [85, 86]                               | —                       | 1,00                         | 0,97 | 0,98 |

[62], то можно зафиксировать почти полное равенство выпадающих осадков над этими элементами ландшафта. Мы неоднократно убеждались в этом на основании многолетних экспериментальных исследований на Валдае в разных лесах и в Кировской области. Наличие таких трудно опровержимых данных привело к тому, что в последнее десятилетие некоторые ученые, в частности С. Ф. Федоров, стали склоняться к выводу о том, что лес несколько увеличивает только крупнокапельные (ливневые) летние осадки и почти не влияет на количество осадков остальных периодов года. Тем самым намечается отход от господствующей гипотезы турбулентного увеличения осадков над лесом, так как мелкокапельные жидкие и твердые осадки должны выше подниматься воздушным потоком над лесом и более эффективно способствовать уплотнению капельновоздушной среды и увеличению осадков.

В такой постановке вопроса отдельные участки мелколесья, разновозрастных вырубок, поляны и поля среди лесов не могут повлиять на осадки над лесом, если рассматривать крупный лесной массив. Поэтому автор считает что количество осадков, выпадающих над лесом, не зависит от его видового состава, высоты и возраста, наличия полян и вырубок, а зависит от географического положения и высоты местности изучаемого объекта.

Все сказанное выше относится только к равнинным районам лесной зоны ЕТС с облесенностью местности более 40 % и не может быть распространено на районы, где леса располагаются пятнами среди полей.

### 3.2. Испарение осадков, задержанных кронами деревьев

Явление задержания, или перехвата, осадков кронами деревьев весьма полно освещено в научной литературе. В обобщенном виде данные по задержанию осадков кронами леса имеются в ряде работ А. А. Молчанова, С. Ф. Федорова, А. Г. Булавко, Н. А. Воронкова и автора [11, 16, 32—35, 37, 57—61, 84].

В настоящее время общепризнано, что та часть осадков, которая задержалась в кронах деревьев и не достигла почвы, расходуется в основном на испарение. Это положение справедливо, если рассматривать явление за длительные интервалы времени: для жидких осадков — за декаду — месяц, для твердых — за весь зимний период, т. е. от начала выпадения первых твердых осадков до начала интенсивного весеннего снеготаяния в лесах, когда весь снег на кронах деревьев исчезнет. Таким условиям соответствуют данные табл. 3.3, полученные в результате обобщения большого материала экспериментальных наблюдений, выполнявшихся в 1900—1980 гг. на территории ЕТС и в отдельных странах Западной Европы. Эти данные показывают хорошую сходимость результатов наблюдений при близкой полноте однородных по составу лесов, расположенных в разных районах. Например, в обобщениях Булавко для Белоруссии [11] задержание осадков за

май—сентябрь высокополнотным разновозрастным хвойным лесом составляет 103 мм, или 25 %, а в лиственных лесах 55 мм, или 14 % суммы выпавших осадков, т. е. эти данные расходятся с нашими всего на 1—2 %. Зимнее задержание осадков лиственным лесом совпадает с нашими данными в пределах 2 %. В работе [11] даются также сведения по задержанию осадков лесами разного возраста и полноты.

В табл. 3.3 приводятся относительные значения осадков, достигающих поверхности почвы, в разных по видовому составу и полноте (густоте) лесах вне зависимости от их возраста и высоты. Это позволяет производить массовые расчеты задержания осадков кронами различных лесов. Относительное количество задержания осадков определяется по табл. 3.3 как дополнение до единицы. Например, задержание осадков в густых лесах (полнота 0,8) равно: в ельниках 0,25, сосняках 0,20, смешанных древостоях 0,15 и в лиственных 0,10 от годовой суммы осадков, выпавших над лесом.

Для лесного массива задержание осадков лесом определяется как среднее взвешенное значение, т. е. с учетом площади, занимаемой данным видом и полнотой древостоев. Например, в лесу 6Е, 4 Ос полнотой 0,8 задержание и испарение осадков кронами древостоев за год равно  $(0,25 \cdot 0,6Е) + (0,1 \cdot 0,4 Ос) = 0,19$ .

Следует учитывать, что на участках с очень густым спелым еловым лесом (полнота 0,9—1,0), а также в густых молодых ельниках задержание осадков достигает соответственно 30 и 35 %, а в густых молодых сосняках — 25 % выпавших над лесом осадков холодного и теплого периодов года [11, 16, 33, 84].

Поскольку видовой состав и полнота леса не остаются постоянными в течение векового периода его роста, то и задержание (испарение) осадков кронами деревьев претерпевает значительные изменения. Зная изменения видового состава древостоев (см. табл. 2.5) и примерные значения его полноты по фазам развития восстанавливаемого леса, рассчитано восемь типов хода испарения осадков с последующим осреднением их по трем основным группам. Ход этого испарения ( $E_{ос}$ ) представлен в табл. 3.4, а также на рис. 3.8. В первые годы после вырубki хвойного леса осадки задерживаются кронами несрубленных деревьев и оставшегося подростa, а также развивающимся растительным покровом. По прошествии 10—15 лет на вырубках, зарастающих лиственным молодняком и кустарниками, задержание осадков несколько увеличивается и равно суммарному количеству задержания осадков кронами древесной и напочвенной растительности. В дальнейшем, с увеличением объема зеленой массы крон задержание увеличивается до количества, соответствующего лиственным лесам, затем смешанным и, наконец, хвойным древостоям в приспевающей фазе их развития — наступает максимум задержания осадков (вторая группа типов естественного восстановления лесов). В третьей группе, когда постоянно рубят хвойные древостои, максимум задержания осадков приходится на леса

50—60-летнего возраста, так как после вырубki хвойных древостоев господствующее положение занимают лиственные породы. В первой группе возобновления лесов — по хвойным типам — максимум задержания осадков соответствует максимальному развитию крон, т. е. к 40—50 годам. В дальнейшем, по мере отмирания крон, задержание осадков уменьшается и, поскольку оно зависит от объема крон деревьев, который характеризует массу зеленой хвои и листья, должны существовать связи между задержанием

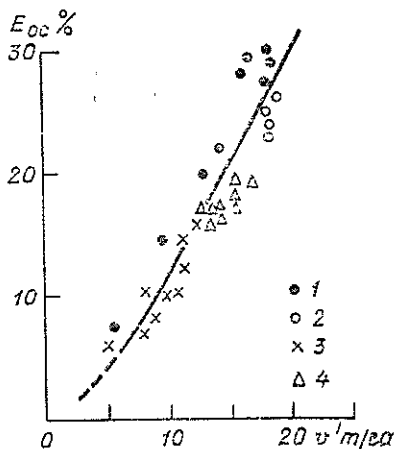


Рис. 3.3. Связь осадков, задержанных кронами деревьев ( $E_{ос}$  в % годовой суммы осадков над лесом) и фитомассой ( $v'$ ) в лесах, восстанавливающихся через хвойные (1, 2) и лиственные (3, 4) формации деревьев.

Возраст леса: 1 и 3 — от 10 до 60 лет, 2 и 4 — от 65 до 140 лет.

осадков и фитомассой древостоев (рис. 3.3). Связи получены по данным табл. 3.4 и рис. 2.14. При этом средневзвешенная фито-

Таблица 3.4

Задержание осадков ( $E_{ос}$ ) кронами деревьев совместно с растительным покровом в период восстановления лесов и сравнение с нормой годовых осадков ( $\bar{x}$ ) в подзонах южной и средней тайги ЕТС

| Характеристика                                           | Группа типа восстановлен. леса | Возраст леса, число лет после вырубki |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                                          |                                | 5                                     | 10 | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 80  | 100 | 120 | 140 |
| $E_{ос}$ (мм) в подзоне южной тайги при $\bar{x}=725$ мм | I                              | 40                                    | 50 | 100 | 150 | 200 | 225 | 190 | 165 | 140 | 125 | 125 |
|                                                          | II                             | 40                                    | 40 | 40  | 50  | 70  | 90  | 115 | 130 | 135 | 125 | 125 |
|                                                          | III                            | 40                                    | 40 | 40  | 50  | 70  | 85  | 90  | 75  | 80  | 80  | 80  |
| $E_{ос}/\bar{x}$ %                                       | I                              | 6                                     | 7  | 14  | 20  | 28  | 30  | 27  | 23  | 19  | 17  | 17  |
|                                                          | II                             | 6                                     | 6  | 6   | 7   | 10  | 12  | 16  | 18  | 19  | 17  | 17  |
|                                                          | III                            | 6                                     | 6  | 6   | 7   | 10  | 12  | 12  | 10  | 10  | 10  | 10  |

Примечание. Группа I включает 1—3-й типы, группа II — 4—6-й типы и группа III — 7—8-й типы восстановления лесов (см. табл. 2.5).



масса вычислялась в соответствии с изменением видового состава лесов по фазам их развития (см. табл. 2.5).

### 3.3. Испарение под пологом леса

Этот вид влагопотребления лесным комплексом складывается из испарения с почвы, лишенной растительности (лесная подстилка, опад хвой и листвы); с поверхности различных мхов, включая лишайники; испарения и транспирации растительным покровом (различные травы, кустарнички), древесным подростом и кустарниками, занимающими третий ярус. Суммарное испарение под пологом леса определяется как среднее взвешенное значение, т. е. с учетом площадей, занимаемых каждым видом испаряющей и транспирирующей поверхности. Поскольку световой режим под пологом леса и количество осадков, достигающих почвы, изменяются с возрастом леса, то меняются: режим влажности почв, виды лесной подстилки и напочвенной растительности и их количественные соотношения на площади лесного участка. Поэтому испарение под пологом леса не остается постоянным в течение векового периода роста леса. Такая динамика испарения для чистых (одновидовых) высокополнотных лесов показана в работах А. А. Молчанова, в частности при рассмотрении водных балансов разновозрастных лесов ЕТС [58—60].

К настоящему времени накоплены весьма обширные данные наблюдений за испарением с почвы и растительного покрова под пологом леса. Наиболее полные результаты многолетних наблюдений приводятся С. Ф. Федоровым [84] (табл. 3.5). Из этих данных видна большая изменчивость испарения различными растительными сообществами: от 55 до 185 мм, или от 30 до 100 %, по сравнению с наиболее влагопотребляемыми видами (злаково-осоковыми) и от 14 до 46 % по сравнению с суммарным испарением всего лесного комплекса, представленного 10 Е, ед. С, Б, Ос в период его развития с 70 до 85 лет.

Каждой фазе развития леса присущи свои соотношения площадей, занятых напочвенной растительностью (см. п. 2.3). Поэтому средневзвешенное испарение под пологом леса будет меняться с возрастом древостоя.

Для елового леса лога Таежного в возрасте 80 лет оно составляло 126 мм, или 31 % суммарного испарения этого лесного комплекса [84]. Для воднобалансовой площади № 4, покрытой еловым древостоем 35-летнего возраста, полнотой 0,9, испарение с почвы (лесная подстилка, представленная опадом хвой, редкое разнотравье) не превышало 80 мм и составляло около 20 % суммарного испарения с площадки за май—сентябрь.

Соотношение между испарением под пологом всего елового леса лога Таежного и с луга не оставалось постоянным в течение 20-летнего периода наблюдений (1955—1974 гг.). Оно увеличивалось по мере взросления леса и уменьшения объема его кроны и

Таблица 3.5

Средние многолетние значения испарения под пологом елового леса на водосборе лога Таежного Валдайского филиала ГГИ, 1955—1967 гг. [84]

| Растительный покров                                                                | Испарение за май—сентябрь |                        |                              |                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------------------|
|                                                                                    | мм                        | в % к злаково-осоковым | в % к луговой растительности | в % к суммарному испарению с водосбора |
| Злаково-осоковые                                                                   | 185                       | 100                    | 52                           | 46                                     |
| Папоротник                                                                         | 177                       | 96                     | 50                           | 44                                     |
| Малина                                                                             | 162                       | 88                     | 46                           | 40                                     |
| Брусника                                                                           | 117                       | 63                     | 33                           | 29                                     |
| Мох-сфагнум на болоте под лесом IV кл. бонитета                                    | 112                       | 60                     | 32                           | 28                                     |
| Черника                                                                            | 90                        | 49                     | 25                           | 22                                     |
| Кислица на опаде хвои                                                              | 75                        | 41                     | 21                           | 18                                     |
| Разные виды лесной подстилки без растительности                                    | 55                        | 30                     | 16                           | 14                                     |
| Разнотравье на суходольном лугу                                                    | 355                       | 192                    | 100                          | 88                                     |
| Среднее взвешенное с учетом площади водосбора, занятой каждым видом растительности | 126                       | 68                     | 35                           | 31                                     |
| Водосбор с еловым лесом 80 лет, полнотой 0,7, I кл. бонитета                       | 406                       | 220                    | 114                          | 100                                    |

составляло: 33 % при среднем возрасте древостоя 70 лет, 38 % — 75 лет, 42 % — 80 лет и 43 % — 85 лет. В настоящее время (1983 г.) средний возраст древостоя водосбора соответствует примерно 95—100 годам и под его сильно изреженным пологом (крона деревьев осталась в верхней третьей части стволов) преобладает высокая напочвенная растительность (папоротники, злаково-осоковые, зонтичные, малина) и появился подрост лиственных деревьев и кустарников. В соответствии с табл. 3.5 эти виды напочвенной растительности по сравнению с лугом испаряют 50 % влаги, а с учетом всех видов растительности, включая болотные, испарение под пологом леса водосбора составляет около 47 % испарения с луга.

По данным многолетних наблюдений Подмосковной воднобалансовой станции [80], испарение с разнотравья под пологом березового леса (примерный состав 9 Б, I Е, ед. Ос, С с редким еловым подростом) за май—сентябрь составляло в среднем 135 мм, или 46 % испарения с разнотравья суходольного луга (табл. 3.6). Это соотношение в течение трех пятилетий не оставалось постоянным, что могло обуславливаться различной световой затененностью почвы и неодинаковым количеством в ней влаги, доступной для роста травяного покрова. Похоже, что в 45-летнем лесу появились наиболее благоприятные условия для произрастания напочвенной растительности и древесного подростка. Эти данные как бы подтверждают наши многолетние наблюдения за состоянием растительности под пологом лесов и предположение

Таблица 3.6

Средние многолетние значения испарения за май—сентябрь с суходольного луга и под пологом березового леса в разные фазы его развития (Подмосковная воднобалансовая станция [80])

| Период, годы | Примерный возраст и полнота леса | Испарение с лугового разнотравья, мм | Испарение с лесного разнотравья |            |
|--------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|------------|
|              |                                  |                                      | мм                              | в % к лугу |
| 1959—63      | 35 лет; 0,9                      | 310                                  | —                               | —          |
| 1964—68      | 40 лет; 0,8                      | 300                                  | 130                             | 43         |
| 1968—73      | 45 лет; 0,7                      | 265                                  | 145                             | 55         |
| 1974—80      | 51 год; 0,7                      | 325                                  | 133                             | 41         |
| 1964—80      | 45 лет; 0,7                      | 295                                  | 135                             | 46         |

о том, что развитие напочвенного покрова в лесах может иметь несколько наиболее благоприятных периодов — апогеев.

По сравнению с еловым лесом той же полноты и класса возраста (см. табл. 3.5) соотношение испарения под пологом леса и с луга больше в березовом лесу (46 %), чем в еловом (35 %). По сравнению с лугом испарение с разнотравья в березовом лесу конкурирует с малиной и папоротником, поселяющимися в еловых лесах на прогалинах и на участках леса полнотой менее 0,6, т. е. на более освещенных участках.

По отношению к среднему многолетнему слою осадков, выпадающих в мае—сентябре над лесом, испарение под пологом 45-летнего березового леса составляло 34 %, под пологом елового 80-летнего древостоя — 27 % и 35-летнего — 17 % (осадки в березовом и еловом лесах были соответственно равны 400 и 460 мм). Это также указывает на потенциальное превышение испарения с почвы и напочвенной растительности в лиственных лесах по сравнению с еловыми.

По наблюдениям А. А. Молчанова в Московской области, суммарное испарение с почвы и напочвенной растительности под пологом леса за май—сентябрь составляло: со сплошного покрова из вейника 205 мм (принимаемым за 100 %), перловника 143 мм (70 %), кислицы 151 мм (74 %), брусники 129 мм (63 %) и черники 116 мм (57 %), т. е. в данном лесу соотношения испарения с разных поверхностей за несколько лет наблюдений были близки к указанным в табл. 3.5.

Аналогичные соотношения между испарением с отдельных видов напочвенного покрова под пологом леса, а также с луга рассматривались рядом других исследователей за конкретные годы, но во многих случаях при этом не известен возраст и полнота леса. Как показано в [84], суммарное испарение под пологом елового леса при среднем многолетнем значении 125 мм изменяется в отдельные годы от 100 до 150 мм и зависит от сочетания тепла и влаги, т. е. радиационного индекса сухости. В березовом

лесу [80] испарение под пологом леса изменялось от 90 до 180 мм, а его соотношение с испарением лугового разнотравья — от 0,3 до 0,6. Поэтому при наличии данных по отдельным годам для определения средних многолетних соотношений между испарением каких-либо видов напочвенной растительности и испарением со всего леса или луга или с испаряемостью приходится отыскивать годы с метеорологическими условиями, близкими к средним значениям осадков, температуры воздуха и испаряемости.

В позднеосенние месяцы года (октябрь—ноябрь) испарение с почвы и снега в лесу примерно равно половине испарения в поле. Последнее очень близко к испаряемости [84] и в среднем равно 10 мм в районах средней и 15—20 мм южной таежных подзон ЕТС.

За декабрь—март испарение в поле составляет около 30 мм, а под пологом леса 5—10 мм, чем в основном и объясняется превышение снеготазпасов к концу зимы в лесах (на 20 мм) по сравнению с полем [39]. При этом испарение со снега на вырубках и в лиственных лесах составляет примерно 10 мм, а в хвойных — 5 мм. Однако суммарное испарение в хвойных лесах (с поверхности снежного покрова и осадков, задержанных кронами деревьев) достигает 30—40 мм и, по мнению Федорова [84], превышает испарение с поверхности снега в поле на 25 %.

В ранний весенний период (апрель—начало мая) испарение под пологом леса почти не зависит от вида лесной подстилки и растительного покрова и близко к испаряемости. По данным экспедиционных исследований в бассейне р. Вятки, за этот период года установлены соотношения между испарением в различных лесах, дефицитом влажности воздуха, а также осадками [36] и получено среднее многолетнее испарение с различных поверхностей (табл. 3.7). В соответствии с этими данными испарение

Таблица 3.7

Средние значения составляющих суммарного испарения (мм) с поля и леса в ранний весенний период (апрель) в бассейне р. Вятки за 1951—1977 гг.

| Угодье                                  | Испарение |         |                         | Транспирация | Наполнение стволов деревьев водой [33] | Сумма |
|-----------------------------------------|-----------|---------|-------------------------|--------------|----------------------------------------|-------|
|                                         | со снега  | с почвы | осадков с крон деревьев |              |                                        |       |
| Поле                                    | 8         | 22      | 0                       | 0            | 0                                      | 30    |
| Лес полнотой 0,7:                       |           |         |                         |              |                                        |       |
| лиственный                              | 5         | 10      | 0                       | 0            | 3                                      | 18    |
| смешанный                               | 6         | 8       | 4                       | 5            | 4                                      | 27    |
| хвойный                                 | 6         | 6       | 7                       | 9            | 5                                      | 33    |
| смешанный с преобладанием хвойных пород | 6         | 6       | 6                       | 8            | 4                                      | 30    |
| Вырубки свежие размером более 300 м     | 8         | 12      | 0                       | 0            | 0                                      | 20    |

с поверхности тающего снега в различных лесах примерно одинаково (5—6 мм). Испарение с почвы, освободившейся от снега, наибольшее в лиственном лесу (10 мм) и наименьшее в хвойном (6 мм). По отношению к полю (озимь, зяблевая пахота и луг в равных соотношениях) испарение со снега и с почвы в различных лесах составляет от 40 до 50 %, а с крупных вырубок и полян — 65 %. По отношению к суммарному испарению со всего леса испарение под его пологом со снега и с почвы составляет 50 %; в лиственном лесу 80 %, в смешанном 50 %, в хвойном 36 %, а на вырубках 60—70 %. Суммарное испарение со смешанного леса равно испарению с поля [36, 39].

Приведенные выше соотношения для весеннего испарения в различных лесах были использованы автором при оценке составляющих влагопотребления лесных комплексов и в расчетах их водного баланса. Следует указать, что в апреле суммарное испарение с леса в различных пунктах лесной зоны ЕТС составляет 7—9 % годовой суммы испарения, т. е. от 30 до 45 мм [15, 84].

На вырубках испарение за теплый период (май—сентябрь) не остается постоянным от года к году и зависит от интенсивности зарастания вырубленных участков растительным покровом и древесными породами.

В первый год с поверхности вырубки испаряется примерно 50 % суммарного испарения бывшего и окружающего вырубку леса. При этом бывшие в лесу виды напочвенной растительности угнетаются на вырубках обилием света и тепла и большая их часть выпадает. Даже еловый подрост переживает стадию угнетения и плохо развивается.

На второй год вырубка заселяется свето- и влаголюбивыми растениями, а также лиственными породами деревьев. Испарение начинает возрастать составляя 55—60 % суммарного испарения бывшего леса.

На третий—шестой год растительный покров еще больше разрастается. Объем его зеленой массы к пятому-шестому году достигает апогея, и испарение увеличивается до 70—80 % суммарного испарения бывшего леса. В дальнейшем растительный покров начинает угнетаться подрастающей древесной растительностью и испарение на вырубках 7—10-летней давности не меняется и остается на достигнутом ранее значении (70—80 %).

На вырубках 10—12-летней давности суммарное испарение следует подразделять на составляющие: испарение с почвы и напочвенной растительности, испарение осадков с крон деревьев и транспирацию древесной растительности. Первый вид испарения начинает уменьшаться, а остальные два вида — увеличиваться, особенно транспирация.

Описанный ход изменения испарения с почвы и растительного покрова общепризнан в научной литературе и не вызывает сомнений, тем более что в последние годы были существенно уточнены значения и погодичный ход испарения с вырубок.

Приведем несколько примеров. По данным экспериментальных исследований С. Ф. Федорова [85, 86], испарение на вырубках зависит прежде всего от их давности, размера и соотношения тепла и влаги текущего года. Для разных по метеорологическим условиям лет (1973—1978 гг.) испарение с вырубок  $E_{\text{выр}}$  по сравнению с суммарным испарением спелых еловых и сосновых лесов  $E$  составляло за теплый период года от 50—55 % на 1—2-летних вырубках до 77—80 % на 6—9-летних (табл. 3.8). При одинаковых

Таблица 3.8

Соотношение испарения (%) с вырубок разной давности  $E_{\text{выр}}$  и суммарного испарения спелого леса  $E$  в районе Валдая [86]

| Год  | Давность вырубki, число лет | Окружающий вырубку спелый лес |                    |                                   | Среднее $E_{\text{выр}}/E$ |
|------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------------|
|      |                             | ельник-кисличник              | сосняк-брусничник  |                                   |                            |
|      |                             |                               | $E_{\text{выр}}/E$ | $E_{\text{выр}}/E$                |                            |
| 1973 | 1                           | 50                            | —                  | —                                 | 50                         |
| 1974 | 2                           | 58                            | 52                 | Лесная подстилка                  | 55                         |
| 1976 | 4                           | 73                            | 63                 | Лесная подстилка и вейник         | 68                         |
| 1977 | 5                           | 75                            | 69                 | Вейник                            | 72                         |
| 1978 | 6                           | 80                            | 74                 | Вейник                            | 77                         |
| 1978 | 9                           | —                             | 80                 | Вейник с подростом сосны и березы | 80                         |

метеорологических условиях 1973 и 1974 гг. среднее соотношение  $E_{\text{выр}}/E$  по ряду 1—2-летних вырубок разных размеров соответствовало 56 %, а 6—7-летних — 70 % [86]. Осадки в лесу и на вырубках принимались одинаковыми.

Резкое снижение испарения на вырубках (в 1,5—2,0 раза) по сравнению с суммарным испарением спелого леса обуславливает ежегодный «недорасход» влаги летом в суглинистых почво-грунтах от 20 до 60 мм и в песчаных от 20 до 40 мм. Одновременно уровни грунтовых вод на вырубках стоят выше на 20—50 см, чем на контрольных участках в лесах [86]. Аналогичный режим наблюдался нами в 1977—1979 гг. на вырубках и в лесах Кировской области.

Явление увеличения запасов влаги в почве после рубки леса и меры борьбы с заболачиванием вырубленных площадей описаны многими исследователями [5, 46, 58, 59, 63 и др.]. В частности, А. А. Молчановым [59] описываются типичные процессы зарастания различных вырубок, смены видового напочвенного покрова, и даются рекомендации по биологическим методам разболачивания лесосек.

От интенсивности зарастания вырубок зависит интенсивность нарастания испарения и его приближение к суммарному испаре-

нию спелого леса. А. В. Лебедев [48], выполнявший экспериментальные воднобалансовые исследования на западных склонах Саян, указывает: «... при вырубках леса резко изменяются как структура водного баланса, так и противозероизонные свойства лесных комплексов. На экспериментальном водосборе снегозапасы увеличивались на 20—35 мм, суммарное испарение в первый год меньше, чем в лесу, на 40 %, на третий год — только на 22 %. Выравнивание испарения на вырубках и в лесу происходит в основном за счет зарастания вырубки мощным травяным покровом» (табл. 3.9).

Таблица 3.9

Изменение суммарного испарения на вырубках 1974 г. и в лесу по экспериментальным исследованиям в Западном Саяне [48]

| Год  | Вырубка, лес | Испарение, мм   |                                |        |
|------|--------------|-----------------|--------------------------------|--------|
|      |              | за весну (IV—V) | за летне-осенний период (VI—X) | за год |
| 1975 | Вырубка      | 30              | 325                            | 360    |
|      | Лес          | 65              | 510                            | 595    |
|      | Вырубка/лес  | 0,46            | 0,64                           | 0,60   |
| 1976 | Вырубка      | 30              | 360                            | 395    |
|      | Лес          | 70              | 480                            | 575    |
|      | Вырубка/лес  | 0,43            | 0,75                           | 0,68   |
| 1977 | Вырубка      | 30              | 450                            | 485    |
|      | Лес          | 70              | 530                            | 620    |
|      | Вырубка/лес  | 0,43            | 0,85                           | 0,78   |

Примечание. Состав леса 6К, 4Пх+Б, возраст кедра — 150—200 лет, пихты 120 лет; класс бонитета II, запас древесины 300 м<sup>3</sup>/га.

По данным 10-летних воднобалансовых исследований в дубравах лесостепной зоны ЕТС [60], суммарное годовое испарение на вырубках также быстро приблизилось к суммарному испарению 100-летнего леса (440 мм), но затем снизилось за счет затенения травяного покрова древесным подростом. Эксперименты проводились на четырех вырубках шириной от 100 до 300 м. По отношению к спелому лесу испарение с вырубок составило: в первые 1—2 года 0,70, в последующие 3—4 года — 0,91, 5—6 лет — 0,91, 7—8 лет — 0,84 и в целом за 8 лет — 0,84. На вырубках малых размеров испарение было больше на 20 %.

Таким образом, резкое снижение испарения с вырубленных участков по сравнению с суммарным испарением спелых лесов отмечается во всех климатических зонах, включая горные районы. Однако интенсивность зарастания вырубок и увеличения испарения с них различна и в северных районах меньше, чем в южных.

По сравнению с испарением под пологом спелого леса испарение на вырубках значительно больше: в 1,2—1,5 раза на вырубках 1—2-летней давности и в 1,5—2 раза на вырубках 5—7 лет. Нижний предел увеличения испарения относится к лиственным и смешанным лесам, а верхний—к высокополнотным хвойным лесам подзон средней и южной тайги ЕТС.

В соответствии с рассмотренными выше закономерностями изменений суммарного испарения с вырубок и под пологом развивающегося леса автором приняты дифференцированные значения этого вида испарения для всех фаз роста нового леса (табл. 3.10).

Таблица 3.10

Изменение испарения с почвы и напочвенной растительности ( $E_n$ ), включая кустарники и третий ярус древостоя, и соотношений к испарению под пологом 100-летнего, преимущественно хвойного леса ( $E_n/E_{n100}$ ) по I—III группам типов восстановления таежных лесов ЕТС

| Возраст леса,<br>число лет<br>после вы-<br>рубки | $E_n$ (мм) в подзоне южной тайги<br>при $\bar{x}=725$ мм и $\bar{E}=475$ мм |     |     | $E_n/E_{n100}$ в подзонах южной и средней тайги |      |      |        |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-------------------------------------------------|------|------|--------|
|                                                  | I                                                                           | II  | III | I                                               | II   | III  | средн. |
| 1                                                | 170                                                                         | 170 | 170 | 1,20                                            | 1,20 | 1,20 | 1,20   |
| 2                                                | 190                                                                         | 190 | 190 | 1,40                                            | 1,40 | 1,40 | 1,40   |
| 4                                                | 210                                                                         | 210 | 210 | 1,45                                            | 1,45 | 1,45 | 1,45   |
| 7                                                | 220                                                                         | 220 | 220 | 1,55                                            | 1,55 | 1,55 | 1,55   |
| 10                                               | 205                                                                         | 210 | 210 | 1,40                                            | 1,45 | 1,45 | 1,43   |
| 15                                               | 190                                                                         | 200 | 200 | 1,30                                            | 1,40 | 1,40 | 1,37   |
| 20                                               | 160                                                                         | 180 | 180 | 1,10                                            | 1,25 | 1,25 | 1,20   |
| 30                                               | 135                                                                         | 160 | 160 | 0,95                                            | 1,10 | 1,10 | 1,05   |
| 40                                               | 110                                                                         | 180 | 180 | 0,75                                            | 1,25 | 1,25 | 1,08   |
| 50                                               | 105                                                                         | 200 | 200 | 0,70                                            | 1,40 | 1,40 | 1,16   |
| 60                                               | 105                                                                         | 210 | 220 | 0,70                                            | 1,45 | 1,50 | 1,22   |
| 70                                               | 115                                                                         | 185 | 230 | 0,80                                            | 1,25 | 1,60 | 1,22   |
| 80                                               | 130                                                                         | 160 | 220 | 0,90                                            | 1,10 | 1,50 | 1,16   |
| 90                                               | 140                                                                         | 150 | 210 | 0,97                                            | 1,05 | 1,45 | 1,16   |
| 100                                              | 145                                                                         | 145 | 205 | 1,00                                            | 1,00 | 1,40 | 1,13   |
| 120                                              | 150                                                                         | 150 | 210 | 1,05                                            | 1,05 | 1,45 | 1,18   |
| 140                                              | 155                                                                         | 155 | 210 | 1,07                                            | 1,07 | 1,45 | 1,20   |

Ход испарения различен для каждой группы восстановления лесов (см. рис. 3.8). Он наиболее контрастен при посадках леса и лесовосстановлении через хвойные древостои (I группа). Наблюдается один максимум испарения на вырубках и один минимум—в 40—60-летних густых хвойных древостоях. В последующие годы с уменьшением объема массы и площади крон деревьев испарение возрастает.

При возобновлении хвойных древостоев через лиственные формации (II группа) в ходе испарения с почвы и напочвенной растительности имеют место два максимума и два минимума. Первый максимум—на вырубках. Затем по мере развития крон лиственных деревьев напочвенная растительность угнетается, выпадает и видоизменяется, и испарение снижается (к 30—35 годам) до зна-



чений, соответствующих старым лесам. Но лиственные древостои, конкурируя между собой, разрезаются, их крона редет, и к моменту выхода хвойных деревьев в первый ярус (50—60 лет) лиственные деревья достигают фазы зрелости, и их крона занимает в основном верхние части стволов. Лес «просветляется», и испарение под пологом леса снова достигает максимума. По мере развития хвойных деревьев и отмирания лиственных полог леса снова смыкается и испарение уменьшается. Второй минимум испарения наступает в лесах 100-летнего возраста, после чего начинается увеличение испарения, так как лес стареет и объем его кроны медленно уменьшается.

В третьей группе восстановления лесов ход испарения до 50—60 лет полностью совпадает с ходом второй группы. Но с началом рубки хвойных древостоев и частично спелых лиственных испа-

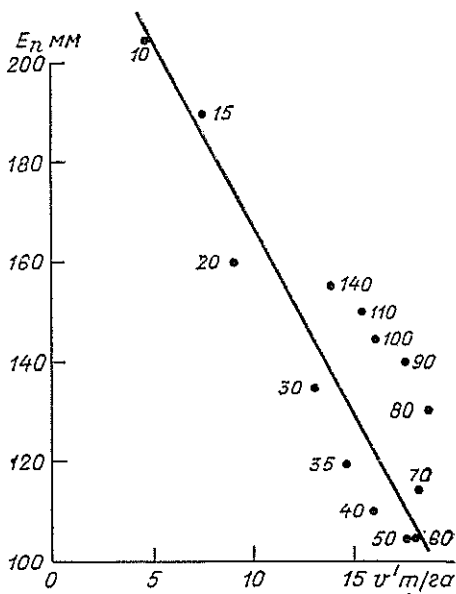


Рис. 3.4. Связь суммарного испарения с почвы и напочвенной растительности с объемом фитомассы  $v'$  кроны деревьев, восстанавливающихся через хвойные древостои в подзоне южной тайги ЕТС.

У точек указан возраст леса.

рение продолжает увеличиваться до начала старения и выпадения лиственных древостоев (60—70 лет). После этого оно несколько снижается за счет затенения интенсивно развивающимися молодыми лиственными и хвойными деревьями. В таком лесу из-за постоянной рубки хвойных пород все время преобладают лиственные древостои и наблюдается много прогалин на месте срубленных деревьев. Такие леса типичны для ряда районов южной тайги, в частности Подмоскowsья.

Приведенные в табл. 3.10 значения рассчитаны с учетом изложенного выше развития древостоев, их фитомассы и смены видов напочвенной растительности. Исходными служили данные табл. 2.5 и материалы наблюдений за испарением под пологом различных лесов, т. е. различного напочвенного покрова, мха и лесной подстилки. В соответствии с фазами развития лесов (см. табл. 2.5) виды напочвенной растительности компановались в различных сочетаниях по площади лесных участков и вычислялось средневзвешенное значение испарения под пологом лесов. Методика такого

вычисления испарения изложена С. Ф. Федоровым [84] при определении суммарного испарения под пологом леса со всего водосбора лога Таежного.

Поскольку объем крон (фитомассы) во многом определяет степень затененности почвы, а последняя влияет на развитие напочвенной растительности, то должны иметь место зависимости между объемом фитомассы и суммарным испарением с почвы и напочвенной растительности. Примерный вид такой зависимости для восстанавливающихся лесов через хвойные древостои (I группа) представлен на рис. 3.4, при этом использовались данные табл. 3.10 и рис. 2.14. Для других групп восстановления лесов связи распадаются на две ветви, соответствующие листовым (от 10 до 40 лет) и хвойным (от 80 до 140 лет) формациям развития древостоев. Это, по-видимому, обуславливается разной степенью затенения почв листовыми и хвойными древостоями, а также появлением прогалин на месте усохших и выпавших от старости листовых древостоев в переходный период развития лесов (45—75 лет).

### 3.4. Транспирация зеленой массой древостоя

Наиболее существенной составляющей суммарного испарения является транспирация кронами деревьев. В спелых древостоях она составляет около 50 % валового расхода влаги за год и варьирует от 30 до 60 % в зависимости от вида леса и его географического положения.

По данным Федорова [84, 87], в спелых еловых древостоях полнотой 0,7 расход воды на транспирацию за май—сентябрь составляет в среднем 43 %, а за год 38 % суммарного испарения.

По исследованиям Молчанова, для различных по видовому составу высокополнотных спелых древостоев значение транспирации в среднем равно 57 % суммарного испарения леса за год, в том числе ельников 48 % [58]; в таежной подзоне ЕТС для среднеполнотных хвойных лесов с примесью листовых пород это соотношение составляет 44 %, в том числе в ельниках 32 %, в подзоне хвойно-широколиственных лесов 48 %, а в лесостепной зоне 40—60 % [60].

В кедрово-пихтовых спелых лесах Западного Саяна [48] расход воды на транспирацию в среднем за три года составил 60 % суммарного испарения за июнь—октябрь и 51 % за год.

Транспирация — это «полезное» для леса испарение, обеспечивающее рост и поддержание жизни деревьев. Поэтому существуют определенные зависимости между характеристиками прироста древостоев, объемом их крон и расходом воды на транспирацию. Такие характеристики леса, как указывалось выше, изменяются по фазам роста древостоев, не остается постоянным и расход воды на транспирацию. Непосредственно измерить его в лесах очень трудно. Поэтому прибегают к различным косвенным методам расчета либо определяют транспирацию древостоев методами вод-

ного и теплового балансов [84]. Последние методы позволяют получать суммарное испарение в целом со всего лесного участка (водосбора), а транспирация определяется по разности между суммарным и измеренным испарением под пологом леса, сложенным с испарением осадков, задержанных кронами деревьев. При этих расчетах средняя квадратическая погрешность суммарного испарения и транспирация за сезонные и годовые интервалы времени составляет примерно 30 и 45 мм [34]. Поэтому данные, получаемые за отдельные годы, не вполне надежны. Однако достоверность расчетов существенно повышается с увеличением продолжительности наблюдений до 5—10 лет — погрешность снижается до 10—20 мм.

Для определения зависимости транспирации от возраста леса надо располагать большим набором воднобалансовых участков с разновозрастными и разновидовыми лесами. Например, Вятской экспедицией ГГИ изучение водного баланса весеннего половодья и осенне-зимних периодов производилось в 1974—1980 гг. на 22 участках и небольших водосборах, включающих все основные различия лесов, полей и почво-грунтов бассейна р. Вятки. Методологическая часть подобных исследований изложена в работах [12, 41].

Приведенные выше немногочисленные данные о транспирации древостоев получены в основном методами водного и теплового балансов с корректировкой косвенными методами. Последние основаны на связях между транспирацией древостоев с показателями их развития: годичными приростами по высоте и диаметру ствола, объему стволовой древесины, а также средними значениями высоты и диаметра стволов деревьев, текущим приростом объема древесины, объема фотомассы и полноты леса. Наиболее определены связи, используемые для оценки транспирации леса, между отношением транспирации к испаряемости  $E_{тр}/E_0$  и перечисленными показателями молодого и средневозрастного леса [57, 72, 84, 89, 92 и др.], например на рис. 3.5. В спелом и перестойном лесах значения высоты, диаметра, объема древесины мало меняются с возрастом и указанные зависимости нарушаются. Однако физиологическое водопотребление на поддержание жизни деревьев продолжается [89], так как остается крона, объем которой соответствует данному виду и возрасту древостоя.

Наиболее универсальным показателем транспирации во всех фазах жизни леса считается [70—72, 84, 87, 89] объем фитомассы  $V'$  крон деревьев. Значения  $V'$  неодинаковы для различных пород древостоя и очень существенно меняются с его возрастом. На рис. 2.14 и в табл. 3.11 в обобщенном виде представлено изменение объема фитомассы в процессе развития еловых, сосновых и лиственных (береза, осина) древостоев по данным ряда исследователей и таксометрических замеров лесоводов.

Фитомасса деревьев обладает замечательным свойством: испарять одно и то же количество воды на одну единицу зеленой массы вне зависимости от возраста древостоя, расположения веток по

высоте ствола и географического местоположения леса [70—72, 84, 87, 89]. В качестве примера на рис. 3.6 [72] представлена связь между массой хвои сосны обыкновенной и транспирацией разно-

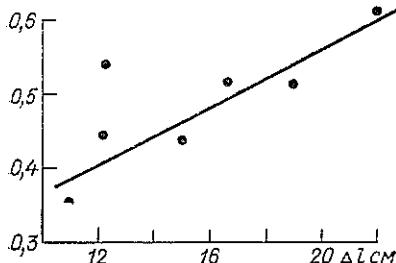
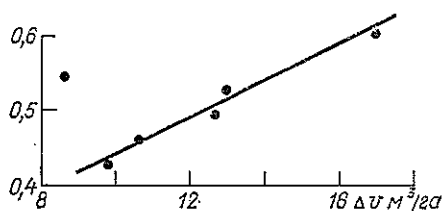
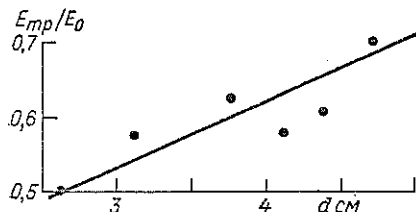
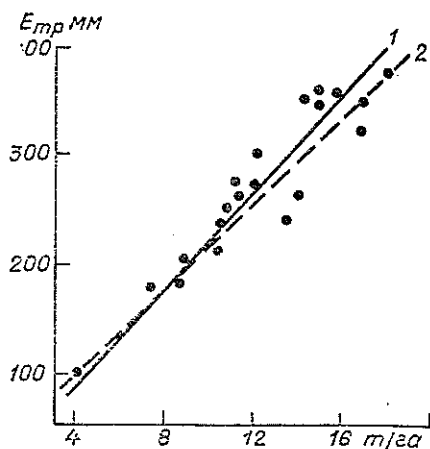


Рис. 3.5. Связь транспирации  $E_{тр}$  за май—сентябрь с диаметром ствола  $d$  березы в возрасте 18—24 года, с годичным приростом по длине ствола  $\Delta l$  и текущим годичным приростом запаса древесины  $\Delta v'$  в еловом лесу возраста 70—80 лет [84].

$E_0$  — испаряемость.

Рис. 3.6. Связь транспирации  $E_{тр}$  за вегетационный период с массой хвои сосны по данным ряда исследований [72].

1)  $K_T = 217 \text{ м}^3/\text{т}$ , 2)  $K_T = 205 \text{ м}^3/\text{т}$ .



возрастных древостоев, полученная путем обобщения ряда исследований, выполнявшихся в 1950—1970 гг. в Подмоскowie, Поволжье, Белоруссии, лесостепной и лесной зонах ЕТС и в Западной Сибири. При этом указывается [72] на несущественное влияние погодных условий отдельных лет на соотношение между транспирацией и массой хвои сосны.

Расход воды в  $\text{м}^3$  в год на 1 т фитомассы принято называть коэффициентом транспирационной активности  $K_{тр}$ . Для основных видов древостоя, слагающих таежные леса ЕТС, автором прини-

Изменение фитомассы ( $v'$ ) в восстанавливающихся лесах; транспирации древостоев  $i$ -го возраста ( $E_{\text{Тр}i}$ ) и ее отношений к транспирации древостоев 100-летнего возраста ( $E_{\text{Тр}i}/E_{\text{Тр}100}$ ) и территориальным нормам суммарного испарения ( $E_{\text{Тр}i}/\bar{E}$ ) лесов в подзонах южной и средней тайги ЕТС

| Характеристика                              | Вид древостоев и группа типа восстановления леса | Возраст леса, число лет после вырубki |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                             |                                                  | 5                                     | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 80   | 100  | 120  | 140  |
| $v'$ (т/га) в подзоне южной тайги           | Ельники                                          | 3,0                                   | 5,0  | 10   | 15   | 20   | 25   | 28   | 27   | 22   | 20   | 18   |
|                                             | Сосняки                                          | 2,7                                   | 5,0  | 10   | 15   | 17   | 15   | 14   | 12   | 11   | 10   | 9,0  |
|                                             | Лиственничные (Б, Ос)                            | 1,2                                   | 2,0  | 5,0  | 6,5  | 6,5  | 6,5  | 6,0  | 5,0  | 3,7  | 3,2  | 2,8  |
| $E_{\text{Тр}i}$ (мм) в подзоне южной тайги | I                                                | 55                                    | 75   | 165  | 235  | 275  | 265  | 260  | 230  | 200  | 180  | 160  |
|                                             | II                                               | 55                                    | 100  | 225  | 305  | 300  | 290  | 270  | 230  | 200  | 185  | 165  |
|                                             | III                                              | 55                                    | 100  | 225  | 300  | 300  | 295  | 280  | 220  | 185  | 160  | 140  |
|                                             | Средн.                                           | 55                                    | 92   | 205  | 280  | 292  | 284  | 270  | 227  | 192  | 175  | 155  |
| $\frac{E_{\text{Тр}i}}{E_{\text{Тр}100}}$   | I                                                | 0,25                                  | 0,40 | 0,85 | 1,20 | 1,40 | 1,35 | 1,30 | 1,15 | 1,00 | 0,90 | 0,80 |
|                                             | II                                               | 0,25                                  | 0,50 | 1,15 | 1,50 | 1,50 | 1,45 | 1,35 | 1,15 | 1,00 | 0,92 | 0,82 |
|                                             | III                                              | 0,30                                  | 0,55 | 1,20 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,50 | 1,20 | 1,00 | 0,85 | 0,75 |
|                                             | Средн.                                           | 0,27                                  | 0,48 | 1,07 | 1,43 | 1,47 | 1,43 | 1,37 | 1,17 | 1,00 | 0,89 | 0,79 |
| $\frac{E_{\text{Тр}i}}{\bar{E}}$            | Средн. I—III                                     | 0,12                                  | 0,19 | 0,43 | 0,59 | 0,61 | 0,60 | 0,56 | 0,48 | 0,40 | 0,37 | 0,33 |

маются следующие осредненные значения  $K_{\text{тр}}$  для насаждений: еловых 85, сосновых 190, березовых 500 и осиновых 450 м<sup>3</sup> воды в год на 1 т фитомассы [42, 57, 70, 72, 84, 87, 89]. Расход воды на транспирацию (м<sup>3</sup> в год с 1 га) определяется по равенству

$$E_{\text{тр}} = V'K_{\text{тр}}, \quad (3.1)$$

где  $V'$  — масса хвои (листвы) на 1 га, т/га;  $K_{\text{тр}}$  в м<sup>3</sup>/т. Для вычисления транспирации в миллиметрах слоя воды, полученной по (3.1) результат умножается на 0,1.

Коэффициент  $K_{\text{тр}}$  отражает расход воды на транспирацию в среднеполнотных насаждениях II—III классов бонитета с хорошо развитым вторым ярусом и с небольшой примесью сопутствующих видов древостоев: лиственных в хвойных лесах и хвойных в молодых лиственных. Поэтому принятие значения  $K_{\text{тр}}$  несколько отличаются от указанных в литературных источниках, особенно для сосны (принято 190, в источниках — от 180 до 235, но в большинстве случаев — около 200 для чистых высокополнотных сосняков). По принятым  $K_{\text{тр}}$  определялась транспирация древостоев экспериментальных воднобалансовых участков и суммарное испарение увязывалось с другими, надежно измеренными элементами водного баланса. Вычисленные по равенству (3.1) значения  $E_{\text{тр}}$  хорошо согласуются также с результатами расчета по связям, представленным на рис. 3.5 [84] для молодых и средневозрастных древостоев.

Транспирация рассчитывалась автором для восьми типов восстановления лесов с учетом их возраста, соотношений видового состава (по данным табл. 2.5) и объема фитомассы т/га (рис. 2.14 и табл. 3.11). Объемы воды, расходуемые на транспирацию, вычислялись по (3.1) отдельно для еловых, сосновых, березовых и осиновых древостоев, а затем определялась их сумма. Например, 60-летний лес, восстанавливающийся по третьему типу, имеет состав 4 Е 5 С 1 Б, с объемом фитомассы 11,2 т/га в ельниках, 7,0 т/га в сосняках и 0,6 т/га в кронах березовых древостоев. Эта фитомасса испаряет соответственно  $11,2 \cdot 85 = 953$  м<sup>3</sup> воды,  $7 \times 190 = 1330$  м<sup>3</sup> и  $0,6 \cdot 500 = 300$  м<sup>3</sup>; всего 2583 м<sup>3</sup>/га, или 258,3 мм.

Результаты расчета транспирации для восьми типов восстановления лесов южной подзоны тайги представлены на рис. 3.7. Анализ этих данных позволил осреднить ход транспирации и представить ее для трех основных групп восстановления лесов (табл. 3.11, рис. 3.8).

В связи с небольшими различиями значений и хода транспирации в трех группах восстанавливающихся лесов, а также учитывая присутствие в крупном лесном массиве одновременно всех типов лесовосстановления, была получена (табл. 3.11) единая осредненная кривая хода транспирации в абсолютных (для подзоны южной тайги) и в относительных единицах для подзон средней и южной тайги ЕТС.

Для оценки полученных результатов выполнено сопоставление с данными литературных источников, большинство из которых ос-

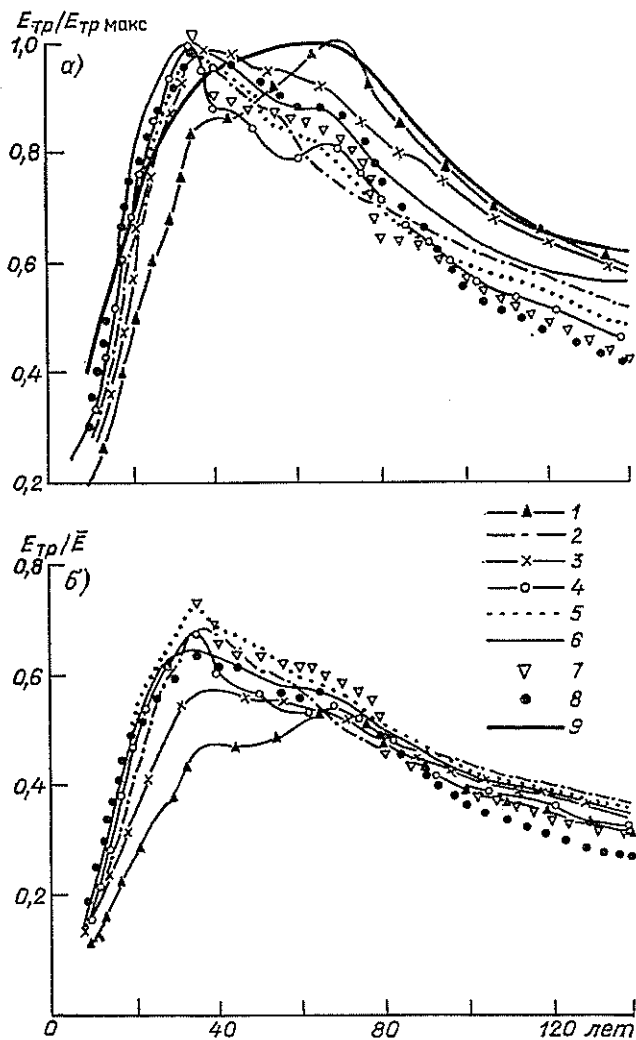


Рис. 3.7. Ход соотношений годовых значений транспирации и максимальных ее значений для данного вида леса (а) и территориальной нормы суммарного испарения, равной 475 мм (б), для различных типов восстановления леса в подзоне южной тайги ЕТС.

1—8 — типы восстановления леса по табл. 2.5; 9 — по данным А. А. Молчанова для высокоплотных сосново-еловых древостоев.

нованы на использовании уравнений водного и теплового балансов. Поскольку абсолютные значения транспирации, измеренной в разных географических условиях, сопоставлять очень трудно, то

Относительные значения транспирации леса по данным разных исследований  
(за 1,0 приняты значения транспирации древостоев 100-летнего возраста)

| Вид леса                              | Возраст леса, число лет |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Автор, год                   |
|---------------------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------------|
|                                       | 10                      | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 80   | 100  | 120  | 140  |                              |
| Еловый                                | 0,13                    | 0,75 | 1,10 | 1,60 | 1,90 | 1,60 | 1,12 | 1,00 | —    | —    | С. Ф. Федоров, 1977,<br>1981 |
| Сосновый                              | 1,14                    | 1,47 | 1,56 | 1,52 | 1,38 | 1,30 | 1,10 | 1,00 | 0,92 | 0,87 | В. Е. Рудаков, 1977          |
| Еловый                                | —                       | 0,93 | 1,15 | 1,33 | 1,35 | 1,38 | 1,27 | 1,00 | 0,88 | 0,84 | А. А. Молчанов, 1963         |
| Сосново-еловый                        | —                       | 1,15 | 1,29 | 1,40 | 1,36 | 1,28 | 1,16 | 1,00 | 0,90 | 0,85 | То же                        |
| Смешанный                             | —                       | 1,26 | 1,36 | 1,48 | 1,41 | 1,32 | 1,13 | 1,00 | —    | —    | „                            |
| Лиственный — Д, Б, Яс                 | —                       | 1,36 | 1,44 | 1,55 | 1,46 | 1,35 | 1,12 | 1,00 | —    | —    | „                            |
| Березовый                             | —                       | 1,30 | 1,41 | 1,61 | 1,53 | 1,45 | 1,08 | 1,00 | —    | —    | „                            |
| Смешанный, среднее по разным подзонам | 0,80                    | 1,20 | 1,33 | 1,43 | 1,42 | 1,35 | 1,18 | 1,00 | 0,92 | 0,86 | А. А. Молчанов, 1970         |
| Среднее                               | 0,69                    | 1,18 | 1,33 | 1,54 | 1,48 | 1,38 | 1,14 | 1,00 | 0,90 | 0,85 | —                            |
| Смешанный, среднее по группам I—III   | 0,48                    | 1,07 | 1,43 | 1,47 | 1,43 | 1,37 | 1,17 | 1,00 | 0,89 | 0,79 | О. И. Крестовский, 1981      |



в табл. 3.12 представлен ход транспирации по отношению к ее значению в спелых (столетних) древостоях. Анализ этих данных позволяет сделать три существенных вывода:

— относительный ход транспирации различных древостоев, произрастающих в подзонах средней и южной тайги, широколиственных лесов и в лесостепной зоне, имеет одинаковый ход; минимальные значения соответствуют 10—20-летним и 140-летним древостоям, а максимальные — 30—50-летним;

— ход транспирации почти полностью соответствует возрастным изменениям зеленой массы крон деревьев, поэтому рассчитанные нами значения для разновидовых лесов совпадают с экспериментальными данными,

— из всех составляющих суммарного испарения леса расход

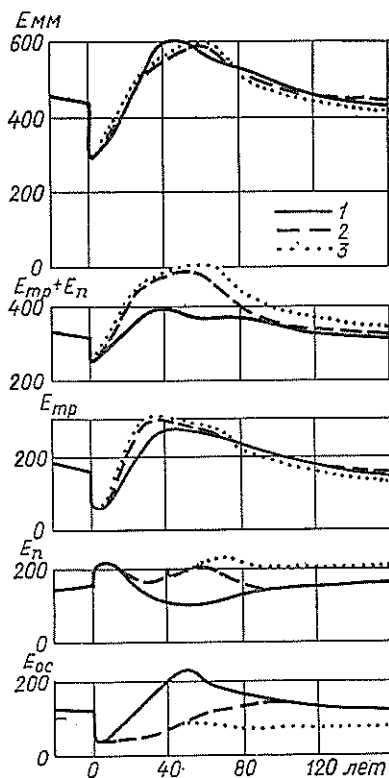


Рис. 3.8. Ход составляющих годового суммарного испарения при восстановлении лесов после вырубки в подзоне южной тайги ЕТС при  $\bar{E}=475$  мм,  $\bar{x}=725$  мм.

$E$  — суммарное испарение,  $E_{тp}$  — транспирация,  $E_{п}$  — испарение с почвы и напочвенной растительностью,  $E_{ос}$  — испарение осадков, задержанных кронами деревьев.

1 — восстановление леса через хвойные древостой — среднее по группе I; 2 — естественное восстановление леса через лиственные древостой — среднее по группе II; 3 — при естественном восстановлении и постоянных рубках хвойных пород древостоев — среднее по группе III.

воды на транспирацию имеет наиболее контрастный ход, что в основном и обуславливает изменение суммарного испарения леса по фазам его развития (рис. 3.8).

### 3.5. Суммарное испарение лесными комплексами

Для разных типов возобновления и восстановления лесов после их вырубки испарение определяется путем суммирования его составляющих  $E_{ос} + E_{п} + E_{тp}$ , т.е. по данным табл. 3.4, 3.10 и 3.11. Данные табл. 3.13 и рис. 3.8 свидетельствуют о незначительных различиях в суммарном испарении разных групп восстановления лесов. Имеется лишь сдвигка на 10—20 лет во времени наступления максимума. В лесах, восстанавливающихся через хвойные

Таблица 3.13

Суммарное испарение ( $E_i$ ) для различных групп типов (I—III) возобновления леса и отношение к территориальным нормам испарения ( $E_i/\bar{E}$ ) в подзонах южной и средней части ЕТС

| Возраст леса, число лет после вырубki | $E_i$ (мм) в подзоне южной тайги при $\bar{E} = 475$ мм и $\bar{x} = 725$ мм |     |     |        | $E_i/\bar{E}$ в подзонах южной и средней тайги | Возраст леса, число лет после вырубki | $E_i$ (мм) в подзоне южной тайги при $\bar{E} = 475$ мм и $\bar{x} = 725$ мм |     |     |     | $E_i/\bar{E}$ в подзонах южной и средней тайги |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|--------|------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|------------------------------------------------|
|                                       | I                                                                            | II  | III | средн. |                                                |                                       | средн.                                                                       | I   | II  | III |                                                |
| 2                                     | 285                                                                          | 285 | 285 | 285    | 0,60                                           | 70                                    | 540                                                                          | 560 | 580 | 560 | 1,18                                           |
| 5                                     | 310                                                                          | 310 | 310 | 310    | 0,65                                           | 80                                    | 525                                                                          | 520 | 515 | 520 | 1,10                                           |
| 10                                    | 330                                                                          | 350 | 350 | 345    | 0,73                                           | 90                                    | 505                                                                          | 500 | 490 | 500 | 1,05                                           |
| 20                                    | 425                                                                          | 445 | 445 | 440    | 0,93                                           | 100                                   | 485                                                                          | 480 | 470 | 478 | 1,00                                           |
| 30                                    | 520                                                                          | 515 | 510 | 515    | 1,08                                           | 120                                   | 465                                                                          | 460 | 445 | 455 | 0,96                                           |
| 40                                    | 585                                                                          | 550 | 550 | 560    | 1,18                                           | 140                                   | 440                                                                          | 445 | 430 | 440 | 0,93                                           |
| 50                                    | 595                                                                          | 580 | 580 | 585    | 1,23                                           | 160                                   | —                                                                            | —   | —   | 430 | 0,90                                           |
| 60                                    | 555                                                                          | 595 | 590 | 580    | 1,22                                           |                                       |                                                                              |     |     |     |                                                |

древостой (группа I), максимум испарения наступает в возрасте 40—50 лет. В лесах, возобновление которых происходит через лиственные формации, максимум испарения соответствует 50—60-летнему возрасту, а при вырубке средневозрастных хвойных и части спелых лиственных древостоев — 50—70-летнему возрасту нового леса (группа III).

Близость значений суммарного испарения в трех группах возобновления лесов позволила определить среднее значение испарения и его хода по фазам развития леса. Полученный ход суммарного испарения отражает как физиологическое водопотребление древостоев, так и испарение под его пологом с поверхности почвы и напочвенной растительности, зависящих от степени развития крон деревьев. С последними связан и расход воды на испарение осадков, задерживаемых зеленой массой древостоев (см. рис. 3.3—3.6).

Таким образом, составляющие суммарного испарения подчиняются физиологическим фазам развития лесов. Поэтому закономерности водопотребления восстанавливающимися лесами подзоны южной тайги будут справедливы и для соседних подзон. Наиболее оправданным является отождествление по подзонам относительных значений суммарного испарения, т. е. его отношений к территориальным нормам испарения, полученных методом водного баланса. В табл. 3.13 представлен ход таких относительных значений суммарного испарения. Он может использоваться для расчета водопотребления лесами разного возраста в подзонах южной и средней тайги ЕТС. Напомним, что этот ход водопотребления учиты-

вает не только возраст леса, но и видовой его состав, а также полноту леса и весь сопутствующий комплекс лесных биогеоценозов.

Для оценки водопотребления лесами разного возраста используются приведенные в табл. 3.13 относительные значения суммарного водопотребления (назовем их возрастными коэффициентами водопотребления  $K_{Ei}$ ) и районные нормы испарения  $\bar{E}$ . Последние определяются по известным литературным источникам, например [14, 15, 28, 68 и др.]. Искомое испарение с леса данного  $i$ -го возраста находится как  $E_i = K_{Ei}\bar{E}$ . Результаты расчетов правомерны только для крупных лесных массивов, в которых можно ожидать все типы лесовозобновления. Отметим, что испарение с леса 100-летнего возраста очень близко к испарению с поля и территориальным нормам испарения, снимаемым с карты [68].

Поскольку данные табл. 3.13 рекомендуются нами для широкого использования, то естественно возникает вопрос о степени соответствия этих данных результатам различных экспериментальных исследований. Такое сопоставление приводится в табл. 3.14, содержащей относительные значения суммарного испарения лесов разного возраста. Анализ этих данных позволяет сделать заключение о том, что водопотребление лесов разного возраста и географического местоположения весьма близко к полученным нами значениям. Этот вывод расширяет границы применимости предлагаемых коэффициентов водопотребления, представленных в табл. 3.13.

Сопоставив все составляющие суммарного водопотребления разновидовых и разновозрастных лесов (см. табл. 3.4, 3.10, 3.11 и 3.13), нетрудно представить структуру испарения в разных лесах и на вырубках для годового периода среднемноголетних условий (табл. 3.15), а также по сезонам (табл. 3.16). Знание структуры испарения в лесах необходимо для проектирования водоохранных мероприятий, а также для познания гидрологической роли леса. Здесь мы ограничиваемся лишь кратким рассмотрением структуры испарения в спелых лесах и на вырубках.

О том, что на вырубках испарение на 20—40 % (100—200 мм) меньше, чем в спелых лесах, известно давно. Поэтому многие вырубки с замедленным оттоком незрасходованной воды переувлажняются и заболачиваются. А вот о том, что «лес лесу рознь», даже если он и спелый, многие исследователи забывают. Это и порождало часто противоречивые выводы о влиянии леса на водные ресурсы. В табл. 3.15 и 3.16 представлена структура испарения в спелых хвойных, смешанных и лиственных лесах одинакового класса бонитета и класса возраста. При этом возраст спелых хвойных и смешанных лесов составляет 100—120 лет и различия в их испарении не очень существенны — в пределах 40 мм, а возраст спелых лиственных лесов (береза, осина) равен 50—60 годам и испарение в них больше на 100—135 мм по сравнению с хвойными и смешанными лесами. В теплый период года испарение в спелых лиственных лесах больше, чем в хвойных, на 150 мм, т. е. практически все выпадающие с мая — по октябрь осадки

Относительные значения суммарного испарения в период возобновления лесов по данным разных исследований  
За 1,0 приняты значения испарения с лесов 100-летнего возраста

| Вид леса                                     | Возраст леса, число лет после вырубki |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Источ-<br>ник             |
|----------------------------------------------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------------|
|                                              | 2                                     | 5    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  | 120  | 140  | 160  |                           |
| Еловый                                       | 0,52                                  | 0,67 | 0,82 | 1,02 | 1,14 | 1,20 | 1,20 | 1,18 | 1,13 | 1,09 | 1,05 | 1,00 | —    | —    | —    | [86] <sup>1</sup>         |
| Елово-сосновый                               | 0,62                                  | 0,67 | 0,71 | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | [86] <sup>1</sup>         |
| Еловый                                       | —                                     | —    | —    | 0,92 | —    | 1,14 | —    | 1,18 | —    | 1,13 | —    | 1,00 | 0,94 | 0,90 | 0,87 | [58] <sup>2</sup>         |
| Елово-сосновый                               | —                                     | —    | —    | 1,00 | 1,12 | 1,18 | 1,19 | 1,14 | 1,10 | 1,08 | 1,04 | 1,00 | 0,94 | 0,90 | 0,86 | [58] <sup>2</sup>         |
| Березовый                                    | —                                     | —    | —    | 0,93 | —    | 1,43 | —    | 1,25 | —    | 1,03 | —    | 1,00 | —    | —    | —    | [58] <sup>2</sup>         |
| Лиственный — Б<br>и Ос                       | —                                     | —    | —    | 1,10 | 1,25 | 1,38 | 1,35 | 1,20 | 1,10 | 1,04 | 1,02 | 1,00 | —    | —    | —    | [58] <sup>2</sup>         |
| Дубово-ясеневый                              | —                                     | —    | —    | 1,10 | —    | 1,24 | —    | 1,22 | —    | 1,08 | —    | 1,00 | 0,94 | 0,92 | 0,94 | [58] <sup>2</sup>         |
| Смешанный                                    | —                                     | —    | —    | 1,05 | 1,20 | 1,29 | 1,27 | 1,21 | 1,14 | 1,07 | 1,04 | 1,00 | —    | —    | —    | [58] <sup>2</sup>         |
| ”                                            | 0,70                                  | —    | 0,73 | 0,98 | 1,08 | 1,17 | 1,18 | 1,13 | 1,12 | 1,07 | 1,04 | 1,00 | 0,97 | 0,93 | —    | [60] <sup>3</sup>         |
| Кедрово-пихтовый                             | 0,64                                  | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | [48] <sup>4</sup>         |
| Смешанный, пере-<br>ходящий в хвой-<br>ный   | —                                     | —    | —    | —    | 1,15 | 1,28 | 1,28 | 1,20 | —    | 1,12 | —    | 1,00 | 0,97 | —    | 0,89 | [9] <sup>5</sup>          |
| Среднее                                      | 0,62                                  | 0,67 | 0,75 | 1,01 | 1,16 | 1,26 | 1,24 | 1,19 | 1,12 | 1,08 | 1,04 | 1,00 | 0,95 | 0,91 | 0,89 | [41—<br>—43] <sup>6</sup> |
| Смешанный (сред-<br>нее по группам<br>I—III) | 0,60                                  | 0,65 | 0,73 | 0,93 | 1,08 | 1,18 | 1,23 | 1,22 | 1,18 | 1,10 | 1,05 | 1,00 | 0,96 | 0,93 | 0,90 |                           |

<sup>1</sup> Экспериментальные исследования С. Ф. Федорова 1981 г. [86] на Валдае.

<sup>2</sup> Обобщение разных исследований А. А. Молчановым 1963 г. [58] в подзонах средней и южной тайги, широколиственных лесов и лесостепной зоны ЕТС.

<sup>3</sup> По данным А. А. Молчанова, 1970 г. [60] о водном балансе лесов в различных подзонах ЕТС — в обобщении О. И. Крестовского.

<sup>4</sup> Исследования А. В. Лебедева в Западном Саяне, 1982 г. [48].

<sup>5</sup> По данным С. А. Братцева для разновозрастных лесов КомнАССР, 1982 г. [9] в обработке О. И. Крестовского.

<sup>6</sup> Данные О. И. Крестовского, 1981 г. для подзон средней и южной тайги ЕТС (табл. 3.13).

Структура испарения за год в спелых лесах подзоны южной тайги ЕТС  
(Норма элементов водного баланса  $\bar{x}=700 \div 750$  мм,  $\bar{E}=450 \div 500$  мм,  
 $\bar{Y} \approx 250$  мм)

| Вид испарения    | Лес II—III кл. бонитета, полнотой 0,7, V—VI классов<br>возраста для хвойных и лиственных древостоев |                         |                           |                         |           |          | Вырубки                |                          |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------|----------|------------------------|--------------------------|
|                  | Чистый лес                                                                                          |                         |                           |                         | Смешанный |          | свежие 1—5 лет-<br>ние | старые 10—15 лет-<br>ние |
|                  | слоный<br>9 Е, 1 Ос [84]                                                                            | сосновый<br>10 С, ед. Б | хвойный 5Е,<br>5 С, ед. Б | лиственный<br>5 Б, 5 Ос | 5 Е, 5 Ос | 5 С, 5 Б |                        |                          |
| $E$ в том числе: | 490                                                                                                 | 450                     | 470                       | 585                     | 480       | 460      | 305                    | 380                      |
| $E_{тр}$         | 190                                                                                                 | 200                     | 200                       | 290                     | 220       | 210      | 45                     | 140                      |
| $E_{п}$          | 150                                                                                                 | 135                     | 140                       | 210                     | 160       | 160      | 215                    | 195                      |
| $E_{ос}$         | 150                                                                                                 | 115                     | 130                       | 85                      | 100       | 90       | 45                     | 45                       |

## Испарение, мм

|                  |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $E$ в том числе: | 490 | 450 | 470 | 585 | 480 | 460 | 305 | 380 |
| $E_{тр}$         | 190 | 200 | 200 | 290 | 220 | 210 | 45  | 140 |
| $E_{п}$          | 150 | 135 | 140 | 210 | 160 | 160 | 215 | 195 |
| $E_{ос}$         | 150 | 115 | 130 | 85  | 100 | 90  | 45  | 45  |

## По отношению к суммарному испарению своего вида леса

|                  |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $E$ в том числе: | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| $E_{тр}$         | 0,40 | 0,45 | 0,42 | 0,50 | 0,46 | 0,46 | 0,15 | 0,37 |
| $E_{п}$          | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,36 | 0,33 | 0,35 | 0,70 | 0,51 |
| $E_{ос}$         | 0,30 | 0,25 | 0,28 | 0,14 | 0,21 | 0,19 | 0,15 | 0,12 |

## По отношению к территориальной норме суммарного испарения 475 мм

|                  |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $E$ в том числе: | 1,03 | 0,95 | 0,99 | 1,22 | 1,01 | 0,97 | 0,64 | 0,80 |
| $E_{тр}$         | 0,40 | 0,42 | 0,42 | 0,60 | 0,46 | 0,44 | 0,09 | 0,29 |
| $E_{п}$          | 0,32 | 0,28 | 0,30 | 0,44 | 0,34 | 0,34 | 0,45 | 0,41 |
| $E_{ос}$         | 0,31 | 0,25 | 0,27 | 0,18 | 0,21 | 0,19 | 0,10 | 0,10 |

поглощаются спелыми лиственными лесами и расходуется еще очень значительная часть почвенно-грунтовых вод.

Этот как будто неожиданный вывод обуславливается непринятием многими гидрологами термина «спелый лес», который таит в себе большие возрастные различия для хвойных, мягколиственных и твердолиственных пород. Между тем отдельные ученые весьма убедительно показывали, что лиственные леса испаряют значительно больше других лесов и сельскохозяйственных полей [66, 67].

Если рассматривать структуру испарения разновозрастных лесов, то различия между хвойными и лиственными лесами будут незначительными: в 50-летних хвойных и лиственных лесах испарение различается на 15 мм, в 30-летних — на 5 мм и в 80-летних — на 10 мм (см. табл. 3.13).

Структура сезонного испарения в спелых лесах подзоны южной тайги ЕТС<sup>1</sup>

| Вид испарения          | Зимний период (XI—II) |            |         |        | Ранняя весна (III—IV) |            |         |        | Теплый период (V—X) |            |         |        |
|------------------------|-----------------------|------------|---------|--------|-----------------------|------------|---------|--------|---------------------|------------|---------|--------|
|                        | хвойный               | лиственный | вырубки |        | хвойный               | лиственный | вырубки |        | хвойный [84]        | лиственный | вырубки |        |
|                        |                       |            | свежие  | старые |                       |            | свежие  | старые |                     |            | свежие  | старые |
| <i>E</i> в том числе:  | 25                    | 5          | 10      | 10     | 35                    | 20         | 25      | 25     | 410                 | 560        | 270     | 345    |
| <i>E</i> <sub>гр</sub> | 0                     | 0          | 0       | 0      | 16                    | 4          | 0       | 0      | 184                 | 290        | 45      | 140    |
| <i>E</i> <sub>п</sub>  | 5                     | 5          | 10      | 10     | 12                    | 16         | 25      | 25     | 123                 | 190        | 180     | 160    |
| <i>E</i> <sub>ос</sub> | 20                    | 0          | 0       | 0      | 7                     | 0          | 0       | 0      | 103                 | 80         | 45      | 45     |

Испарение, мм

|                        |    |   |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |
|------------------------|----|---|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| <i>E</i> в том числе:  | 25 | 5 | 10 | 10 | 35 | 20 | 25 | 25 | 410 | 560 | 270 | 345 |
| <i>E</i> <sub>гр</sub> | 0  | 0 | 0  | 0  | 16 | 4  | 0  | 0  | 184 | 290 | 45  | 140 |
| <i>E</i> <sub>п</sub>  | 5  | 5 | 10 | 10 | 12 | 16 | 25 | 25 | 123 | 190 | 180 | 160 |
| <i>E</i> <sub>ос</sub> | 20 | 0 | 0  | 0  | 7  | 0  | 0  | 0  | 103 | 80  | 45  | 45  |

По отношению к суммарному испарению своего леса

|                        |     |     |     |     |      |     |     |     |      |      |      |      |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| <i>E</i> в том числе:  | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,00 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| <i>E</i> <sub>гр</sub> | 0   | 0   | 0   | 0   | 0,46 | 0,2 | 0   | 0   | 0,45 | 0,52 | 0,17 | 0,41 |
| <i>E</i> <sub>п</sub>  | 0,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,34 | 0,8 | 1,0 | 1,0 | 0,30 | 0,34 | 0,67 | 0,46 |
| <i>E</i> <sub>ос</sub> | 0,8 | 0   | 0   | 0   | 0,20 | 0   | 0   | 0   | 0,25 | 0,14 | 0,16 | 0,13 |

По отношению к территориальной норме суммарного испарения 475 мм

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <i>E</i> | 0,05 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,07 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,86 | 1,12 | 0,56 | 0,73 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|

<sup>1</sup> Нормы элементов водного баланса и характеристики леса даны в табл. 3.15.

Основные различия составляющих суммарного водопотребления обусловлены различием испарения осадков, смачивающих кроны деревьев (в хвойных оно самое большое), испарения с почвы и напочвенной растительности (наибольшее в лиственных лесах) и транспирации древостоями (в лиственных лесах оно несколько больше, чем в хвойных).

Несмотря на близкие годовые значения испарения в хвойных и лиственных лесах, имеются существенные различия по сезонам года. В теплый период (май—октябрь) лиственные леса испаряют на 150 мм больше, чем хвойные, а в холодный период (ноябрь—апрель) — меньше на 30—40 мм. Поэтому в теплый период года лиственные леса более интенсивно снижают сток в гидрографическую сеть по сравнению с хвойными, а в весенний период — увеличивают.

Сосновые леса на песчаных почвах испаряют меньше еловых и лиственных примерно на 10 %, о чем говорилось выше. Но после вырубки сосновых лесов долгое время (50—70 лет) преобладают лиственные породы. По мнению автора, сосновые леса на супесчаных и суглинистых почвах испаряют почти столько же влаги, как и еловые, так как различия в испарении обусловливаются не физиологическими особенностями древостоев, а влагоемкостью пес-

чанных и суглинистых грунтов. Физическое обоснование такого явления дано в работе [34].

В районах южной таежной подзоны ЕТС лес в возрасте 40—70 лет испаряет в год 540—595 мм, что значительно больше влагопотребления старого леса и испарения с открытой местности. Поэтому может возникнуть вопрос: чем обеспечивается испарение молодых лесов и не превышает ли оно водные и энергетические ресурсы?

В теплый период года (май—октябрь) молодые и средневозрастные леса испаряют 470—560 мм влаги. Ресурсы влаги, доступные для испарения леса, в этот период слагаются из осадков (450—500 мм), продуктивных запасов влаги в метровом слое супесчаных и суглинистых почво-грунтов (120—170 мм) и поступления влаги из грунтов вод в зону аэрации (30 мм), т. е. в сумме 600—700 мм. Для песчаных грунтов при глубине залегания грунтовых вод более 3 м водные ресурсы составляют 500—550 мм. Таким образом, для рассматриваемых средних климатических условий молодые и средневозрастные леса обеспечены влагой, и ее излишки поступают в грунтовые воды и далее в гидрографическую сеть. Только в отдельные засушливые годы, когда за теплый период выпадает осадков меньше на 150—200 мм, водные ресурсы уменьшаются до 400—500 мм на участках с супесчаными и суглинистыми почво-грунтами, а с песчаными—до 400 мм. В такие годы наступает летняя пересушка почв, фаза активной вегетации деревьев сдвигается на осень и наблюдается частичная гибель напочвенного покрова и древесной растительности третьего и второго ярусов, т. е. происходит естественное разрежение леса (см. раздел 2).

Радиационный баланс леса больше, чем открытой местности, в основном за счет меньшего альбеда. Из-за развитой корневой системы больше в лесу и доступной для испарения влаги. Поэтому в лесах возможен существенно больший расход тепла на испарение по сравнению с открытой местностью, в частности с луговой поверхностью, принимаемой обычно за меру сравнения [66, 67, 84]. В связи с указанным картанализом средних многолетних годовых значений испарения для лесных площадей [15, 67, 68] дает большие величины по сравнению с картой испарения для смешанных поверхностей (поле, лес, болото), полученной на основе водного баланса речных водосборов [68], а также картой, построенной преимущественно по данным о тепловом балансе и запасах влаги в почво-грунтах сельскохозяйственных угодий (комплексный метод [28]). Для построения двух последних карт использовались осадки, измеряемые в основном на открытых площадках метеорологических станций.

В районах подзоны южной тайги превышение испарения с леса (карта Ю. Л. Раунера) над испарением с речных водосборов, а также с сельскохозяйственных угодий составляет в среднем 50 и 80 мм соответственно, т. е. 12—18 %. Это можно объяснить тем, что на открытых участках деятельная поверхность прогревается

сильнее и наблюдается адвективный вынос тепла с них в ближайшие леса [67, 84]. А это должно обуславливать повышенное испарение с лесных участков, отстоящих на расстоянии до 10—15 км от края больших полей. Такое явление названо [68] краевым эффектом увеличения испарения. Для его учета предлагается [15, 67, 68] увеличивать испарение, снятое с карты Раунера, на 1,16; 1,07; 1,02 и 1,00 соответственно для площадей лесных массивов 10; 100; 1000 и 10 000 км<sup>2</sup>. Кроме того, предлагается учитывать преобладающий состав древостоев: для лиственных пород испарение, снятое с карты, умножается на 1,1, для еловых — на 1,0 и сосновых — 0,9.

Например, при районной норме испарения с поля 450 мм в год и с леса 500 мм лиственный лес будет испарять  $500 \cdot 1,1 = 550$  мм, а если он расположен вблизи полей, то испарение еще увеличится на 1,16 и достигнет 640 мм в год. Еловый лес в этих же условиях будет испарять 580 мм, а сосновый на песках — 450 мм. Следовательно внутри небольших лесных массивов (до 10 км<sup>2</sup>) различия в норме испарения с отдельных участков разновидного леса могут достигать почти 200 мм в год.

Крупный лесной массив по видовому и возрастному составу древостоев и напочвенной растительности представляет пеструю картину. Участки, характеризующиеся пониженным испарением и потреблением тепла (старые леса, свежие вырубки, молодняки до 20-летнего возраста, кустарники, полузаболоченные низины с угнетенным мелколесьем, верховые болота, редины, прогалины, поляны) непрерывно чередуются с участками молодого и средневозрастного разновидового леса, поглощающего больше влаги и тепла. Следовательно, внутри лесных массивов также должен происходить перенос неизрасходованного тепла с одних участков на другие, «более теплолюбивые». Этим и объясняются потенциальные возможности для повышенного испарения лесов 40—70-летнего возраста по сравнению с испарением со всего лесного комплекса.

Изменение структуры лесов, связанное с вырубкой старых и спелых хвойных древостоев, должно снижать меженный сток рек и увеличивать весенний. Молодые и средневозрастные леса (с 30 до 80 лет) потребляют воды на 17 % больше спелых и на 25 % старых лесов. Среднее годовое водопотребление нового леса за весь 100-летний период его роста больше, чем спелого (100—110-летнего) леса, на 7 % и на 15 % больше старого, перестойного. Это явление отмечалось в исследованиях А. А. Молчанова (1960—1963 гг.) и С. А. Братцева (1979—1982 гг.).

Таким образом, рубка старых, спелых, лесов и насаждение новых, молодых увеличивает водопотребление, что должно снижать водные ресурсы лесных рек.

В заключение кратко рассмотрим возможные соотношения между испарением с лесных комплексов и открытой местности. Последняя включает сельскохозяйственные поля, луга, выпасы, полузаболоченные пониженные участки и для простоты изложения



называется нами полем. Отметим, что средние многолетние значения испарения (нормы) в силу специфики методики их получения, отражают в основном испарение с поля (карты изолиний испарения [28, 68]).

Анализируя ход водопотребления лесов за весь период их жизни и сопоставляя с нормами испарения по названным картам и непосредственным наблюдениям, в полях можно сделать следующие предварительные выводы.

1. Суммарное испарение с леса и поля неодинаково в различные фазы развития лесов.

В общем случае испарение с леса меньше по сравнению с полем только в периоды развития древесной растительности от 5 до 20 лет и с 110 до 160 лет, но больше при возрасте леса 30—90 лет. В молодых и средневозрастных лесах (35—70 лет) испарение больше, чем в полях, примерно на 20 %, а в старых лесах (130—160 лет) — меньше на 7—10 %.

Испарение в смешанных и еловых лесах 100—110-летнего возраста примерно равно испарению с поля. В сосновых лесах на песчаных почво-грунтах это равенство испарения наступает в 70—80-летних сосняках и, начиная с 90-летнего возраста, сосновые леса испаряют меньше поля.

2. В современный период в малолесных районах лесной зоны ЕТС, где распространены преимущественно молодые и средневозрастные древостой (см. раздел 2.3, рис. 2.15), испарение с лесных площадей должно быть больше, чем с поля, а годовой сток — меньше. В многолесных районах, где преобладают спелые и старые древостой, испарение должно быть меньше, чем с открытой местности, а годовой сток — больше.

3. В далекой перспективе почти во всех районах лесной зоны ЕТС не будет старых лесов, кроме «запретных» (заповедных), водоохраных, курортных и других участков, отнесенных к лесам I группы лесопользования. Лес будет сниматься по достижению фазы спелости: хвойные породы в возрасте 90—110 лет, а мягколиственные — 50—60 лет. Поэтому следует ожидать, что суммарное испарение в лесах второй половины XXI в. почти повсеместно может превышать испарение с открытой местности, так как суммарная площадь вырубок и молодняков (возраст до 20 лет), а также старых «запретных» лесов с пониженным испарением будет примерно в 4 раза меньше всей площади лесов.

## 4. Суммарный сток с участков разновозрастного леса

### 4.1. Структура суммарного стока с лесного массива

Суммарный сток, поступающий из леса в гидрографическую сеть речных водосборов, складывается из: поверхностного стока и стока внутрпочвенной верховодки  $Y_{пов}$ ; стока подземных вод  $Y_{подз}$  всех водоносных горизонтов, дренируемых главными руслами средних рек (с площадями водосборов 5—40 тыс. км<sup>2</sup>); фильтрационного питания глубоких водоносных горизонтов  $Y_{ф}$ , участвующих в питании средних и крупных рек.

Наибольший объем воды (40—60 %) поступает из леса в реки за счет  $Y_{пов}$ . При этом собственно поверхностный, или склоновый, сток почти невозможно отделить от стока верховодки в гидрографе лесной реки. На многих участках леса мы не видим скоростей течения в слое воды, находящейся на почве. По нашим многолетним исследованиям, суммарная площадь открытой водной поверхности в разных лесах составляет в весенний период от 10 до 60 % при средней толщине (глубине) этого слоя 3—5 см. Движение воды по поверхности почвы наблюдается только на некоторых вырубках, в нижних частях лесных склонов, в полузаболоченных лесах, в тальвегах логов и в колеях лесных дорог. Поэтому основной сток в гидрографическую сеть поступает из верхних 30—60 см горизонтов почв А и В.

Почти весь остальной объем годового стока (37—53 %) поступает в реки подземным путем, в том числе 35—40 % за счет грунтового стока из первого водоносного горизонта.

По нашим 30-летним воднобалансовым исследованиям, объем поверхностного и верховодного стока  $Y_{пов}$  в многоводные весны составляет 70—80 %, а в маловодные, а также затяжные половодья — только 20—40 % всего объема стока весеннего периода [см. 34, 35 и другие работы автора].

В осенние периоды также иногда наблюдается поверхностный сток, составляя 10—20 % объема годового стока. Но в среднем за многолетний период объем  $Y_{пов}$  в осенний период не превышает 5 % стока за год.

На лесных участках, сложенных песками, составляющая  $Y_{пов}$  наименьшая (5—10 %) и почти весь объем годового стока формируется за счет грунтового стока (60—70 %) и более глубоких водоносных пластов (15—25 %).

Величина  $Y_{ф}$  незначительная. Она дает равномерное питание средним и крупным рекам и приближенно оценивается 8—18 мм в год (3—7 % слоя годового стока). Непосредственно измерить этот сток в реки чрезвычайно трудно, так как даже в самые засушливые летние периоды верхний водоносный горизонт не иссыкает и

питает реки (колодцы бытового водопользования в населенных пунктах не пересыхают).

Наши представления о структуре стока с лесных водосборов рек не противоречат существующим воззрениям на процессы формирования стока [4, 15, 18, 30, 78, 84 и др.]. Могут быть лишь различия в количественной оценке отдельных составляющих суммарного стока по отдельным регионам лесной зоны ЕТС.

#### 4.2. Годовой сток с лесных участков и его изменения под влиянием роста леса

В настоящей работе рассматривается суммарный средний сток за 10-летние периоды. За такой сравнительно непродолжительный период в уравнении водного баланса речного бассейна должен появляться дополнительный компонент  $\Delta U_{\text{басс}}$  и уравнение (1.4), решаемое относительно стока, принимает вид

$$\bar{Y} = \bar{x} - \bar{E} + \Delta U_{\text{басс}}, \quad (4.1)$$

где  $\Delta U_{\text{басс}}$  представляет переходящие (не скомпенсированные) запасы влаги в почвенно-грунтовой толще речного бассейна [4, 34]. Многолетние экспериментальные исследования водного баланса в лесной зоне ЕТС свидетельствуют о том, что  $\Delta U_{\text{басс}}$  за периоды 10—15 лет обычно не превышает  $\pm 5$  мм [34, 35], однако за отдельные многоводные и маловодные годы может достигать  $\pm (60—140)$  мм.

Вычисляя по уравнению водного баланса поступление суммарного годового стока с залесенных участков в речную сеть средних по площади речных водосборов, мы пренебрегаем переходными значениями аккумуляционных запасов  $\Delta U_{\text{басс}}$  используем уравнение

$$\bar{Y}_i = \bar{x} - \bar{E}_i, \quad (4.2)$$

где  $\bar{x}$  — районное среднее многолетнее количество (норма) осадков с учетом всех видов поправок [14, 15];  $\bar{E}_i$  — рассчитанное суммарное водопотребление леса по 10-летним ступеням его роста (по данным табл. 3.13).

Под лесным участком мы подразумеваем здесь совокупность множества участков одновозрастных лесов с суммарной площадью порядка 100 000 га, расположенных в крупном лесном массиве или в лесах речного бассейна. При таком условии можно ожидать наличия разнообразных типов возобновления и роста лесов, а также правомерности использования уравнения водного баланса (4.2), по которому выполняются расчеты суммарного стока, поступающего из леса в реки.

Результаты расчета годового стока с вырубок и участков восстанавливающегося леса представлены в табл. 4.1 и на рис. 4.1. Эти данные характеризуют изменение средних значений стока по

Таблица 4.1

Суммарный сток ( $Y_i$ ) с участков в период возобновления, роста и старения леса и отношение к территориальным нормам ( $\bar{Y}$ ) в подзонах южной и средней тайги ЕТС

| Возраст леса,<br>число лет после<br>вырубки | $Y_i$ (мм) в подзоне южной тайги |                                        |                                         | $K_i = Y_{yi} / \bar{Y}$ |       |        |
|---------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|-------|--------|
|                                             | год<br>$\bar{Y} = 250$ мм        | весна<br>(III-V)<br>$\bar{Y} = 115$ мм | межень<br>(VI-II)<br>$\bar{Y} = 135$ мм | год                      | весна | межень |
| 5                                           | 415                              | 160                                    | 255                                     | 1,65                     | 1,40  | 1,90   |
| 10                                          | 395                              | 165                                    | 230                                     | 1,58                     | 1,45  | 1,70   |
| 20                                          | 285                              | 160                                    | 125                                     | 1,10                     | 1,40  | 0,90   |
| 30                                          | 210                              | 140                                    | 70                                      | 0,85                     | 1,20  | 0,50   |
| 40                                          | 155                              | 125                                    | 30                                      | 0,62                     | 1,10  | 0,20   |
| 50                                          | 140                              | 115                                    | 25                                      | 0,55                     | 1,00  | 0,18   |
| 60                                          | 145                              | 105                                    | 40                                      | 0,58                     | 0,92  | 0,30   |
| 70                                          | 165                              | 100                                    | 65                                      | 0,65                     | 0,85  | 0,50   |
| 80                                          | 205                              | 90                                     | 105                                     | 0,80                     | 0,80  | 0,75   |
| 90                                          | 225                              | 105                                    | 120                                     | 0,90                     | 0,90  | 0,90   |
| 100                                         | 245                              | 110                                    | 135                                     | 0,98                     | 0,96  | 1,00   |
| 110                                         | 255                              | 115                                    | 140                                     | 1,03                     | 0,99  | 1,05   |
| 120                                         | 270                              | 115                                    | 155                                     | 1,06                     | 1,00  | 1,10   |
| 140                                         | 285                              | 115                                    | 160                                     | 1,10                     | 1,00  | 1,15   |
| 160                                         | 290                              | 120                                    | 170                                     | 1,12                     | 1,05  | 1,20   |
| Не покрытые<br>лесом участ-<br>ки           | (250)                            | (115)                                  | (135)                                   | 1,00                     | 1,00  | 1,00   |

10-летиям в связи с ростом нового леса. Для многих районов подзоны южной тайги приводятся значения стока в мм слоя, а в целом для подзон южной и средней тайги — в долях от единицы, т. е. по отношению к территориальным нормам стока. При этом значение стока с участков 100-летнего леса оказалось близким к районной норме стока, определяемой по картам [15, 73].

Для не покрытых лесом участков, входящих в площади лесного фонда, значение стока условно принято за норму, так как условия его формирования не меняются в многолетнем разрезе. К таким участкам относятся моховые болота, поляны, выпасы, пески, не заросшие лесом гари, карьеры, дороги и пр.

Относительными значениями стока (табл. 4.1 и рис. 4.1) будем пользоваться в дальнейшем при оценке влияния на сток изменений возрастной и видовой структуры лесов. Эти относительные значения стока можно назвать коэффициентом изменения среднегодового стока  $K_{\bar{Y}}$  под влиянием вырубки и восстановления лесов. Они представляют цифровую модель реакции на сток всех многофакторных изменений, происходящих в лесах.

В соответствии с этой моделью после вырубки спелого или перестойного леса в первые 1—2 года из-за резкого снижения ис-

парения происходит заполнение почвенно-грунтовых емкостей: увеличивается влажность верхнего 0—50 см слоя почвы и поднимаются уровни грунтовых вод на 0,5—1,5 м. На это расходуется от 50 до 100 мм неиспарившейся влаги, одновременно резко увеличивается суммарный сток с вырубленного участка  $K_{\bar{r}}=1,3\div 1,5$ .

Наивысшие значения годового стока (1,6—1,7) формируются на третий-четвертый год после вырубki и поддерживаются до пя-

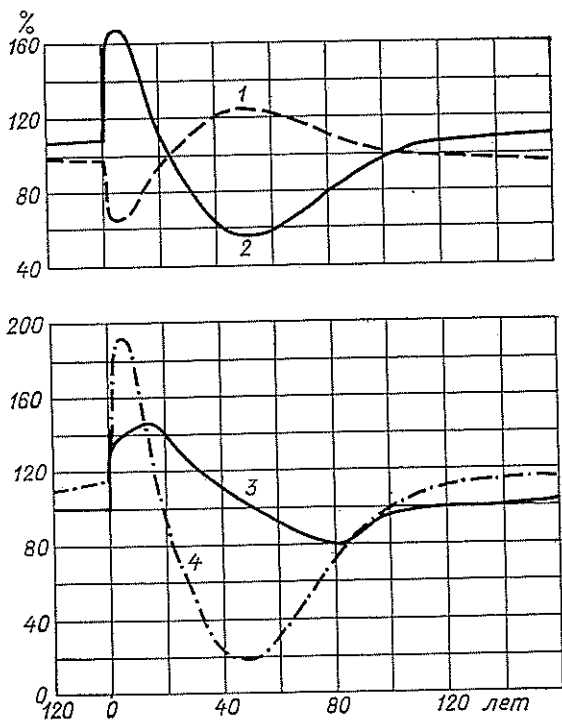


Рис. 4.1. Влияние возраста леса на средние многолетние значения суммарного испарения за год (I) и стока (в % к норме).

Сток: 2 — годовой, 3 — весенний (III—V), 4 — межсезонный (VI—II).

того-шестого года, т. е. до появления густой напочвенной растительности и молодого подростка деревьев. С развитием этой растительности сток резко снижается и уже к 22—24-му году после вырубki становится равным норме.

Последующее развитие леса приводит к интенсивному водопотреблению и дальнейшему резкому снижению годового стока, минимум которого наблюдается между 40 и 60 годами после вырубki. В этот период с участков нового леса в гидрографическую сеть поступает только 55—65 % нормы годового стока ( $K_{\bar{r}} = 0,55\div 0,65$ ) или на 100—140 мм меньше, чем до рубки спелого перестойного леса.

В период с 60 до 100 лет происходит естественное разрежение стволов и кроны древостоев, отмирают мягколиственные деревья и

лес начинает потреблять все меньше и меньше влаги, а сток увеличивается, приближаясь к норме.

Процесс разрежения леса за счет взросления, а затем и старения хвойных пород продолжается и после 100 лет. С этим связано некоторое уменьшение суммарного испарения и увеличения годового стока до значений  $K_{\bar{r}} = 1,06 \div 1,10$ . После 140 лет наступает равновесное состояние водного баланса и всей экологической системы лесного участка. Старые, выпадающие деревья сменяются более молодыми из второго яруса. Часто на месте ветровалов набирают силу и успешно развиваются мягколиственные породы, которые затем стареют и вновь уступают место хвойным древостоям. Поэтому для средней таежной подзоны характерно наличие 10 % берез и осин в хвойных перестойных, никогда еще не рубленных лесах.

Если рассматривать изменение годового стока по равным 50-летним периодам, что актуально при оценке влияния антропогенных факторов на сток и особенно при анализе длительных надежных экспериментальных исследований, то за первое 50-летие объем стока с вырубленных и зарастающих вновь участков примерно равен норме. За второе 50-летие сток меньше нормы на 25 %, а за третье — больше на 5—8 %.

Если рассматривать вековой период, то с вырубленных и заросших вновь лесом участков стечет меньше нормы на 10 %, за 120 лет — меньше на 8 %, и за весь 150-летний период жизни нового хвойного леса — меньше на 5 %.

В начале XX века на многих водосборах средних рек был рубленный старый перестойный «материнский» лес. Такой лес еще сохранился на больших площадях в Коми АССР, Среднем Урале и в южных районах Архангельской области (см. п. 2.3, рис. 2.15). По сравнению со старыми лесами новый лес за весь 100-летний период его роста уменьшает объем годового стока в среднем на 15—20 %.

Таким образом, рубка лесов с последующим их восстановлением уменьшает объем воды, поступающий в реки, примерно на 8—10 % относительно современной территориальной нормы и до 20 % по сравнению с нормой стока из старых лесов.

Аналогично изменяются элементы водного баланса зарастающих сельскохозяйственных малопродуктивных угодий (пашни, сенокосы, выпасы). Здесь только отсутствует фаза увеличения стока в первые годы зарастания этих угодий, так как испарение мало меняется в первые 10—20 лет, но в последующие годы оно интенсивно возрастает, а сток уменьшается. Начиная с 50—60-летнего возраста леса сток увеличивается и к 100 годам достигает нормы (табл. 4.2).

Сельскохозяйственные угодья в зависимости от их площади и видового состава окружающих лесов зарастают по-разному: хвойными древостоями — по I группе типов восстановления лесов, лиственными — по II группе, а также могут зарастать кустарни-

Возможные изменения годовых значений суммарного испарения и стока с зарастающих лесом сельскохозяйственных угодий в районах южной подзоны тайги ЕТС

$$\bar{x} = 725 \text{ мм}, \bar{E} = 475 \text{ мм}, \bar{Y} = 250 \text{ мм}$$

| Характеристика | Возраст леса, число лет от начала зарастания угодья |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------|-----------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                | 0                                                   | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 80   | 100  | 120  | 140  |
| $E_i$          | 480                                                 | 470  | 470  | 540  | 590  | 590  | 550  | 520  | 470  | 455  | 440  |
| $Y_i$          | 245                                                 | 255  | 255  | 185  | 135  | 135  | 175  | 205  | 255  | 270  | 285  |
| $K\bar{Y}_i$   | 0,98                                                | 1,02 | 1,02 | 0,74 | 0,54 | 0,54 | 0,70 | 0,82 | 1,02 | 1,08 | 1,14 |

ками. Последние обычно распространяются на бывших сенокосах и выпасах, располагающихся среди кустарников и ольхово-осинового мелколесья.

По наблюдениям автора и данным В. Г. Чертовского [92], на бывших сельскохозяйственных угодьях лес отрастает более интенсивно, чем на лесных вырубках. Поэтому можно ожидать и более резкого повышения испарения в первые 20—40 лет роста леса. Однако максимальное суммарное испарение вряд ли может превысить 600 мм, так как не хватит энергетических ресурсов.

В целом за 100-летний период зарастания сельскохозяйственных угодий количество воды, которое поступает в гидрографическую сеть, будет меньше нормы на 18 %, а за последующие 40 лет — больше на 10 %, т. е. сток из старого леса будет больше, чем с бывшего поля.

### 4.3. Водный баланс участков разновозрастного леса и весенний сток

Для оценки изменений весеннего стока были рассчитаны водные балансы за период весеннего половодья по большому числу лесных участков и комплексов, отличающихся по возрасту леса, составу почво-грунтов, глубинам залегания грунтовых вод, видовому составу древостоя и типам лесовосстановления. Материалами для таких расчетов послужили многолетние экспериментальные воднобалансовые исследования, выполненные под руководством автора на Валдае (ВНИГЛ, 1955—1969 гг.), в бассейне р. Шелони (1962—1963 гг.) и Вятской экспедицией Гидрологического института по изучению весеннего половодья (1973—1980 гг.). Основные результаты расчетов и анализа водных балансов лесных и полевых водосборов и комплексов опубликованы автором [32—42], а методологическая основа в [12, 32—36, 41, 52—54, 74 и др.].

В настоящей работе приводятся более полные данные по водному балансу и стоку за период весеннего половодья — по

Таблица 4.3

Эволюция видового состава леса, элементов водного баланса и стока за период весеннего половодья при восстановлении леса после вырубki (для средних климатических условий Северо-Востока ЕТС,  $x=40$  мм)

| Вид леса, угодье                                                                                                                  | Возраст, лет | Класс бонитета | Водный баланс по (4.3), мм |                  |            |                 |          | $Y_i$ | $\frac{Y_i}{\bar{Y}}$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------|----------------------------|------------------|------------|-----------------|----------|-------|-----------------------|
|                                                                                                                                   |              |                | $S + \bar{x}$              | расход талых вод |            |                 |          |       |                       |
|                                                                                                                                   |              |                |                            | $E$              | $\Delta W$ | $\Delta U_{гp}$ | $\Sigma$ |       |                       |
| Почво-грунты суглинистые и супесчано-суглинистые; до вырубki $\bar{Y}=100$ мм                                                     |              |                |                            |                  |            |                 |          |       |                       |
| 7 Е, 3 Пх, ед. Ос                                                                                                                 | 110          | I              | 190                        | 35               | 35         | 30              | 100      | 90    | 0,90                  |
| 7 Е, 3 Ос, ед. Б                                                                                                                  | 100          | II             | 210                        | 30               | 30         | 30              | 90       | 120   | 1,20                  |
| 6 Е, 4 С, ед. Б                                                                                                                   | 140          | I              | 190                        | 35               | 25         | 40              | 100      | 90    | 0,90                  |
| 9 Е, 1 С, ед. Б                                                                                                                   | 120          | II             | 190                        | 35               | 30         | 30              | 95       | 95    | 0,95                  |
| Вырубка свежая                                                                                                                    | 5            | —              | 220                        | 20               | 25         | 25              | 70       | 150   | 1,50                  |
| Вырубка старая                                                                                                                    | 15           | —              | 220                        | 20               | 20         | 20              | 60       | 160   | 1,60                  |
| 5 Ос, 4 Б, 1 Е                                                                                                                    | 40           | IV             | 220                        | 15               | 30         | 35              | 80       | 140   | 1,40                  |
| 3 Ос, 2 Б, 5 Е                                                                                                                    | 60           | III            | 210                        | 25               | 30         | 40              | 95       | 115   | 1,15                  |
| 7 Е, 3 Ос, ед. Б                                                                                                                  | 80           | II             | 190                        | 30               | 35         | 40              | 105      | 85    | 0,85                  |
| 6 Е, 2 Пх, 2 Ос                                                                                                                   | 80           | I              | 180                        | 35               | 40         | 35              | 110      | 70    | 0,70                  |
| 6 Е, 4 С, посадка                                                                                                                 | 40           | II             | 170                        | 40               | 35         | 40              | 115      | 55    | 0,55                  |
| 6 Е, 3 С, 1 Ос, посадка                                                                                                           | 70           | I              | 190                        | 35               | 35         | 35              | 105      | 85    | 0,85                  |
| Почво-грунты песчаные, грунт. воды ниже 3 м; до вырубki $\bar{Y}=85$ мм                                                           |              |                |                            |                  |            |                 |          |       |                       |
| 9 С, 1 Б                                                                                                                          | 110          | IV             | 200                        | 35               | 15         | 90              | 140      | 60    | 0,71                  |
| 10 С, ед. Б                                                                                                                       | 120          | III            | 210                        | 30               | 15         | 80              | 125      | 85    | 1,00                  |
| 5 С, 3 Е, 2 Б                                                                                                                     | 120          | I              | 205                        | 30               | 20         | 50              | 100      | 105   | 1,24                  |
| 6 С, 2 Е, 2 Б                                                                                                                     | 100          | II             | 200                        | 30               | 15         | 65              | 110      | 90    | 1,06                  |
| Вырубка свежая                                                                                                                    | 5            | —              | 220                        | 20               | 10         | 70              | 100      | 120   | 1,41                  |
| Вырубка старая                                                                                                                    | 15           | —              | 220                        | 15               | 10         | 60              | 85       | 135   | 1,59                  |
| 5 Б, 3 Ос, 2 С                                                                                                                    | 40           | IV             | 220                        | 15               | 20         | 75              | 110      | 110   | 1,30                  |
| 6 Б, 3 С, 1 Е                                                                                                                     | 40           | IV             | 215                        | 20               | 20         | 60              | 100      | 115   | 1,35                  |
| 5 С, 4 Б, 1 Е                                                                                                                     | 60           | III            | 200                        | 25               | 30         | 60              | 115      | 85    | 1,00                  |
| 6 С, 3 Б, 1 Е                                                                                                                     | 80           | II             | 200                        | 30               | 30         | 70              | 130      | 70    | 0,82                  |
| 8 С, 2 Б, ед. Е                                                                                                                   | 80           | II             | 205                        | 30               | 20         | 65              | 115      | 90    | 1,06                  |
| 6 С, 2 Е, 2 Б                                                                                                                     | 80           | I              | 180                        | 35               | 30         | 50              | 115      | 65    | 0,76                  |
| 9 С, 1 Б, посадка                                                                                                                 | 50           | II             | 200                        | 35               | 25         | 80              | 140      | 60    | 0,70                  |
| 6 С, 3 Е, 1 Б, посадка                                                                                                            | 70           | I              | 180                        | 35               | 25         | 50              | 110      | 70    | 0,82                  |
| Почво-грунты супесчано-суглинистые оглеенные и торфянистые, переувлажненные, грунтовые воды выше 1 м; до вырубki $\bar{Y}=160$ мм |              |                |                            |                  |            |                 |          |       |                       |
| 5 Е, 3 Ос, 2 Б                                                                                                                    | 120          | III            | 210                        | 25               | 0          | 25              | 50       | 160   | 1,00                  |
| 6 С, 3 Б, 1 Е                                                                                                                     | 120          | IV             | 210                        | 25               | -5         | 15              | 35       | 175   | 1,09                  |
| 7 Е, 2 Ос, 1 Б                                                                                                                    | 110          | III            | 200                        | 30               | 10         | 20              | 60       | 140   | 0,87                  |
| Вырубка свежая                                                                                                                    | 5            | —              | 220                        | 20               | -10        | 10              | 20       | 200   | 1,25                  |
| Вырубка старая                                                                                                                    | 15           | —              | 220                        | 15               | -10        | 10              | 15       | 205   | 1,28                  |
| 6 Ос, 3 Б, 1 Е                                                                                                                    | 40           | V              | 220                        | 15               | -5         | 10              | 20       | 200   | 1,25                  |
| 6 Б, 2 Ос, 2 С                                                                                                                    | 40           | V              | 220                        | 20               | -5         | 15              | 30       | 190   | 1,19                  |
| 3 Е, 3 С, 2 Б, 2 Ос                                                                                                               | 60           | IV             | 205                        | 25               | 5          | 20              | 50       | 155   | 0,97                  |
| 4 С, 5 Б, 1 Е                                                                                                                     | 60           | IV             | 210                        | 25               | 10         | 30              | 65       | 145   | 0,91                  |
| 5 Е, 4 Ос, 1 Б                                                                                                                    | 80           | IV             | 200                        | 25               | 15         | 30              | 70       | 130   | 0,81                  |
| 6 С, 3 Б, 1 Е                                                                                                                     | 80           | IV             | 200                        | 30               | 20         | 30              | 80       | 120   | 0,75                  |
| 8 Е, 2 Ос, ед. Б                                                                                                                  | 100          | III            | 190                        | 35               | 0          | 10              | 45       | 145   | 0,91                  |
| 6 С, 2 Б, 2 Е                                                                                                                     | 100          | IV             | 200                        | 30               | -5         | 15              | 40       | 160   | 1,00                  |
| Верховое болото                                                                                                                   |              |                |                            |                  |            |                 |          |       |                       |
| 10 С, ед. Б                                                                                                                       | 100          | V              | 210                        | 20               | 0          | 20              | 40       | 170   | —                     |
| Открытая местность, пашня, жнивье, луга; почво-грунты суглинистые                                                                 |              |                |                            |                  |            |                 |          |       |                       |
| Поле                                                                                                                              | —            | —              | 190                        | 30               | -5         | 35              | 60       | 130   | 80                    |



39 различным лесным участкам (табл. 4.3). Материалы таблицы отражают средние многолетние (за 10-летия) соотношения элементов водного баланса и весеннего стока для условий бассейнов рек Вятки и Ветлуги. Условия формирования весеннего стока в лесах этих бассейнов по многим элементам водного баланса аналогичны другим районам лесной зоны ЕТС [39, 44, 45]. Наблюдается также почти полная аналогия в процессах возобновления лесов и смены лесных биогеоценозов в зависимости от состава почво-грунтов и глубин залегания грунтовых вод. Поэтому соотношения элементов водного баланса и относительные значения стока (по сравнению с нормой) можно использовать для оценки влияния на сток вырубок и восстанавливающихся лесов в подавляющем большинстве районов подзон и южной и средней тайги ЕТС.

Расчеты весеннего стока  $Y$  выполнялись по уравнению водного баланса

$$Y = (S + \bar{x}) - (E + \Delta W + \Delta U_{гр}), \quad (4.3)$$

где  $S + \bar{x}$  — снегозапасы в конце зимы и норма весенних осадков, равная 40 мм — приходная часть баланса влаги;  $E + \Delta W + \Delta U_{гр}$  — соответственно суммарное испарение, изменение запасов влаги в 100-см слое почвогрунтов, изменение запасов грунтовых вод за период формирования стока — расходная часть баланса;  $Y$  — суммарный сток весеннего половодья.

Снегозапасы к началу весны определялись по соотношению с их нормой для смешанного леса, установленной за период с 1936 по 1980 г. Соотношения для различных лесов вычислялись по материалам многолетних экспериментальных наблюдений в лесной зоне ЕТС (табл. 4.4). Наглядное представление о различии снего-

Таблица 4.4

Средние многолетние соотношения и характеристики запасов воды в снеге к началу весны в различных по видовому составу лесах [34, 39—42]

| Характеристики леса, угодья                      | Лесная зона ЕТС | Бассейн р. Вятки       |                |            |                              |
|--------------------------------------------------|-----------------|------------------------|----------------|------------|------------------------------|
|                                                  |                 | относительные значения | запас воды, мм | высота, см | плотность, г/см <sup>3</sup> |
| Смешанный (50 % хвойных и 50 % лиственных пород) | 1,00            | 1,00                   | 170            | 70         | 0,24                         |
| Еловый густой                                    | 0,80—0,90       | 0,80                   | 130            | 50         | 0,26                         |
| Еловый средней густоты                           | 0,90—0,97       | 0,90                   | 150            | 60         | 0,25                         |
| Сосновый                                         | 0,90—0,97       | 0,90                   | 150            | 60         | 0,25                         |
| Лиственный                                       | 1,04—1,10       | 1,05                   | 180            | 80         | 0,23                         |
| Кустарник и мелколесье                           | 1,04—1,08       | 1,06                   | 180            | 85         | 0,21                         |
| Вырубки больше                                   | 1,04—1,08       | 1,05                   | 180            | 70         | 0,26                         |
| Вырубки малые и поляны                           | 1,05—1,15       | 1,12                   | 190            | 80         | 0,24                         |
| Мелколесье смешанное, угнетенной формы развития  | 0,98—1,02       | 1,09                   | 170            | 70         | 0,24                         |
| Моховое (верховое) болото                        | 0,95—1,00       | 1,00                   | 170            | 70         | 0,24                         |
| Просеки и каналы среди хвойного леса             | 1,10—1,30       | 1,30                   | 220            | 90         | 0,24                         |
| Поле (все виды поверхностей)                     | 0,75—0,92       | 0,88                   | 150            | 54         | 0,28                         |

запасов в лесах экспериментальных воднобалансовых участков дает рис. 4.2. Экспериментальные участки располагались друг от друга в радиусе до 3 км. Снегозапасы в 1979 и 1980 гг. были примерно одинаковыми, что позволило объединить их в единую совокупность распределения по площади участков. Из рисунка видно влияние вырубок и лиственных лесов на увеличение снегозапасов по сравнению с хвойными лесами.

Норма весеннего стока для спелых 100—120-летних хвойных лесов определялась путем анализа водных балансов лесных участ-

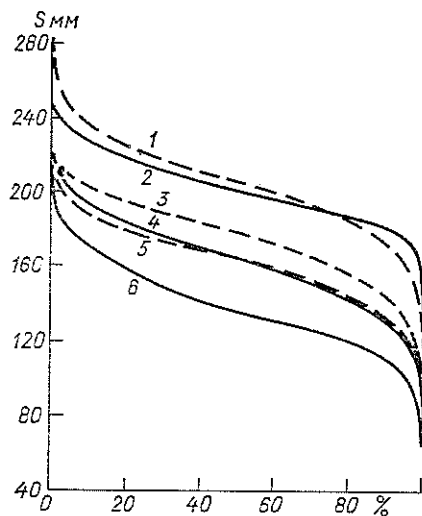


Рис. 4.2. Распределение снегозапасов по площади экспериментальных лесных участков ГГИ в бассейне р. Вятки по снегозапаскам 20 марта 1979 и 1980 гг.

1 — на вырубках 2—10-летней давности среднее по четырем большим вырубкам; 2 — березовый лес полнотой 0,5; 3 — смешанный средневозрастный лес полнотой 0,6; 4 — спелый хвойный лес 5 Е, 2 С, 3 Б, Ос, полнотой 0,7, подготовленный к рубке; 5 — елово-осиновый средневозрастный лес 5 Е, 5 Ос, полнотой 0,7; 6 — густой елово-сосновый приспевающий лес 7 Е, 3 С, полнотой 0,9.

ков, сложенных различными почво-грунтами. Приняты следующие значения норм стока: для еловых лесов на суглинках — 100 мм, для сосновых и сосново-еловых лесов на песчаных и супесчаных почвах с глубоким залеганием грунтовых вод в межень (более 3 м) — 85 мм; для лесов на супесчано-суглинистых оглеенных и заторфованных грунтах с близким залеганием грунтовых вод в межень (0,5—1,5) — 160 мм. Среднее многолетнее значение весеннего стока для всех комплексов спелого леса в бассейне р. Вятки принято равным 115 мм, а для болот 170 мм [37, 39, 40]. Из данных табл. 4.3 следует, что весенний сток в различных лесных комплексах при одинаковых метеорологических условиях изменяется в очень широком диапазоне: от 55 до 205 мм, а по отношению к норме стока с лесов — от 0,55 до 1,6. Наивысшие значения стока для всех видов лесов имеют место на вырубках, а затем в лиственных лесах. Наименьшие значения весеннего стока наблюдаются в густых хвойных лесах, как на песчаных, так и на суглинистых почво-грунтах: в 40-летних посадках и в 80-летних лесах при естественном их восстановлении.

Относительные значения весеннего стока для всех трех групп, представленных в табл. 4.3, близки в разновозрастных лесах. Так,

в спелых лесах относительные значения стока изменяются в пределах 0,70—1,24, а осредненные по группам их значения — от 0,98 до 1,00. На различных вырубках значения  $K_Y$  колеблются от 1,25 до 1,60, а осредненные по группам значения  $K_Y$  — от 1,27 до 1,52.

В различных 80-летних древостоях  $K_Y$  изменяется в пределах 0,69—1,00, а при осреднении по группам — 0,75—0,85.

Сравнительно небольшой диапазон различий в осредненных по группам относительных значений весеннего стока позволил генерализовать их по возрастным ступеням роста нового леса (см. табл. 4.1 и рис. 4.1). По этим данным затем рассчитаны значения весеннего стока для ряда районов подзоны южной тайги ЕТС

$$Y_i = K_{\bar{Y}_i} \bar{Y}_{\text{вес}}, \quad (4.4)$$

где  $K_{\bar{Y}_i}$  — коэффициент влияния возраста ( $i$ ) леса на средние значения весеннего стока за  $i$ -е десятилетие;  $\bar{Y}_{\text{вес}}$  — норма весеннего стока из леса, равная 115 мм для районов, указанных в табл. 4.1.

Значения  $K_{\bar{Y}_i}$ , представленные в табл. 4.1 и на рис. 4.1, рекомендуются нами для оценки изменения весеннего стока в связи с вырубкой и восстановлением лесов в подзонах южной и средней тайги ЕТС.

Весьма резкий и переменный по знаку (относительно нормы) ход весеннего стока обуславливается следующими причинами.

В первый же год после вырубki старого леса весенний сток скачкообразно увеличивается примерно на 30 % за счет возросших на 20—30 мм снегозапасов и снизившегося на 10—15 мм испарения. В последующие 5—15 лет сток продолжает увеличиваться и достигает 145 % нормы за счет повышенных снегозапасов и все уменьшающихся потерь талых вод на увлажнение почв (на 5 мм), пополнения запасов грунтовых (5 мм) вод и испарения (5 мм) (см. табл. 4.3). Скорость ветра на старых зарастающих вырубках меньше, чем на свежих. Напомним, что в этот начальный период возобновления лесов многие вырубки переувлажнены и начинают заболачиваться, поэтому потери талых вод наименьшие.

Через 18—20 лет весенний сток начинает снижаться за счет увеличения потерь талых вод в почвенно-грунтовой толще. Последнее обуславливается все возрастающим летним водопотреблением леса, что приводит к понижению уровней грунтовых вод и уменьшению влажности почв к началу зимы (весны). Между тем снегозапасы в лесах, восстанавливающихся через лиственные древостои, в течение 30—40 лет остаются почти такими же, как на вырубках, а в лесах — через хвойные древостои — снегозапасы интенсивно снижаются и к 30—40 годам становятся меньше (на 10 мм), чем в старых хвойных древостоях.

К 50 годам после вырубki весенний сток приближается к норме. В дальнейшем он продолжает снижаться и к 80-летнему возрасту древостоев составляет 80 % нормы. К этому времени

отмирают мягколиственные деревья и их место занимают хвойные древостои, смыкая свой полог над почвой. В результате снеготазасы имеют наименьшие величины, а потери талых вод — наибольшие. По сравнению с вырубками потери талых вод на испарение увеличиваются на 10—15 мм, на увлажнение метрового слоя почво-грунтов — на 15—25 мм, на пополнение запасов грунтовых вод — на 10—20 мм, в сумме на 30—55 мм (см. табл. 4.3).

Следует отметить, что в лесах 50—80-летнего возраста наблюдается наивысшая изменчивость потерь талых вод от года к году, что затрудняет их предсказание при прогнозах объема и максимума весеннего стока с лесных водосборов рек. В этот период наблюдается и наибольшая пестрота в распределении по площади и во времени (от года к году) глубин промерзания почв.

В период дальнейшего развития леса (80—120 лет) весенний сток увеличивается и приближается к норме. Увеличение стока происходит за счет уменьшения объема крон хвойных деревьев, т. е. уменьшения зимнего испарения снега (задержания осадков), что увеличивает снеготазасы. Кроме того, несколько уменьшаются потери талых вод на увлажнение почвенно-грунтовой толщи за счет некоторого снижения суммарного летнего водопотребления лесом (реже наблюдаются пересушки почв).

Последующее старение леса с разрежением его кроны и выпадением отдельных деревьев в 140—160-летнем возрасте может активизировать рост лиственных древостоев, находившихся во втором ярусе вблизи выпавших старых хвойных деревьев. В этом случае будет наблюдаться некоторое увеличение снеготазасы (на 5 мм) и весеннего стока.

В целом за 100-летний период лесовосстановления весенний сток будет больше нормы на 6 %, при этом в первом 50-летии — больше на 25 %, а за период 50—100 лет — меньше на 10 %.

Следовательно, рубка леса способствует увеличению весеннего стока в реки за счет длительного пребывания лиственных древостоев в восстанавливающихся лесах по сравнению со спелым лесом. Однако в старых, перестойных лесах можно ожидать некоторого увеличения стока также на 5 %. Поэтому по отношению к перестойному «материнскому» лесу рубка с последующим полным восстановлением лесов не меняет вековой нормы весеннего стока.

#### 4.4. Изменение меженного стока под влиянием роста леса

В теплый период года лесная растительность расходует до 80—90 % влаги от годового водопотребления. Особенно много потребляет лес в молодой и средней фазах его развития. В отдельные годы это потребление существенно превышает осадки теплого периода (на 100—150 мм), что порождает пересушку почво-грунтов и большой расход грунтовых вод (см. структурные уравнения

водного баланса в различные по увлажненности годы в работах [34, 35]. Поэтому естественно ожидать большого снижения межженного стока с участков, покрытых молодыми и средневозрастными лесами.

Значения межженного стока (за период июнь—февраль) по 10-летним ступеням развития нового леса определялись нами по разности между годовым и весенним стоком (в мм слоя) по данным табл. 4.1, а за вековой период — по разности норм стока.

Для условий бассейнов рек Вятки и Ветлуги, для которых вычислялся межженный сток, территориальная его норма близка к значениям стока в других районах подзоны южной тайги (115—130 мм) и составляет 135 мм для суходольного леса, 120 мм — для поля и 80—90 мм для разнообразных болот и заболоченных лесов. Поэтому относительные значения межженного стока  $K_{\bar{F}}$ , вычисленные нами для условий названных бассейнов рек, можно переносить и на другие районы подзоны южной тайги. Они ( $K_{\bar{F}}$ ) применимы также и для оценки изменений межженного стока в районах средней подзоны тайги, так как отражают основные физиологические особенности водопотребления и снегонакопления в лесах разного возраста. Выше указывалось (гл. 3), что ход транспирации и суммарного водопотребления в таежных и более южных лесах ЕТС идентичен, а коэффициенты водопотребления  $K_{\bar{E}}$  имеют близкие значения в одновозрастных лесах.

Значения межженного стока и ход  $K_{\bar{F}}$  представлены в табл. 4.1 и на рис. 4.1. Они показывают, что вырубка и последующее восстановление леса наиболее контрастно влияют на межженный сток, формирующийся в лесах.

В первые 10 лет после вырубки межженный сток резко увеличивается и составляет 180 % нормы. Во второе 10-летие сток резко снижается и достигает нормы. В целом за 20-летний период сток с вырубленных участков больше нормы на 150 %.

В последующие десятилетия межженный сток продолжает интенсивно уменьшаться и к 40—50 годам роста нового леса составляет только 20 % нормы. После 60 лет сток увеличивается и к концу 100-летнего восстановительного периода достигает нормы.

Наиболее низки значения стока с вырубленных участков в период наивысшего влагопотребления молодыми и средневозрастными лесами, т. е. в период с 30 до 70 лет. Среднее значение межженного стока в этот сорокалетний период составляет всего 35 % нормы. Поэтому на водосборах лесных ручьев и малых рек, где за непродолжительный период (за 5—10 лет) был вырублен весь лес, по прошествии 35—60 лет часто наступают катастрофические маловодья. Ручьи и малые реки практически пересыхают в летний период, а уровни грунтовых вод опускаются ниже дна депрессий местности. И на крупных участках молодого «процветающего» леса иногда наблюдается отсутствие жизни: не слышно

пения птиц, не видно зверей, так как в сухие годы здесь нет для них воды. Эти явления часто отмечаются в лесах Ленинградской и Кировской областей — даже в зимнее время здесь не было видно следов зверей. Этот вопрос, в частности, рассматривался на всесоюзной конференции охотоведов в г. Кирове [40].

В старых лесах меженный сток превышает норму на 10—15 и даже 20 %, что и создает правильное впечатление о благотворном влиянии леса на водность рек. Когда-то реки были окружены старыми лесами и их летняя водность была в два раза выше, чем теперь в обжитых районах.

Таким образом, вырубка с последующим восстановлением лесов следующим образом изменяет меженный сток: в первом пятидесятилетии снижает в среднем на 15 %, во втором — на 40 %, а в третьем увеличивает на 10 % по сравнению с нормой. В целом за 100-летний период восстановления леса меженный сток будет меньше нормы на 27 %, за 120-летний — на 20 % и за 150-летний — на 15 %.

По отношению к старому «материнскому» лесу вырубки и восстановление лесов уменьшают вековые водные ресурсы меженного периода (июнь—февраль) на 35 %, а полуторавековые на 25 %.

## 5. Оценка изменений водности рек под влиянием вырубок и восстановления лесов

Выше рассматривалось изменение суммарного стока с лесного участка в различные фазы роста нового леса после вырубки старого древостоя. Такой участок отражает все основные виды восстановления леса, т. е. представляет не одну лесную делянку, а множество их на какой-либо площади, где одновременно (за 3—4 года) был полностью вырублен перестойный и старый лес, например на водосборе малой реки с площадью до 100 км<sup>2</sup>. В таком случае в формировании суммарного стока реки будут одновременно участвовать восстанавливающиеся леса, произрастающие в верхних, средних и нижних частях склонов; леса — на суглинках, супесях, песках и на минерально-торфяных почвах; леса — на участках с глубиной залегания грунтовых вод в летнюю межень от 0,5 до 8 м. Поэтому суммарный годовой, весенний и меженный сток с указанного небольшого водосбора и его изменения по 10-летним ступеням развития лесов можно охарактеризовать моделями изменений стока, представленными на рис. 4.1 и в табл. 4.1. Однако на более крупных водосборах лес рубится в течение многих десятков лет и указанные модели должны применяться с уче-

том возрастной структуры лесов и других ландшафтных особенностей речного бассейна.

### 5.1. Методика учета структуры лесов при оценке изменений водности рек

В подзонах южной и средней тайги ЕТС на речных водосборах с площадями более 10 000 км<sup>2</sup> (более 1 млн. га) обычно имеется почти все многообразие ландшафтных различий, включая возрастную и видовой состав лесов. Лес постоянно рубится, и на смену старым и спелым древостоям появляются молодые, затем средневозрастные и приспевающие древостой с присущими им лесными комплексами биогеоценозов. Наличие участков с незаросшими вырубками и старым лесом, повышающих сток, компенсирует в значительной мере недостачу стока с участков, занятых молодыми и средневозрастными лесами. Поэтому сток со всего крупного лесного массива (или со всех лесных участков речного водосбора) изменяется под влиянием вырубок и восстановления лесов в значительно меньшей степени, чем для лесного участка или водосбора ручья. В ряде случаев сток с крупных лесных массивов в настоящее время может быть равен норме, т. е. среднему значению стока из 100-летнего леса.

Для наглядного представления о нивелирующей роли крупных лесных массивов и для понимания методики оценки влияния возраста леса на изменение стока с территорий предлагается графическая стоклеточная модель возрастной структуры крупного лесного массива площадью несколько млн. га (рис. 5.1). Каждая клетка модели представляет 1% площади лесного массива и имеет характеристику возрастной ступени леса. Эти характеристики возраста представляются в соответствующие клетки по данным областных и районных лесотаксаций (возраст и соответствующая площадь леса). Модель имитирует площадь всех лесов речного бассейна или административной области и может указывать на примерное распределение структуры лесов в северных (верхние строчки клеток), южных (нижние строчки), западных и восточных (боковые колонки клеток) районах области или речного бассейна.

Представленная на рис. 5.1 модель по типу афинного подобия является абстрактной, так как не относится к какой-либо конкретной местности. Однако возрастная структура лесов в ней характерна для многих областей подзоны южной тайги ЕТС и отражает их современную структуру, сложившуюся в результате длительного (с 1800 г.) хозяйственного использования лесов, включая и современные промышленные заготовки древесины. Эта модель может нести еще больше информации, если различным цветом обозначить видовой состав леса по его первому ярусу, как это принято на лесотаксационных картах.

Если в каждую клетку графической модели вписать (рис. 5.2) соответствующие значения коэффициентов влияния  $K_{\bar{V}_i}$  на сток

возраста леса, снимаемые с графика рис. 4.1 или табл. 4.1, и просуммировать все сто значений коэффициентов, то величина  $\sum_{i=1}^{100} K_{\bar{Y}_i} / 100$  будет отражать среднее значение изменения стока со всего крупного лесного массива при данной его структуре. Например, для леса, представленного на рис. 5.1 и 5.2, суммарное влияние возрастной структуры на годовой сток равно  $1,02\bar{Y}$ , т. е.

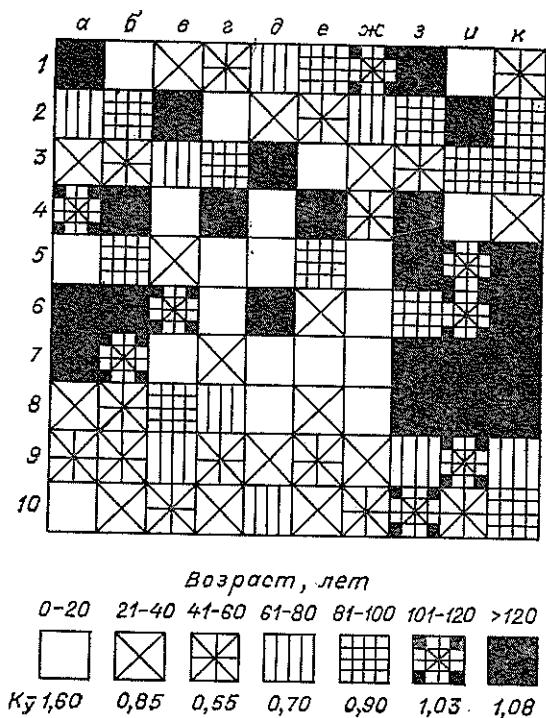


Рис. 5.1. Графоаналитическая модель возрастной структуры крупного лесного массива.

$K_{\bar{Y}_i}$  — значения коэффициентов влияния возраста леса на годовой сток — по данным рис. 4.1 или табл. 4.1.

годовой сток больше нормы на 2%, а для отдельных площадей этого лесного массива влияние структуры леса на сток меняется от 0,7 до 1,26 $\bar{Y}$  (ряды 9 и 7). Из этого примера видно, что с уменьшением площади лесных массивов возрастает возможность преобладания одновозрастных либо крайне разновозрастных лесов, что усиливает контрастность во влиянии возраста леса и его видового состава на сток в реки. Следовательно, на малых реках (с площадями водосборов до 1000 км<sup>2</sup>) в результате интенсивных вырубок и последующего восстановления лесов может на многие десятилетия сильно измениться их водный режим, а на больших реках изменения стока будут небольшими.

Из рассмотренной графической модели следует, что для оценки влияния возрастной структуры лесов на сток достаточно знать относительное распределение по территории возрастного состава



лесов, т. е. знать площади  $f_1, f_2, \dots, f_n$ , занимаемые лесами разного возраста в долях от единицы. (За 1,0 принимается вся площадь лесного фонда.) Суммарное влияние на сток возрастной структуры лесов определяется как средневзвешенная величина.

$$K_{\bar{Y}_{\text{ср. взв}}} = K_{\bar{Y}_1} f_1 + K_{\bar{Y}_2} f_2 + \dots + K_{\bar{Y}_n} f_n, \quad (5.1)$$

при этом

$$K_{\bar{Y}_{\text{ср. взв}}} - 1,0 = \Delta \bar{Y}_i \quad (5.2)$$

|                                 | а    | б    | в    | г    | д    | е    | ж    | з    | и    | к    | $\frac{\Sigma K \bar{y}_i}{10}$ |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------------------|
| 1                               | 1,08 | 1,60 | 0,85 | 0,55 | 0,70 | 0,90 | 1,03 | 1,08 | 1,60 | 0,55 | 0,99                            |
| 2                               | 0,70 | 0,90 | 1,08 | 1,60 | 0,85 | 0,55 | 0,70 | 0,90 | 1,08 | 0,90 | 0,93                            |
| 3                               | 0,85 | 0,55 | 0,70 | 0,90 | 1,08 | 1,60 | 0,85 | 0,55 | 0,90 | 0,90 | 0,89                            |
| 4                               | 1,03 | 1,08 | 1,60 | 1,08 | 1,60 | 1,08 | 0,55 | 1,08 | 1,60 | 0,85 | 1,16                            |
| 5                               | 1,60 | 0,90 | 0,85 | 1,60 | 1,60 | 0,90 | 1,60 | 1,08 | 1,03 | 1,08 | 1,23                            |
| 6                               | 1,08 | 1,08 | 1,03 | 1,60 | 1,08 | 0,85 | 1,60 | 0,90 | 1,03 | 1,08 | 1,13                            |
| 7                               | 1,08 | 1,03 | 1,60 | 0,85 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,08 | 1,08 | 1,08 | 1,26                            |
| 8                               | 0,85 | 0,55 | 0,90 | 0,70 | 1,60 | 0,85 | 1,60 | 1,08 | 1,08 | 1,08 | 1,03                            |
| 9                               | 0,55 | 0,55 | 0,70 | 0,55 | 0,85 | 0,55 | 0,85 | 0,70 | 1,03 | 0,70 | 0,70                            |
| 10                              | 1,60 | 0,85 | 0,55 | 0,85 | 0,70 | 0,85 | 0,55 | 1,03 | 0,55 | 0,90 | 0,84                            |
| $\frac{\Sigma K \bar{y}_i}{10}$ | 1,04 | 0,91 | 0,99 | 1,03 | 1,17 | 0,97 | 1,09 | 0,95 | 1,10 | 0,91 | ср. 1,02                        |









|                                                                                    |                                                                                    |                                                                                    |                                                                                    |                                                                                    |                                                                                    |                                                                                    |                                                                                    |                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
|  |  |  |  |  |  |  |  |                                  |
| $f_n \%$                                                                           | 20                                                                                 | 15                                                                                 | 14                                                                                 | 9                                                                                  | 12                                                                                 | 8                                                                                  | 22                                                                                 | $\Sigma f_i = 100\%$             |
| $K \bar{y}_i$                                                                      | 1,60                                                                               | 0,85                                                                               | 0,55                                                                               | 0,70                                                                               | 0,90                                                                               | 1,03                                                                               | 1,08                                                                               |                                  |
| $f_n K \bar{y}_i$                                                                  | 32,0                                                                               | 12,8                                                                               | 7,7                                                                                | 6,3                                                                                | 10,8                                                                               | 8,2                                                                                | 23,8                                                                               | $\Sigma f_n K \bar{y}_i = 102\%$ |

Рис. 5.2. Пример вычисления годового стока с крупного лесного массива  $\Sigma f_i K \bar{y}_i / 100$  и отдельных его площадей  $\Sigma K \bar{y}_i / 10$ .

будет представлять среднее изменение стока (по сравнению с нормой) за рассматриваемый 10-летний период  $i$ . Значение  $K_{\bar{Y}_i}$  коэффициентов влияния на сток (годовой, весенний, межлетний) возраста леса определяются по графикам (рис. 4.1) или по табл. 4.1. Величины  $f_1, \dots, f_n$  определяются по материалам о лесоустройстве каждой области и района — по данным лесотаксаций 1950—1980 гг. За более ранние годы возрастная структура лесов может быть восстановлена, а на будущие десятилетия — спроектирована.

Суть восстановления бывшей структуры лесов заключается в вычислении возраста леса за  $i$ -десятилетие на площадях  $f_1, \dots, f_n$ , на которых был определен возраст леса при первой таксации. Например, если по данным 1960 г. часть площади лесного массива  $f_3$  занята молодым лесом в возрасте 21—40 лет, а на площади  $f_6$  имеетсяripeвающий хвойный древостой в возрасте 81—100 лет, то:

— на площади  $f_3$  в 1925—1935 гг. произошла вырубка старого или спелого леса и к 1940 г. на этой площади появился подрост 10-летнего возраста;

— на площади  $f_6$  в 1870—1880 гг. произошла вырубка старого хвойного леса, к 1900 г. эта площадь покрылась лиственным 30-летним молодняком, в 1920 г. — смешанным лесом 50-летнего возраста, а в 1940 г. — средневозрастным 70-летним смешанным лесом с преобладанием хвойных древостоев.

Зная современные и будущие темпы и направления освоения лесов (расчетные лесосеки, ежегодно вырубаемые площади, вид используемой в промышленности древесины) можно спроектировать на несколько десятилетий вперед будущую структуру леса. Например, если задать интенсивность вырубки хвойных пород в первом будущем десятилетии в год 0,5 % площади всего лесного массива (от всей площади лесного фонда области), во втором десятилетии 0,8 % и в третьем 1,0 %, то за 30 лет будет вырублено 23 % площади лесного массива с перестойными и спелыми древостоями. Их место займут: лиственные и смешанные молодняки в возрасте 21—30 лет на площади 5 %, лиственное мелколесье и кустарники в возрасте 11—20 лет на 8 % и вырубки 1—10-летней давности на 10 % площади лесного массива.

Если задаваться лесозаготовками спелых древостоев мягколиственных и хвойных пород, то рубке будут подлежать, по-видимому, участки леса с хвойными деревьями в возрасте свыше 100 лет и с лиственными — от 50 до 70 лет.

Дальнейшее проектирование структуры лесов состоит в определении возраста древостоев на ранее вырубленных площадях. Например, через 70 лет на участках:

— где произрастал 50-летний смешанный лес, будут преимущественно хвойные древостои в возрасте 120 лет, либо вырубки 1—20-летней давности:

— где 70 лет назад вырубался лес, теперь будет смешанный лес 65-летнего возраста.

При проектировании будущей структуры лесов можно задаваться несколькими вариантами интенсивности рубок с учетом различий по видовому и возрастному составу заготавливаемой древесины.

## 5.2. Внутривековые изменения стока в реки с залесенных площадей

Изложенная выше методика позволила выполнить численный эксперимент по выяснению влияния интенсивности, периодичности и возраста вырубаемого леса на сток с крупного лесного массива. В различных вариантах расчета менялись: интенсивность вырубимой площади (в % за год); периодичность рубок (непрерывная рубка леса с постоянной или переменной по десятилетиям интенсивностью; прерывистая рубка — многие десятилетия производится вырубка, затем в течение десятилетий она прекращается, потом вновь возобновляется); возраст и видовой состав вырубаемого древостоя (хвойный перестойный лес 130—150-летнего возраста, хвойный спелый 100—120-летний, смешанный средневозрастный лес 70—80-летний и преимущественно лиственный 50—60-летний). Предполагалось при этом, что в течение трех веков климатические условия (средние по 10-летиям) существенно не менялись, и все отклонения стока от принятой нормы обуславливаются только изменениями в структуре леса. Предполагалось также, что рубки леса производятся одновременно в разных частях лесного массива и имеют место все основные виды лесовосстановления.

Наиболее характерные результаты численного эксперимента приводятся на рис. 5.3—5.5. Из рассмотрения этих материалов можно сделать следующие выводы.

1. Любая рубка леса приводит к уменьшению водных ресурсов лесного массива за счет появления молодого и средневозрастного леса, потребляющего воды больше, чем старый и спелый лес.

Годовой сток за первый вековой период (от начала интенсивной рубки леса) снижается примерно на 10 % нормы стока для старого леса. За второй вековой период интенсивной лесозаготовки сток снижается еще на 10—15 % и составляет 75—80 % по сравнению со старым лесом и 85—90 % по сравнению с нормой стока из леса 100-летнего возраста. Такие значения стока наступают уже в начале второго столетия и несущественно меняются в последующие десятилетия и столетия, так как при непрерывной лесозаготовке в крупном лесном массиве устанавливается примерно равновесная структура лесов.

Меженный сток за июнь—февраль в результате рубок леса снижается на 30—40 % по сравнению со стоком с участков старого леса и на 20—30 % по сравнению с нормой стока для 100-летнего леса. На небольших лесных массивах, т. е. для малых водосборов, снижение межлетнего стока может достигать 50 %. Этим в основном и обуславливается обмеление малых рек.

Весенний сток (март—май) увеличивается на 5 % по сравнению с нормами стока с участков со старым и спелым хвойным лесом.

2. Наиболее существенное влияние на изменение годового и сезонного стока из лесных массивов в гидрографическую сеть оказывает интенсивность вырубки леса.

При интенсивности рубки 2 % в год от площади крупного лесного массива (это практически предельная интенсивность), когда весь лесной массив полностью вырубается за 50 лет и в течение последующих двух-трех десятилетий он не годится для лесозэксплуатации, годовой сток на многие десятилетия снижается до 70 %, а меженный до 40 % нормы для 100-летнего леса (рис. 5.3).

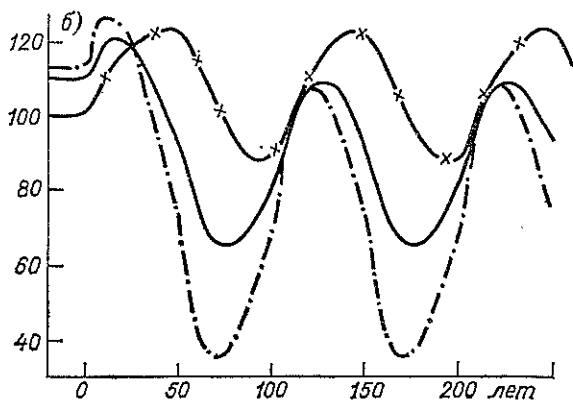
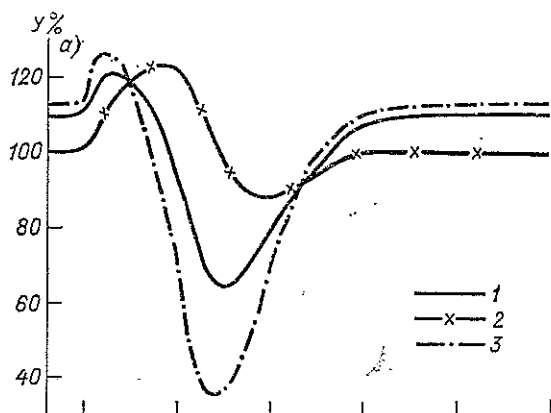


Рис. 5.3. Ход суммарного стока (в % к норме) с крупного лесного массива при различной периодичности рубки леса с интенсивностью 2 % в год от всей площади массива.

а — за первые 50 лет весь массив со старым лесом вырубается, рубки не возобновляются; б — то же, но рубки возобновляются через каждые 50 лет и рубятся участки только со спелым лесом, достигшим 100-летнего возраста.

Сток: 1 — годовой, 2 — весенний, 3 — меженный.

При интенсивности вырубki 1 % (наиболее распространенная и обоснованная интенсивность, обеспечивающая сохранение эксплуатационных лесных ресурсов, ритмичность лесозаготовок и постоянство структуры леса после 100 лет его эксплуатации), годовой сток снижается до 87 %, а меженный — до 70 % нормы (рис. 5.4 б).

При интенсивности вырубki менее 1 % в год нарастают площади со спелым и старым лесом и годовой сток находится в пределах 95—100 % его нормы.

3. Каждая смена интенсивностей вырубok влияет на изменение стока в течение нескольких десятилетий (рис. 5.5).

Даже внезапное прекращение рубки леса не приводит к прекращению снижения годового и меженного стока. Сток продолжает

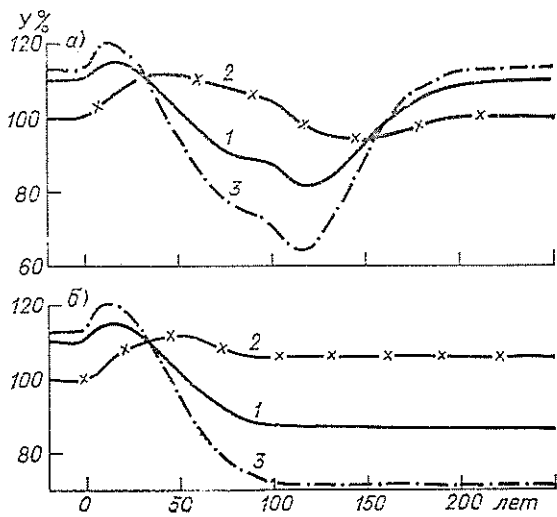


Рис. 5.4. Ход суммарного стока (в % к норме) с крупного лесного массива при разной периодичности рубки леса с интенсивностью 1 % в год от всей площади массива.

*a* — за первые 100 лет весь массив со старым лесом вырубается, рубки не возобновляются; *b* — то же, но после 100 лет рубки не прекращаются и производятся на участках леса, достигшего 100-летнего возраста. Сток: 1 — годового, 2 — десятилетний, 3 — меженный.

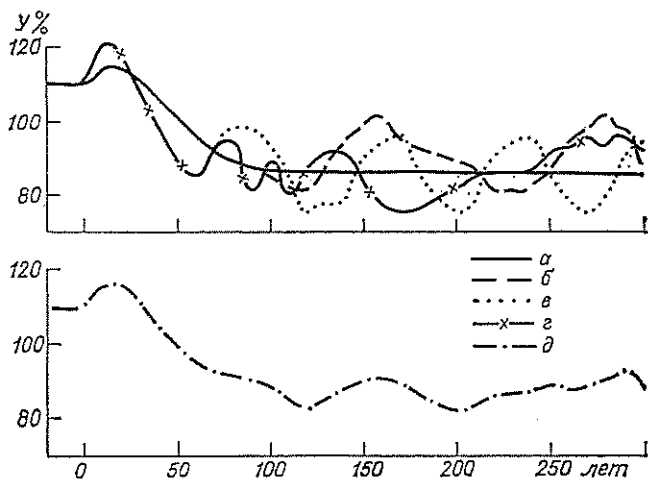


Рис. 5.5. Ход суммарного годового стока (% к норме) с крупного лесного массива при различных интенсивностях, периодичности и возрасте рубки леса (*a*—*г*); перед началом вырубки в массиве произрастал старый хвойный лес.

*a* — среднее значение ординат стока из вариантов рубок *a*—*г*.

снижаться в течение еще двух-трех десятилетий в результате застарения молодняка и ранее вырубленных площадей. Низкие значения стока будут наблюдаться в продолжение 40—50 лет после прекращения рубки леса (рис. 5.3*a* рис. 5.4*a*), так как в этот

период на значительных площадях будет еще находиться молодой и средневозрастный лес.

Любому увеличению интенсивности рубки леса или ее возобновлению соответствует сначала кратковременное (на два-три десятилетия) увеличение стока, а затем длительное его снижение (рис. 5.5). На увеличение стока влияют возросшие площади под вырубками, а на снижение — возросшие площади под молодым и средневозрастным лесом, которые в несколько раз превышают площади под незаросшими вырубками.

4. Возраст и видовой состав вырубаемого леса влияет в основном на весенний сток. Вырубка молодых и средневозрастных (лиственных и смешанных) лесов препятствует развитию хвойных древостоев, что приводит к существенному увеличению весеннего стока (примерно на 10 %). Это несколько увеличивает и годовой сток (на 3—5 %). Поэтому постоянная вырубка молодых и средневозрастных лесов в меньшей степени снижает годовой сток (рис. 5.5*в*) и дает, по мнению лесоводов, больше суммарной древесины по сравнению с рубками спелого хвойного леса (за 120—140 лет снимается два «урожая» молодого леса). Такой способ лесозексплуатации начал широко применяться в США, а в СССР имеет место лишь на ограниченных площадях.

5. При варьировании различными интенсивностями вырубок и возрастом вырубаемого леса годовой сток с крупного массива снижается более равномерно и менее значительно (до 90—85 % нормы — рис. 5.5*д*), чем при рубках только спелого хвойного леса (рис. 5.5*б*).

В пределах административных областей и на крупных речных водосборах с площадями 30—100 тыс. км<sup>2</sup> современная структура лесов обусловливается различными интенсивностями и видами лесозексплуатации, проводившейся в последние 100—150 лет, включая сведение лесов под сельскохозяйственные угодья и возвращение таких площадей под лес. Поэтому ход изменения стока с лесной части крупных водосборов во многом уподобляется представленному на рис. 5.5*д*. Отличия будут в случаях, когда не весь лесной фонд водосбора (области) эксплуатируется, что является следствием небольшой интенсивности вырубок — менее 0,7 % в год. В действительности средняя интенсивность вырубок леса по многим областям лесной зоны ЕТС за последние 10—15 лет составляла 0,5—2,0 % в год: в Псковской — 0,6 %, Вологодской — 1,0 %, Кировской — 1,5 %, Коми АССР — 0,6 % [25], в том числе по южным районам — около 1 %.

Оценка изменений стока с лесных площадей в гидрографическую сеть была выполнена для ряда областей и речных водосборов южной и средней тайги ЕТС за 1880—2050 гг. При этом использовались данные лесотаксаций за 1950—1980 гг. За период 1880—1950 гг. структура лесов восстанавливалась, а за 1990—2050 гг. проектировалась по указанным выше принципам и положениям (см. раздел 5.1). Вычисление средних отклонений стока от нормы за каждые 10-летия производилось в соответствии с пред-

ложенной нами методикой по уравнениям (5.1), (5.2). Пример такого расчета дается в приложении 1.

Ход изменений суммарного стока  $\Delta\bar{V}_i$  относительно его нормы для ряда областей представлен в табл. 5.1 и на рис. 5.6 и 5.7.

Таблица 5.1

Изменение суммарного стока с залесенных площадей в реки ( $\Delta\bar{V}_i$  в % к норме) под влиянием изменения структуры лесов

| Область         | Год  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                 | 1880 | 1900 | 1920 | 1940 | 1960 | 1980 | 2000 | 2020 | 2040 | 2050 |
| Годовой сток    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Псковская       | 8    | 7    | 1    | -8   | -10  | -14  | -6   | -3   | -1   | 3    |
| Калининская     | 11   | 3    | -1   | -9   | -10  | -14  | -6   | 0    | 1    | 0    |
| Ленинградская   | -5   | -4   | -6   | -12  | -14  | -13  | -5   | -7   | -8   | -9   |
| Карельская АССР | 5    | 3    | -1   | -1   | 0    | 1    | 4    | 1    | 0    | 0    |
| Вологодская     | 8    | 7    | 2    | -9   | -8   | -9   | 2    | 3    | 0    | -1   |
| Кировская       | 5    | -1   | -5   | -3   | 1    | -1   | -5   | -9   | -10  | -9   |
| Пермская        | 5    | -1   | -4   | -1   | 2    | 5    | 4    | -2   | -5   | -5   |
| Меженный сток   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Псковская       | 13   | 8    | -4   | -20  | -23  | -28  | -14  | -10  | -10  | -7   |
| Калининская     | 17   | 2    | -8   | -20  | -21  | -28  | -14  | -7   | -8   | -9   |
| Ленинградская   | -16  | -11  | -16  | -27  | -28  | -27  | -17  | -22  | -23  | -24  |
| Карельская АССР | 8    | 3    | -4   | -6   | -4   | -5   | -2   | -6   | -9   | -9   |
| Вологодская     | 13   | 8    | -4   | -21  | -18  | -19  | -6   | -4   | -10  | -12  |
| Кировская       | 6    | -5   | -13  | -9   | -8   | -10  | -17  | -23  | -24  | -25  |
| Пермская        | 8    | -7   | -8   | -3   | 0    | 1    | -6   | -13  | -18  | -17  |
| Весенний сток   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Псковская       | 4    | 7    | 10   | 7    | 6    | 3    | 5    | 8    | 9    | 10   |
| Калининская     | 6    | 6    | 9    | 7    | 5    | 3    | 5    | 9    | 12   | 12   |
| Ленинградская   | 2    | 6    | 3    | 6    | 1    | 2    | 9    | 11   | 12   | 11   |
| Карельская АССР | 2    | 4    | 5    | 5    | 5    | 7    | 12   | 12   | 12   | 13   |
| Вологодская     | 4    | 7    | 10   | 4    | 4    | 3    | 9    | 13   | 13   | 12   |
| Кировская       | 5    | 5    | 4    | 4    | 8    | 8    | 11   | 10   | 8    | 7    |
| Пермская        | 4    | 3    | 0    | 0    | 5    | 11   | 14   | 12   | 12   | 12   |

Напомним, что за норму стока мы принимаем сток в реки из 100-летнего леса. Поэтому в восьмидесятых годах прошлого века, когда преобладал старый лес и появились первые существенные (по суммарной площади) вырубки, сток при такой оценке оказался больше нормы: годовой на 4—10 %, весенний на 2—6 % и меженный на 6—17 %.

Если за норму принять сток из перестойного хвойного леса (средний возраст 140 лет), то на 1880—1890 гг. мы получили бы годовой сток, превышающий норму всего на 2—3 %, весенний — на 3—5 % и меженный на  $\pm 5$  % (за счет увеличения стока

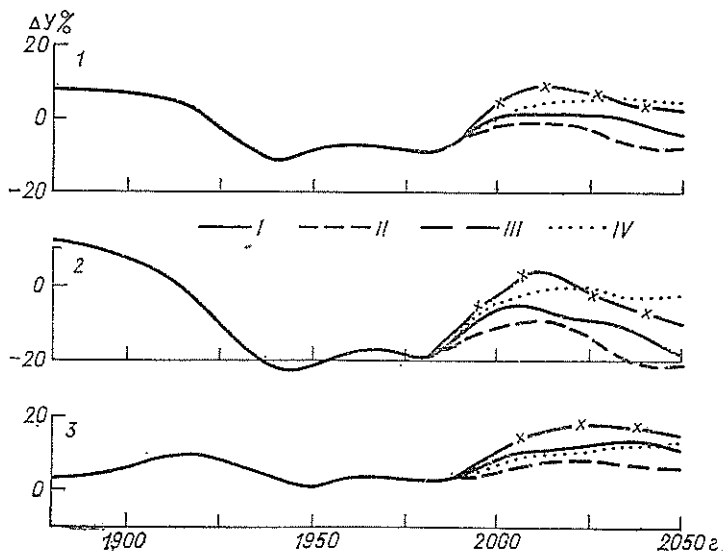


Рис. 5.6. Изменение суммарного стока (в % от нормы) с зале-сенных площадей в реки Вологодской обл. под влиянием экс-плуатации лесов за прошлые годы (до 1980 г.) и будущее 70-ле-тие (по 2050 г.) при разных вариантах (I—IV) рубок леса.

Сток: 1 — годовой, 2 — меженный, 3 — весенний.

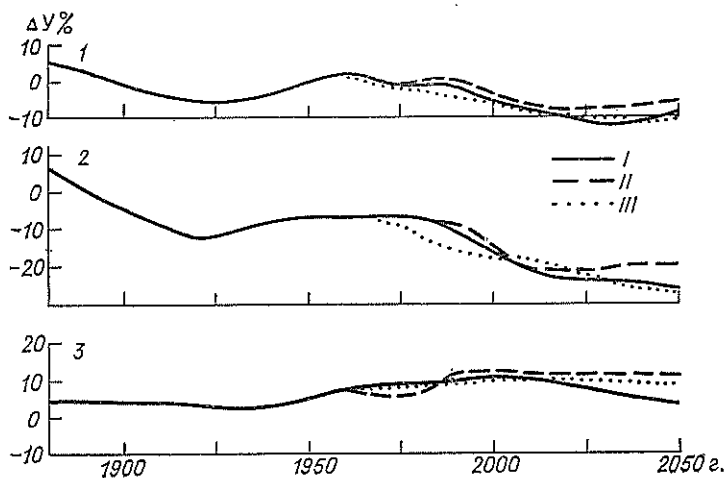


Рис. 5.7. Изменение суммарного стока (в % от нормы) с зале-сенных площадей в реки Кировской области под влиянием экс-плуатации лесов за прошлые годы (до 1980 г.) и будущее 70-ле-тие (по 2050 г.) при различных вариантах (I—III) рубки леса.

Сток: 1 — годовой, 2 — меженный, 3 — весенний.



вырубками и некоторого его снижения молодым лесом). Однако при таком условии в XXI столетии сток из леса все время будет значительно меньше нормы, так как перестойные леса станут редкостью (заповедные леса) и массовой вырубке будут подлежать хвойные леса 90—110-летнего возраста, а также лиственные древостой в возрасте 50—70 лет. В настоящее время в отдельных областях, расположенных в подзоне южной тайги ЕТС, перестойные леса занимают всего 2—10 % площади лесного фонда. Отметим также, что в настоящее время лиственные древостой еще не находят широкого промышленного использования, но имеется ряд предложений о массовой рубке лиственных пород на разные хозяйственные нужды и о приспособлении технологии целлюлозно-бумажного производства под использование древесины мягколиственных пород [56].

Таким образом, принимая за норму сток из леса 100-летнего возраста, мы получаем возможность оценить изменения стока в XXI столетии, а при ретроспективной оценке будем помнить, что старый лес имел большую водность (примерно на 10 %) по сравнению со спелыми лесами будущего. Это видно на графиках хода стока за период до начала рубки леса (см. рис. 5.3—5.5).

Оценка (прогноз) будущего изменения стока для каждой области выполнялась по трем наиболее вероятным темпам промышленного использования лесов (в табл. 5.1 приводятся средние значения  $\Delta \bar{Y}_i$ ). Для рек Вологодской области, являющихся «донорами» в проектах первой очереди переброски части стока северных рек в волжский бассейн, прогноз возможных изменений стока выполнен в четырех вариантах (рис. 5.6). В каждом варианте предусматривались вполне реальные темпы лесозаготовок, основные характеристики которых представлены в приложении 2.

По первому варианту предусматривается рубка преимущественно хвойных древостоев 100—150-летнего возраста с предельно возможной интенсивностью для сложившейся на 1980 г. структуры лесов. В отдельные десятилетия с целью обеспечения высоких заданных темпов лесозаготовок осуществляется рубка и приспевающих хвойных лесов с примесью спелых лиственных древостоев. При средней интенсивности рубки 1,1 % в год за 70-летний период будет вырублено 77 % площади всего лесного фонда области. При этом фонд спелых и старых лесов в течение семи десятилетий будет непрерывно снижаться и к 2050 г. составит всего 10 % (табл. 5.2). Такой темп и вид лесозаготовок поставит под угрозу дальнейшее функционирование лесопромышленности области либо потребует быстрой ее перестройки на преимущественное использование мягколиственных пород деревьев, так как они будут занимать более половинной площади всего лесного фонда.

По второму варианту эксплуатируется только хвойный лес 100—150-летнего возраста с интенсивностью 0,87 % в год, мало снижающей фонд спелых и старых лесов. В конце рассматриваемого периода их площадь составит 24 %, т. е. будет меньше на 8 %, чем в 1980 г. За 70-летний период будут произведены рубки на 61 %

Таблица 5.2

Возрастная структура лесов Вологодской обл. на 1980 г. и возможные ее изменения к 2050 г. при различных вариантах (I—IV) использования лесов

| По состоянию на | % площади лесного фонда         |       |                           |        |         |         |      |
|-----------------|---------------------------------|-------|---------------------------|--------|---------|---------|------|
|                 | молодняки в возрасте, число лет |       | лес в возрасте, число лет |        |         |         |      |
|                 | 0—20                            | 21—40 | 41—80                     | 81—100 | 101—150 |         |      |
|                 |                                 |       |                           |        | всего   | 101—120 | >120 |
| 1980 г.         | 15                              | 15    | 25                        | 13     | 32      | 25      | 7    |
| 2050 г.         |                                 |       |                           |        |         |         |      |
| I               | 30                              | 23    | 30                        | 7      | 10      | 6       | 4    |
| II              | 19                              | 20    | 27                        | 10     | 24      | 15      | 9    |
| III             | 33                              | 26    | 18                        | 4      | 19      | 7       | 12   |
| IV              | 30                              | 18    | 14                        | 5      | 33      | 9       | 24   |
| Средн. I—IV     | 28                              | 22    | 22                        | 7      | 21      | 9       | 12   |

площади лесного фонда и в его структуре лиственные древостои займут 47 %, т. е. на 7 % больше, чем в 1980 г. (см. табл. 5.2). Этот вариант дает наименьшее количество суммарного объема древесины, но позволяет сохранять спелые и старые леса, не нарушая существенно структуру лесного фонда, сложившуюся на 1980 г.

По третьему варианту эксплуатируется почти в равных средних интенсивностях хвойные спелые, лиственные и смешанные средневозрастные леса. Рубки производятся с наивысшей средней интенсивностью 1,3 % в год. Однако площадь спелых и старых лесов снижается менее интенсивно (по сравнению с первым вариантом) и к 2050 г. она составит 19 % площади лесного фонда. Эффективность третьего варианта заключается в том, что он позволяет постепенно перестраивать лесоперерабатывающую промышленность с использования древесины преимущественно хвойных пород на лиственные. При этом удельный вес последних все время возрастает, а хвойных уменьшается. Суммарный объем заготавливаемой древесины в течение всех десятилетий остается примерно одинаковый и наивысший по сравнению с другими вариантами лесозаготовки.

По четвертому варианту заготавливается несколько меньше древесины, чем в предыдущем варианте. Однако добывается наиболее полноценная древесина, так как предусматривается вырубка хвойного леса 130—150-летнего возраста (с интенсивностью 0,53 %) и спелых лиственных древостоев 60—70-летнего возраста с примесью средневозрастных хвойных деревьев (с интенсивностью 0,47 %). Средний темп рубок леса составляет 1 % в год, при этом площади под спелыми и старыми лесами хвойных пород не уменьшаются и к 2050 г. составят 33 %. Улучшится и общая

структура леса: молодняки и средневозрастный лес займут такую же площадь, что и эксплуатируемые хвойные леса (см. табл. 5.2). По мнению автора, этот вариант использования лесов является наиболее эффективным в экономическом и социальном планах: дает большой объем высококачественной товарной древесины, сохраняет лесной фонд и структуру лесов, обеспечивает на многие десятилетия ритмичную работу лесозаготовителей и лесоперерабатывающей промышленности.

Влияние рассмотренных вариантов лесозаготовки на ход изменений стока показано на рис. 5.6.

При любом варианте лесозаготовки можно ожидать увеличения водности рек только в будущем 70-летии. В среднем из всех четырех вариантов использования лесов сток за будущее 70-летие возрастет по сравнению с прошедшим 60-летним периодом (1920—1980 гг.): годовой — на 6 % и будет равен норме, меженный — на 8 % и будет меньше нормы всего на 9 %, весенний — на 5 % и станет больше нормы на 10 %. Наибольшую водность обеспечивает IV вариант рубки лесов, при котором даже меженный сток в 2000—2050 гг. становится равным своей норме, а годовой и весенний сток будет превышать свою норму соответственно на 4 и 12 %.

Таким образом, можно сделать важный вывод о том, что для рек Вологодской области, где леса занимают 70—90 % площади, прошел период с наибольшим снижением водности рек, связанным с эксплуатацией лесов. В последующие десятилетия должно наблюдаться увеличение стока с приближением его к норме. Поэтому, если не изменится климат, водность рек в первой половине XXI века будет не меньше, чем за предшествовавший период наблюдений за стоком (1880—1980 или 1910—1980 гг.). Другими словами, будущая эксплуатация лесов не снизит норму стока, используемую сейчас при составлении водохозяйственных проектов.

Аналогичный вывод можно сделать, рассматривая ход изменений стока из леса в реки по отдельным областям лесной зоны ЕТС (см. табл. 5.1). После значительного снижения годового стока в 1940—1980 гг. (на 10—14 %) намечается тенденция к его увеличению и в зависимости от темпов будущей лесозаготовки сток может приблизиться к норме или быть меньше ее всего на 5 %.

Исключение составляют Карельская АССР и восточные районы ЕТС. В Карелии, где из-за обилия удобных внутренних водных путей, выходящих к морям, и строительства Петербурга, отапливавшегося дровами, леса всех возрастов эксплуатировались давно и весьма интенсивно. В XX столетии заготовка древесины производилась на ранее вырубленных участках, давно потерявших свой первоначальный вид. Массовая заготовка дров в молодых и средневозрастных лесах прекратилась в начале 60-х годов. Поэтому основные изменения в возрастной структуре лесов были в XIX — начале XX веков и в настоящее время на значительных площадях наблюдается увеличение возраста леса. Все это привело

к незначительным колебаниям стока относительно своей нормы за прошедший вековой период. После некоторого очередного повышения стока в 1980—2010 гг. можно ожидать его снижение по аналогии с 1920—1970 гг., т. е. в XXI столетии сток из леса в реки будет таким же, как и в XX веке.

В восточных районах лесной зоны ЕТС (например, бассейны рек Верхней Камы, Вычегды и Верхней Печоры) интенсивное использование лесов началось недавно (с 1950 г.). В настоящее время в этих районах имеются большие площади под вырубками и лесами до 30-летнего возраста, располагающимися преимущественно вдоль рек. Перестойные и спелые леса, занимающие до 50—70 % площади лесного фонда, находятся в основном в отдаленных и труднодоступных местах. Это сдерживает широкую эксплуатацию лесов. По запасам древесины северо-восточные районы занимают ведущее место среди других районов ЕТС и являются перспективными для заготовки древесины в ближайшем будущем.

На примере Кировской (рис. 5.7) и Пермской областей (табл. 5.1) можно сделать заключение о том, что сложившаяся структура лесного фонда оказала незначительное влияние на снижение стока в 1910—1930 гг., затем произошло некоторое его повышение в 1950—1980 гг. за счет увеличения интенсивности лесозаготовок и существенного приращения площадей под свежими рубками. В целом за 1880—1980 гг. сток из леса был равен своей норме (т. е. стоку из 100-летнего леса). Учитывая все возрастающие темпы и технические возможности освоения лесных ресурсов, можно полагать, что интенсивность вырубок в северо-восточных районах будет все время возрастать и к 2000—2020 гг. составит 1,0—1,5 % в год по хвойным старым древостоям и 0,3—0,5 % в год по мягколиственным. То есть можно ожидать на больших площадях интенсивное снижение возраста леса и связанное с этим резкое уменьшение в середине XXI века годового стока на 8—15 %, меженного — на 20—30 % и увеличение весеннего стока из леса в реки на 10—15 %.

### 5.3. Изменение стока рек за 1880—1980 гг. и прогноз на 1990—2050 гг.

Оценка изменений стока рек  $\Delta Q$  под влиянием лесохозяйственных мероприятий выполняется с учетом доли площади водосбора, занятой лесами, т. е. облесенности (лесистости) водосбора:

$$\Delta \bar{Q}_i = \Delta \bar{Y}_i \gamma_i, \quad (5.3)$$

где  $\Delta \bar{Y}_i$  — среднее изменение стока с лесных площадей в реки в % за  $i$ -е десятилетие, определяемое по уравнениям (5.1) и (5.2);  $\gamma_i$  — среднее значение облесенности водосбора на  $i$ -е десятилетие.

Поскольку  $\gamma$  всегда меньше единицы, то изменение речного стока (годового, межennaleго, весеннего) меньше соответствующего изменения стока с лесных площадей в гидрографическую сеть водосбора.

Облесенность водосборов в лесной зоне ЕТС колеблется от 0,2 до 0,95 и, как указывалось в п. 2.1, не остается постоянной даже в течение одного века. Поэтому на внутривековые изменения речного стока влияют как изменения в структуре лесов, так и изменения лесистости водосбора.

Данные о лесистости ряда административных областей ЕТС по десятилетиям за 1880—1980 гг. помещены в табл. 2.1 и показаны на рис. 2.1. В рассматриваемых семи областях суммарной площадью 825 тыс. км<sup>2</sup> средневзвешенные значения лесистости изменялись от 66 % в 1880 г. до 52 % на 1920 г., затем она возросла и в настоящее время составляет 68 %. В перспективе, по нашему мнению, лесистость областей будет меняться незначительно — в пределах  $\pm 2$ —5 %. Оценка такого будущего изменения лесистости основана на современной тенденции к некоторому сокращению малопродуктивных и мелкоконтурных площадей сельскохозяйственных угодий и зарастанию их лесом, а также на тенденции повышения продуктивности эксплуатируемых сельскохозяйственных угодий. При достижении оптимальных значений продуктивности возникнет необходимость увеличения посевных и других сельскохозяйственных площадей за счет леса.

Оценка изменений стока рек дается (табл. 5.3) для семи областей по результатам расчетов и прогноза изменений стока с лесных площадей в реки (по данным табл. 5.1). Эта оценка справедлива при условии относительного постоянства средних по десятилетиям климатических характеристик и мало меняющихся по десятилетиям условий формирования стока с сельскохозяйственных угодий [13], болот и озер. Влияние мелноразличия лесов, болот и сельхозугодий на сток рек не учитывалось.

Таблица 5.3

Среднее изменение стока рек ( $\Delta Q$  в % к норме) под влиянием вырубок и восстановления лесов за периоды 1880—1930 гг. (I), 1930—1980 гг. (II) и 1980—2050 гг. (III)

| Область         | Годовой сток |    |     | Межennaleный сток |     |     | Весенний сток |    |     |
|-----------------|--------------|----|-----|-------------------|-----|-----|---------------|----|-----|
|                 | I            | II | III | I                 | II  | III | I             | II | III |
| Псковская       | 1            | -3 | -2  | 1                 | -8  | -8  | 2             | 2  | 4   |
| Калининская     | 1            | -3 | -2  | 1                 | -8  | -6  | 2             | 2  | 4   |
| Ленинградская   | -2           | -6 | -5  | -6                | -13 | -12 | 2             | 1  | 5   |
| Карельская АССР | 1            | -1 | 1   | 0                 | -4  | -5  | 3             | 4  | 9   |
| Вологодская     | 3            | -6 | 0   | 2                 | -15 | -8  | 6             | 3  | 9   |
| Кировская       | 0            | 0  | -4  | -2                | -4  | -11 | 2             | 3  | 5   |
| Пермская        | 0            | 1  | 0   | -2                | -1  | -8  | 1             | 3  | 10  |
| Среднее         | 1            | -3 | -2  | -1                | -8  | -8  | 3             | 3  | 6   |

Напомним, что расчет изменений стока из леса выполнялся по фактической структуре лесов, а прогноз (по 2050 г.) давался по нескольким вариантам интенсивности и вида заготавливаемой древесины, т. е. при разных расчетных лесосеках. В табл. 5.3 приводятся средние (из трех-четырех вариантов) значения прогнозируемых изменений стока рек в целом по областям. Эти данные совместно с материалами п. 5.2 позволяют сделать следующие общие выводы по влиянию использования лесов на сток рек.

1. Внутри векового периода изменения стока крупных рек и в целом для рек областей находятся в пределах:

- для годового стока  $\pm 5\%$ ,
- межennaleго плюс 5 — минус 15 %,
- весеннего от 0 до плюс 12 %.

На небольших реках изменения стока значительно больше (в 1,5—2,5 раза), чем в целом по рассматриваемым областям.

2. Для областей, где леса давно интенсивно эксплуатировались, снижение стока происходило в 1930—1980 гг. и в дальнейшем (до 2050 г.) прогнозируется увеличение стока с приближением его к норме или сохранение значений, близких к средним за период наблюдений 1910—1980 гг.

Таким образом, можно полагать, что для ряда областей ЕТС, кроме северо-восточных, мы уже пережили интенсивное снижение стока рек, связанное с изменением структуры лесов. Это снижение было автоматически учтено при определении (по данным измерений) норм стока, используемых при водохозяйственном проектировании. По сравнению с такими нормами водность рек в первой половине XXI века существенно не изменится (табл. 5.3), если не изменится климат.

В северо-восточных районах ЕТС интенсивное использование лесов началось сравнительно недавно — с 1950 г. К настоящему времени в этих районах имеются большие площади под вырубками и лесами до 20-летнего возраста, а спелые и перестойные леса занимают еще до 50—70 % лесной площади. Поэтому в настоящее время изменения стока здесь несущественны: годового в пределах 3 %, межennaleго на минус 1—5 %. В последующие десятилетия XXI века можно ожидать интенсивное снижение возраста леса на больших площадях и связанное с этим уменьшение годового (на 5—8 %) и межennaleго (до 15 %) стока крупных рек. Однако этот вывод носит ориентировочный характер, поскольку сейчас для северо-восточных районов трудно проектировать будущие темпы промышленного освоения лесов и их возрастную структуру.

3. Вырубка с последующим восстановлением лесов незначительно влияет на среднееголетний годовой сток крупных и средних рек (в пределах  $\pm 5\%$ ), однако существенно увеличивается неравномерность внутригодового распределения стока (табл. 5.3.). Среднееголетний весенний сток увеличивается до 10 %, а межennaleго уменьшается до 15 %, что ухудшает условия хозяйственного использования речного стока. Для небольших рек среднееголетние значения весеннего стока могут увеличиться до 25 %, а межennaleго уменьшиться до 35 %. В первой половине XXI века не-

равномерность внутригодового стока будет возрастать, так как в структуре лесов ожидается увеличение доли лиственных деревьев с интенсивной их рубкой в возрасте 50—70 лет.

Результаты оценки изменений речного стока по десятилетиям позволяют выполнять приведение измеренного (бытового) стока к естественному по уравнению (5.4), т. е. к такому стоку, который был бы при отсутствии интенсивных рубок леса:

$$\bar{Y}_{есті} = \bar{Y}_{измі} - (\Delta\bar{Y}_i \gamma_i) = \bar{Y}_{измі} - \Delta\bar{Q}_i, \quad (5.4)$$



Рис. 5.8. Разностные интегральные кривые хода осредненного по пятилетиям годового стока р. Сухоны — п. Камчуга. Площадь водосбора 38 700 км<sup>2</sup>.

1 — измеренный (бытовой) сток за 1880—1980 гг. и его норма (277 мм), принятая для 1981—2050 г.; 2 — восстановленный (естественный) сток с учетом сложившейся структуры лесов в 1880—1980 гг. и прогнозируемой структуры до 2050 г.

где  $\bar{Y}_{есті}$  — естественный (восстановленный) сток реки в среднем за  $i$ -е десятилетие;  $\bar{Y}_{измі}$  — измеренный (бытовой) сток;  $\Delta\bar{Y}_i$  и  $\gamma_i$  — соответственно среднее изменение стока из леса в реки и значение лесистости за  $i$ -е десятилетие;  $\Delta\bar{Q}_i$  — изменение стока рек.

В качестве примера на рис. 5.8 представлены разностные интегральные кривые хода измеренного и восстановленного стока с водосбора р. Сухоны, занимающего существенную долю площади Вологодской области. Будущий «измеренный» сток р. Сухоны для каждого интервала времени за период после 1980 г. принимался равным норме, т. е. он не отражает возможных климатических колебаний, а величины стока  $\Delta\bar{Q}_i$  соответствуют прогнозируемой структуре лесов всей области.

Интересно отметить, что восстановленный сток р. Сухоны имеет меньшую изменчивость по сравнению с измеренным. Так, за период 1880—1980 гг. восстановленный сток колебался в пределах 1,5 нормы, а измеренный — трех норм. Это позволяет сделать предположение о том, что для многих рек лесной зоны ЕТС как длительное повышение (1901—1935 гг.), так и последующее

длительное снижение стока (1936—1955 гг.), помимо климатических причин, было еще обусловлено и влиянием хозяйственной деятельности. Случайно получилось так, что в многоводную фазу изменения стока под влиянием вырубки и восстановления лесов  $\Delta \bar{Q}_{\text{хоз}}$  имело положительный знак, а в маловодную — отрицательный, что усилило повышение и снижение стока в эти периоды. Для Вологодской области средние значения  $\Delta \bar{Q}_{\text{хоз}}$  за указанные фазы водности соответственно составляли +3 и —6 %.

При условии неизменности климата прогнозируемая водность р. Сухоны за 1981—2050 гг. будет равна норме, но в период 1981—2000 гг. естественный сток ежегодно будет превышать норму в среднем на 5 %, а в 2001—2030 гг. станет меньше ее на 3 %.

Итак, хозяйственное использование лесов влияет на годовой сток с больших площадей в пределах 5 %, а небольших рек — до 10 % и более. Такие изменения стока соизмеримы с погрешностями его измерений и подсчета, однако, в отличие от них, изменения стока имеют направленный знак в течение многих десятилетий.

Известно [13, 94—96], что на водосборах лесной зоны ЕТС агро-сельскохозяйственные мероприятия и небольшие водохранилища незначительно (<1 %) влияют на годовой сток средних рек. Лесо- и сельскохозяйственные осушительные мелиорации в прошедшие годы проводились на очень небольших площадях, что также не могло существенно повлиять на изменение годового стока рек. Поэтому главенствующим антропогенным фактором, способным изменить сток рек лесной зоны ЕТС, по-видимому, является изменение структуры лесов под влиянием лесоэксплуатации и увеличения лесистости водосборов за счет зарастания молодым лесом бывших сельскохозяйственных угодий.

В последние годы появились работы [8, 9] по оценке возможных изменений водности рек Коми АССР, основанные на гидрометрическом материале, анализе водопотребления лесами разного вида и возраста, а также на таксационных описаниях лесов сопоставляемых водосборов. В них, так же как и в данной работе, указывается, что на возраст влияют рубки леса с последующим его возобновлением. Возобновление хвойных лесов Коми АССР на 40—60 % площади всех вырубок происходит через формацию лиственных пород. Прирост древесины в лиственных лесах (1,2 м<sup>3</sup>/га в год) выше, чем в хвойных (0,5 м<sup>3</sup>). Среднегодовой прирост леса рассматривается как комплексный показатель лесов: «полнота, возраст, бонитет — определяют средний годовой прирост леса, чем лес моложе, чем больше его полнота и лучше лесорастительные условия, тем больше прирост насаждений, а следовательно, выше транспирация и соответственно меньше речной сток» [8]. В [8, 9] указывается, что в южных и средних районах Коми АССР наивысшее суммарное водопотребление лесов, а также наивысший годичный прирост древесины наступает в возрасте 30—50 лет для лиственных и 50—70 лет для хвойных древостоев. Затем влагопотребление уменьшается, приближаясь к своей постоянной средней



величине в старом лесу. В спелых насаждениях прирост древесины ежегодно снижается, и в перестойных лесах он равен ежегодному объему отмирающей древесины.

Устанавливаются зависимости между суммарным испарением с почти сплошь облесенных водосборов и средним годичным приростом древостоев (рис. 5.9), а также между средним годовым

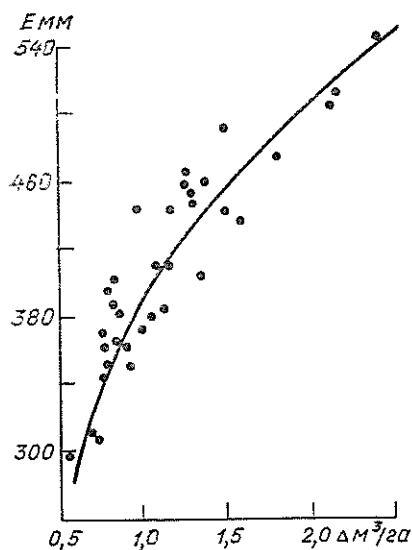


Рис. 5.9. Связь суммарного годового испарения  $E$  на водосборах рек Коми АССР со средним годичным приростом древесины  $\Delta$  [9].

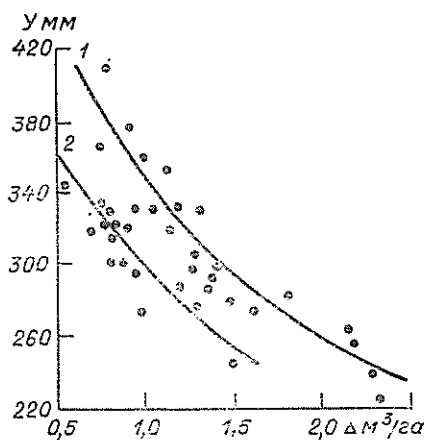


Рис. 5.10. Связь годового стока с речных водосборов Коми АССР со средним годичным приростом древесины  $\Delta$  и годовой суммой осадков [9].

Осадки: 1) 710—780 мм, 2) 630—700 мм.

стоком, приростом и количеством осадков (рис. 5.10). При этом средние характеристики элементов водного баланса и леса определялись за 5—10-летние периоды [9]. Зависимости позволяют выполнять оценки и прогнозы водопотребления лесов и изменений стока под влиянием хозяйственной деятельности в лесах и возможным изменением осадков. Так, изменение среднего годичного прироста древостоев на  $0,5 \text{ м}^3/\text{га}$  влечет за собой изменение годового стока небольших рек в среднем на 50 мм. Авторы делают заключение о том, что в результате вырубок старого леса через 40—60 лет произойдет омоложение лесов примерно на 20 лет, прирост древесины возрастет на 15—20 %, что повлечет увеличение суммарного испарения и уменьшение годового стока небольших рек Коми АССР на 8—15 % [8, 9]. Результаты этих исследований, полученные по другой методике (через сток), подтверждают наши выводы по лесам подзон южной и средней тайги ЕТС.

## Заключение

В работе рассмотрены гидрологические процессы, происходящие внутри лесов, в связи с наиболее распространенным видом хозяйственной деятельности — вырубкой спелых и старых древостоев. На рубках в результате возобновления и роста нового леса изменяются основные элементы водного баланса — суммарное влагопотребление лесными комплексами (испарение) и суммарный сток, а осадки почти не меняются.

Смена возраста и видового состава нового леса обуславливает непрерывное изменение всех физиологических характеристик леса — текущего прироста древостоев по высоте, диаметру и объему стволовой древесины, объема зеленой массы крон деревьев, корней и живого напочвенного покрова, т. е. непрерывно меняется структура лесных биогеоценозов.

Основной характеристикой леса является его возраст. Он определяет как видовой состав древостоев в лесных массивах, так и все перечисленные выше характеристики. Поэтому с возрастом леса тесно связано его водопотребление и водоотдача — суммарный сток. Однако зависимость между возрастом леса и водопотреблением, а также стоком, не только не линейны, но и знакопеременны.

В первые 1—15 лет после рубки старого леса испарение резко снижается, а сток увеличивается. К 20-летнему возрасту нового леса испарение и сток приближаются к значениям, наблюдаемым на площадях со спелым 100-летним лесом. Эти значения мы условно принимаем за норму. В период с 25 по 50—60 лет испарение с участков возрастает, а годовой сток резко снижается — до 50—60 % нормы. В дальнейшем водопотребление лесными комплексами уменьшается, а сток возрастает и к 100-летнему возрасту леса достигает своей нормы. В последующие годы (120—150 лет) лес стареет, его водопотребление несколько снижается, а сток увеличивается (см. рис. 4.1, табл. 4.1).

Среднее годовое испарение за весь 100-летний период роста нового леса превышает норму на 7 %, а водные ресурсы лесных участков (годовой сток) уменьшаются в среднем на 10 %. Весенний сток (март—май) увеличивается на 5—10 %, а меженный (июнь—февраль) уменьшается на 25—30 %. Среднее увеличение весеннего стока за 100-летний период в основном связано с длительным преобладанием в новых лесах мягколиственных деревьев (береза, осина, ольха и др.), а большое снижение меженного стока обусловлено сезонностью влагопотребления лесами (в теплый период года испаряется примерно 80 % всей влаги).

По отношению к старому, «материнскому», перестойному лесу рубка и последующее восстановление лесов уменьшает вековые водные ресурсы лесного участка для годового периода на 15—20 %, меженного на 35 %, а весеннего увеличивает на 2—3 %.

Вырубка лесов с последующим его возобновлением, уменьшая годовой сток, одновременно увеличивает неравномерность его внутригодового распределения. На участках старого леса доля весеннего стока в годовом составляет около 40 % и меженного 60 %, в 100-летних лесах — соответственно 45 и 55 %, а на участках нового леса 40—80-летнего возраста — 65 и 35 %. При этом суммарный годовой сток с участков нового средневозрастного леса будет меньше, чем с участков 100-летнего леса на 35 %, а по сравнению со 150-летним лесом — меньше на 55 %. Однако это относится только к водным ресурсам ручьев и малых рек. В крупных лесных массивах и в бассейнах средних рек наличие вырубок 1—20-летнего возраста и старых лесов существенно компенсирует недостачу стока с участков, занятых молодыми и средневозрастными лесами.

Разработанные модели, описывающие изменения стока с участков под влиянием роста леса (рис. 4.1 и табл. 4.1), а также структуру крупных лесных массивов (рис. 5.1), позволили создать методику и оценить изменения водности рек по 10-летиям за прошедший 100-летний период и дать прогноз по 2050 г. (табл. 5.3). При этом использовались данные о возрастной структуре лесов по ряду административных областей лесной зоны ЕТС. Изменения годового стока рек составляли от плюс 5 до минус 8 %, весеннего — плюс 1—10 % и меженного — от плюс 5 до минус 15 %.

Для областей, где леса давно эксплуатировались, интенсивное снижение стока происходило в 1930—1980 гг. и в дальнейшем (до 2050 г.) прогнозируется увеличение стока с приближением его к норме или сохранением средних значений за период наблюдений 1900—1980 гг. Можно полагать, что для ряда областей ЕТС, кроме северо-восточных, мы уже пережили интенсивное снижение стока рек, связанное с эксплуатацией лесов. Это снижение было автоматически учтено при определении (по данным измерений) норм стока, используемых при водохозяйственном проектировании. По сравнению с такими нормами водность рек в первой половине XXI века существенно не изменится, если не изменится климат.

В северо-восточных районах ЕТС интенсивное использование лесов началось сравнительно недавно — с 1950 г. Поэтому в настоящее время изменения стока там незначительны: годового на  $\pm 1—3$  %, меженного на минус 1—5 %. В первой половине XXI века можно ожидать интенсивное уменьшение годового (на 5—8 %) и меженного (до 15 %) стока средних рек и увеличение весенней водности на 5—10 %.

Если главным итогом настоящей работы следует считать создание методики оценки изменений водных ресурсов лесных районов под влиянием эксплуатации лесов, то вторым, не менее важным итогом можно считать обоснование положения о том, что возраст и вид леса по-разному влияют на сток. Поэтому все исследования влияния леса на водные ресурсы необходимо «привязывать» к лесотаксационным и почвенно-гидрогеологическим характеристикам

водосборов. Без этого будут умножаться противоречивые выводы о влиянии леса на водность рек.

Наиболее общим примером может служить недооценка возраста и вида леса при сопоставлении годового и сезонного стока с мало- и значительно залесенных водосборов. На первых преобладают молодые леса с господством лиственных древостоев, а на вторых — спелые и старые хвойные деревья (см. п. 2.3). Только за счет сложившейся структуры лесов годовой сток с лесных площадей увеличивается на 50 мм при изменении лесистости с 20 до 80 % (рис. 5.11). В данном примере не сам лес увеличивает водность рек, по 0,85 мм слоя годового стока на каждый 1 % лесисто-

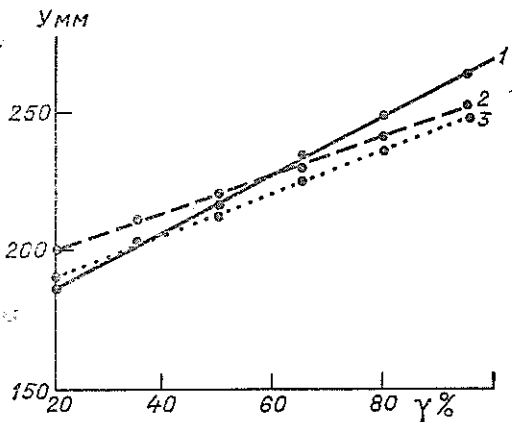


Рис. 5.11. Влияние возраста леса, отображаемого лесистостью территории  $\gamma$ , на годовой сток с лесных площадей.

По состоянию возрастной структуры лесов на: 1 — 1965 г., 2 — 1972 г., 3 — 1978 г.

сти, а его возраст. График на рис. 5.11 получен на основе модели влияния возраста леса на годовой сток (см. рис. 4.1) и зависимостей возраста лесов от облесенности административных областей лесной зоны ЕТС по состоянию на 1972 г. (см. рис. 2.15) и другие годы проведения лесотаксаций.

Другим весьма распространенным случаем может служить неправомерное сопоставление стока с поля на суглинках и соснового спелого леса на песках, испаряющего на 10 % меньше. С участков такого леса годовой сток будет больше, чем с полевых, на 15—20 %, меженный — на 200 %, весенний — меньше в 1,5—2 раза.

Среди множества задач современной лесной гидрологии можно выделить основные, решения которых требует практика перспективного водохозяйственного и дорожного проектирования. К ним относятся:

- создание методики оценки влияния возрастной и видовой структуры лесов на меженный сток двух периодов — летне-осеннего (июнь—октябрь) и зимнего (ноябрь—февраль);

- разработка методики расчета вероятностных значений максимального весеннего стока с небольших водосборов, занятых вырубками, лиственными, смешанными и хвойными лесами разного возраста;

— получение связей суммарного водопотребления лесными комплексами с основными метеорологическими характеристиками (температура воздуха, осадки), позволяющих оценить будущую водность рек в связи с возможным антропогенным изменением климата;

— экспериментальное и теоретическое обоснование влияния лесных и открытых площадей на количество атмосферных осадков, что в настоящее время является ключевым вопросом оценки водных ресурсов лесных и открытых площадей.

Решение перечисленных задач потребует уменьшения расчетных интервалов времени (временного шага моделей) и учета переменных метеорологических условий, а это повлечет существенное увеличение числа действующих факторов, определяющих в итоге изменение речного стока.

Пример расчета возрастной структуры леса и ее влияния на изменение годового стока с зеленых площадей в гидрографическую сеть рек Вологодской области по IV варианту использования лесов по уравнениям (5.1) и (5.2)

| Год  | Характеристика      | Возраст леса (число лет от вырубki) |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | Сумма, % | $\Delta V = \sum (K_{\bar{Y}_i} f_i - 100)$<br>% |
|------|---------------------|-------------------------------------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|----------|--------------------------------------------------|
|      |                     | 5                                   | 10   | 20  | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  | 110  | 120  | 130  | 140  | пустошь |          |                                                  |
|      |                     | Коэффициент влияния $K_{\bar{Y}_i}$ |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         |          |                                                  |
|      |                     | 1,7                                 | 1,6  | 1,1 | 0,85 | 0,60 | 0,55 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 0,98 | 1,03 | 1,06 | 1,07 | 1,08 | 1,0     |          |                                                  |
| 1980 | $f_i$               | 2                                   | 5    | 5   | 10   | 5    | 5    | 10   | 10   | 8    | 5    | 5    | 10   | 10   | 5    | 2    | 3       | 100      |                                                  |
|      | $K_{\bar{Y}_i} f_i$ | 3,4                                 | 8,0  | 5,5 | 8,5  | 3,0  | 2,8  | 6,0  | 7,0  | 6,4  | 4,5  | 4,9  | 10,3 | 10,6 | 5,4  | 2,2  | 3,0     | 91       |                                                  |
| 1990 | $f_i$               | 5                                   | 7    | 5   | 5    | 10   | 5    | 5    | 7    | 10   | 8    | 5    | 5    | 10   | 5    | 5    | 3       | 100      |                                                  |
|      | $K_{\bar{Y}_i} f_i$ | 8,5                                 | 11,2 | 5,5 | 4,2  | 6,0  | 2,8  | 3,0  | 4,9  | 8,0  | 7,2  | 4,9  | 5,2  | 10,6 | 5,4  | 5,4  | 3,0     | 96       |                                                  |
| 2000 | $f_i$               | 6                                   | 10   | 7   | 5    | 5    | 10   | 3    | 3    | 6    | 10   | 8    | 5    | 5    | 10   | 5    | 2       | 100      |                                                  |
|      | $K_{\bar{Y}_i} f_i$ | 10,2                                | 16,0 | 7,7 | 4,2  | 3,0  | 5,5  | 1,8  | 2,1  | 4,8  | 9,0  | 7,8  | 5,2  | 5,3  | 10,7 | 5,4  | 2       | 101      |                                                  |

|      |                     |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |   |     |   |
|------|---------------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|---|-----|---|
| 2010 | $f_i$               | 7    | 10   | 10   | 7   | 5   | 5   | 5   | 3   | 3   | 6   | 10  | 8    | 5    | 5    | 10   | 1 | 100 | 4 |
|      | $K_{\bar{y}_i} f_i$ | 11,9 | 16,0 | 11,0 | 6,0 | 3,0 | 2,8 | 3,0 | 2,1 | 2,4 | 5,4 | 9,8 | 8,2  | 5,3  | 5,4  | 10,8 | 1 | 104 |   |
| 2020 | $f_i$               | 8    | 10   | 10   | 10  | 7   | 4   | 3   | 3   | 3   | 3   | 6   | 10   | 8    | 5    | 10   |   | 100 | 5 |
|      | $K_{\bar{y}_i} f_i$ | 13,6 | 16,0 | 11,0 | 8,5 | 4,2 | 2,2 | 1,8 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 5,9 | 10,3 | 8,5  | 5,4  | 10,8 |   | 105 |   |
| 2030 | $f_i$               | 10   | 8    | 10   | 10  | 10  | 4   | 3   | 2   | 3   | 3   | 3   | 6    | 10   | 8    | 10   |   | 100 | 5 |
|      | $K_{\bar{y}_i} f_i$ | 17,0 | 12,8 | 11,0 | 8,5 | 6,0 | 2,2 | 1,8 | 1,4 | 2,4 | 2,7 | 2,9 | 6,2  | 10,6 | 8,6  | 10,8 |   | 105 |   |
| 2040 | $f_i$               | 10   | 10   | 8    | 10  | 10  | 6   | 3   | 3   | 2   | 3   | 3   | 3    | 6    | 10   | 13   |   | 100 | 5 |
|      | $K_{\bar{y}_i} f_i$ | 17,0 | 16,0 | 8,8  | 8,5 | 6,0 | 3,3 | 1,8 | 2,1 | 1,6 | 2,7 | 2,9 | 3,1  | 6,4  | 10,7 | 14,0 |   | 105 |   |
| 2050 | $f_i$               | 10   | 10   | 10   | 8   | 10  | 8   | 3   | 3   | 3   | 2   | 3   | 3    | 3    | 6    | 18   |   | 100 | 4 |
|      | $K_{\bar{y}_i} f_i$ | 17,0 | 16,0 | 11,0 | 6,8 | 6,0 | 4,4 | 1,8 | 2,1 | 2,4 | 1,8 | 2,9 | 3,1  | 3,2  | 6,4  | 19,4 |   | 104 |   |

Примечание.  $K_{\bar{y}_i}$  — коэффициент влияния возраста леса на сток;  $f_i$  — площадь лесов  $i$  возраста в % от всей площади лесного фонда.

Возможная средняя годовая интенсивность вырубki лесов Вологодской области

| Период, годы | Интенсивность вырубki леса, % от площади лесного фонда    |                                  |                                                                 |                  | Период, годы | Интенсивность вырубki леса, % от площади лесного фонда    |                                  |                                                                 |                  |
|--------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------|--------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------|
|              | хвойных пород с при-<br>месью<br>лиственных<br>древостоев |                                  | лиственных и смешанных пород<br>древостоев в возрасте 50—80 лет | всего по области |              | хвойных пород с при-<br>месью<br>лиственных<br>древостоев |                                  | лиственных и смешанных пород<br>древостоев в возрасте 50—80 лет | всего по области |
|              | спелых и перестойных,<br>возраст $\geq$ 100 лет           | приспевающих, возраст 81—100 лет |                                                                 |                  |              | спелых и перестойных,<br>возраст $\geq$ 100 лет           | приспевающих, возраст 81—100 лет |                                                                 |                  |
| I вариант    |                                                           |                                  |                                                                 |                  | III вариант  |                                                           |                                  |                                                                 |                  |
| 1980—1990    | 0,7                                                       | 0,3                              | —                                                               | 1,0              | 1980—1990    | 1,0                                                       | —                                | 0,3                                                             | 1,3              |
| 1990—2000    | 1,5                                                       | —                                | —                                                               | 1,5              | 1990—2000    | 0,8                                                       | —                                | 0,7                                                             | 1,5              |
| 2000—2010    | 1,0                                                       | —                                | —                                                               | 1,0              | 2000—2010    | 0,5                                                       | —                                | 1,0                                                             | 1,5              |
| 2010—2020    | 1,0                                                       | —                                | —                                                               | 1,0              | 2010—2020    | 0,7                                                       | —                                | 0,6                                                             | 1,3              |
| 2020—2030    | 0,8                                                       | 0,5                              | —                                                               | 1,3              | 2020—2030    | 0,5                                                       | —                                | 0,8                                                             | 1,3              |
| 2030—2040    | 0,7                                                       | 0,3                              | —                                                               | 1,0              | 2030—2040    | 0,5                                                       | —                                | 0,8                                                             | 1,3              |
| 2040—2050    | 0,7                                                       | 0,3                              | —                                                               | 1,0              | 2040—2050    | 0,3                                                       | —                                | 0,7                                                             | 1,0              |
| 1980—2050    | 0,9                                                       | 0,2                              | —                                                               | 1,1              | 1980—2050    | 0,6                                                       | —                                | 0,7                                                             | 1,3              |
| II вариант   |                                                           |                                  |                                                                 |                  | IV вариант   |                                                           |                                  |                                                                 |                  |
| 1980—1990    | 1,0                                                       | —                                | —                                                               | 1,0              | 1980—1990    | 0,7                                                       | —                                | 0,3                                                             | 1,0              |
| 1990—2000    | 0,7                                                       | —                                | —                                                               | 0,7              | 1990—2000    | 0,5                                                       | —                                | 0,5                                                             | 1,0              |
| 2000—2010    | 1,0                                                       | —                                | —                                                               | 1,0              | 2000—2010    | 0,5                                                       | —                                | 0,5                                                             | 1,0              |
| 2010—2020    | 1,0                                                       | —                                | —                                                               | 1,0              | 2010—2020    | 0,5                                                       | —                                | 0,5                                                             | 1,0              |
| 2020—2030    | 0,7                                                       | —                                | —                                                               | 0,7              | 2020—2030    | 0,5                                                       | —                                | 0,5                                                             | 1,0              |
| 2030—2040    | 0,6                                                       | 0,1                              | —                                                               | 0,7              | 2030—2040    | 0,5                                                       | —                                | 0,5                                                             | 1,0              |
| 2040—2050    | 1,0                                                       | —                                | —                                                               | 1,0              | 2040—2050    | 0,5                                                       | —                                | 0,5                                                             | 1,0              |
| 1980—2050    | 0,9                                                       | —                                | —                                                               | 0,9              | 1980—2050    | 0,5                                                       | —                                | 0,47                                                            | 1,0              |



# Список литературы

1. Алпатьев А. М. Влагооборот культурных растений.— Л.: Гидрометеониздат, 1954.— 248 с.
2. Алпатьев А. М. Влагообороты в природе и их преобразования.— Л.: Гидрометеониздат, 1969.— 333 с.
3. Атрохин В. Г. Лесоводство.— М.: Лесная промышленность, 1976.— 288 с.
4. Бабкин В. И., Вуглинский В. С. Водный баланс речных бассейнов.— Л.: Гидрометеониздат, 1982.— 191 с.
5. Борисов В. М. Режим влажности почвы на вырубках.— Лесоведение, 1970, № 6, с. 99—104.
6. Бочков А. П. Об уточнении средних годовых осадков.— Труды ГГИ, 1965, вып. 127, с. 174—187.
7. Бочков А. П. Влияние леса и агролесомелиоративных мероприятий на водность рек и малых водотоков.— В кн.: Доклады советских ученых на международном симпозиуме по влиянию леса на внешнюю среду. М.: Изд. Гос. ком. лесного хоз-ва, 1970, т. 1, с. 99—116.
8. Братцев С. А., Братцев А. П. Изменение водных ресурсов рек Коми АССР под влиянием лесохозяйственной деятельности человека.— Труды Коми фил. АН СССР, 1979, № 42, с. 48—61.
9. Братцев С. А. Влияние вырубок леса на водный баланс территории Коми АССР.— Труды Коми фил. АН СССР, 1982, № 50, с. 45—47.
10. Букштынов А. Д., Грошев Б. И., Крылов Г. В. Леса.— М.: Мысль, 1981.— 316 с.
11. Булавко А. Г. Водный баланс речных водосборов.— Л.: Гидрометеониздат, 1971.— 304 с.
12. Водогрецкий В. Е., Крестовский О. И. Воднобалансовые экспедиционные исследования.— Л.: Гидрометеониздат, 1975.— 144 с.
13. Водогрецкий В. Е. Влияние агролесомелиораций на годовой сток.— Л.: Гидрометеониздат, 1979.— 184 с.
14. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза.— Л.: Гидрометеониздат, 1967.— 200 с.
15. Водные ресурсы нечерноземной зоны РСФСР.— Л.: Гидрометеониздат, 1980.— 214 с.
16. Воронков Н. А. Элементы влагооборота лесных водосборов.— В кн.: Доклады советских ученых на международном симпозиуме по влиянию леса на внешнюю среду. Т. I.— М.: Изд. Гос. ком. лесного хоз-ва, 1970, с. 79—98.
17. Воронков Н. А. и др. Гидрологическая и метеорологическая роль лесных насаждений разного породного состава.— Лесоведение, 1976, № 1, с. 3—10.
18. Воронков Н. А. Элементы водного баланса леса в зависимости от почвенно-грунтовых условий и породного состава насаждений.— В кн.: Вопросы географии, 1976, в. 102, Ландшафт и воды. М.: Мысль, с. 122—134.
19. Временные методические указания воднобалансовым станциям на мелнируемых землях по производству наблюдений и обработке материалов.— Л.: Гидрометеониздат, 1981.— 296 с.

20. Гидрографические характеристики речных бассейнов Европейской территории СССР.— Л.: Гидрометеиздат, 1971.— 100 с.
21. Голубев В. С. Оценка точности учета жидких осадков осадкомерами Третьякова.— Труды ГГИ, 1962, вып. 95, с. 4—13.
22. Голубев В. С. О корректном измерении атмосферных осадков осадкомером Третьякова.— Труды ГГИ, 1970, вып. 181, с. 87—97.
23. Голубев В. С. Методика корректировки срочных и месячных величин атмосферных осадков и результаты ее проверки.— Труды ГГИ, 1973, вып. 207, с. 11—27.
24. Голубев В. С. Исследование влияния двойных заборных защит на показания осадкомера Третьякова.— Труды ГГИ, 1979, вып. 258, с. 91—101.
25. Естасьев Г. А. Динамика лесистости и параметры годового стока рек северо-востока Европейской части СССР.— Труды Коми фил. АН СССР, 1979, № 42, с. 30—47.
26. Жекулин В. С. Историческая география: предмет и методы.— Л.: Наука, 1982.— 224 с.
27. Зайков Б. Д. Очерки гидрологических исследований в России.— Л.: Гидрометеиздат, 1973.— 325 с.
28. Зубенок Л. И. Испарение на континентах.— Л.: Гидрометеиздат, 1976.— 264 с.
29. Идзон П. Ф., Матвеева О. Д. Изменение лесистости основных речных бассейнов Европейской территории СССР с конца XIX в.— Сб. работ по гидрологии, № 11. Л.: Гидрометеиздат, 1973, с. 225—229.
30. Идзон П. Ф. Лес и водные ресурсы.— М.: Лесная промышленность, 1980.— 153 с.
31. Идзон П. Ф., Пименова О. П. Количественная характеристика водоохранных и водорегулирующих свойств леса.— Лесоведение, 1980, № 5, с. 3—12.
32. Крестовский О. И. Водный баланс небольших бассейнов в период весеннего половодья.— Труды ГГИ, 1962, вып. 95, с. 101—155.
33. Крестовский О. И., Капотова Н. И. Анализ сезонных величин осадков применительно к задаче расчета стока и водного баланса бассейнов.— Труды ГГИ, 1966, вып. 134, с. 165—190.
34. Крестовский О. И. Водный баланс водосборов ВНИГЛ.— Труды ГГИ, 1969, вып. 165, с. 3—71.
35. Крестовский О. И. Исследования стока и водного баланса водосборов.— Труды ГГИ, 1969, вып. 176, с. 22—50.
36. Крестовский О. И., Постников А. Н., Сергеева А. Г. Оценка испарения с леса в ранний весенний период.— Труды ГГИ, 1979, вып. 259, с. 75—86.
37. Крестовский О. И., Соколова Н. В. Весенний сток и водный баланс поля и леса в лесной зоне ЕТС (на примере бассейна Вятки). Водные ресурсы, 1979, № 2, с. 40—49.
38. Крестовский О. И., Ястребков И. К. Потери талых вод в лесу на увлажнение древесины.— Труды ГГИ, 1979, вып. 259, с. 87—91.
39. Крестовский О. И., Соколова Н. В. Весенний сток и потери талых вод в лесу и поле.— Труды ГГИ, 1980, вып. 265, с. 32—60.
40. Крестовский О. И. Состояние водного баланса и тенденции изменения стока в связи с промышленным использованием лесов Волго-Камского

междуречья.— В кн.: Влияние хозяйственной деятельности человека на популяцию охотничьих животных и среду их обитания. Т. 1.— Киров: Изд-во ВНИОЗ, 1980, с. 13—17.

41. Крестовский О. И. Экспериментальные исследования.— В кн.: Методы изучения гидрологического режима водных объектов. Разд. 14.— Л.: Гидрометеониздат, 1982, с. 61—79.

42. Крестовский О. И. Влияние вырубки и восстановления лесов на водность рек подзон южной и средней тайги ЕТС.— Водные ресурсы, 1984, № 5, с. 125—135.

43. Крестовский О. И. Хозяйственная деятельность и водность таежных рек ЕТС и Сибири.— В кн.: Водные ресурсы тайги.— Иркутск: Изд-во СО АН СССР, 1984, с. 79—94.

44. Корепанов А. А. Режим грунтовых вод в хвойных лесах бассейна р. Вятки.— Труды ГГИ, 1979, вып. 259, с. 101—112.

45. Корепанов А. А. Влияние осушения на производительность сосняков Прикамья.— Ижевск: Изд-во «Удмуртия», 1980.— 139 с.

46. Кошечев А. Л. Заболочивание вырубок и меры борьбы с ними.— М.: Изд-во АН СССР, 1955.— 166 с.

47. Куприянов В. В. Гидрологические аспекты урбанизации.— Л.: Гидрометеониздат, 1977.— 183 с.

48. Лебедев А. В. Гидрологическая роль горных лесов Сибири.— Новосибирск: Наука, 1982.— 183 с.

49. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г. И. Физиология древесных растений.— Пер. с нем. М.: Лесная промышленность, 1974.— 424 с.

50. Львович М. И. Человек и воды.— М.: Географгиз, 1963.— 568 с.

51. Материалы воднобалансовых исследований весеннего половодья в бассейне р. Шелонь 1962—1963 гг.— Валдай, Изд. ГГИ, 1964.— 414 с.

52. Методические указания управлениям Гидрометеослужбы, № 84. Производство комплексных воднобалансовых наблюдений на опорных пунктах.— Л.: Гидрометеониздат, 1973.— 160 с.

53. Методы изучения и расчета водного баланса.— Л.: Гидрометеониздат, 1981.— 397 с.

54. Методы изучения гидрологического режима водных объектов.— Л.: Гидрометеониздат, 1982.— 391 с.

55. Мелехов И. С. Лесоведение.— М.: Лесная промышленность, 1980.— 408 с.

56. Митрюшкин К. П., Павловский Е. С. Лес и поле.— М.: Колос, 1979.— 280 с.

57. Молчанов А. А. Гидрологическая роль леса.— М.: Изд-во АН СССР, 1960.— 488 с.

58. Молчанов А. А. Современное состояние лесной гидрологии в СССР и за рубежом.— В кн.: Лес и воды.— М.: Географгиз, 1963, с. 11—38.

59. Молчанов А. А. Суммарное испарение и транспирация в лесу и на безлесных площадях.— В кн.: Лес и воды. М.: Географгиз, 1963, с. 55—76.

60. Молчанов А. А. Циклы атмосферных осадков в различных природных зонах в отдельных типах леса.— В кн.: Доклады советских ученых на международном симпозиуме по влиянию леса на внешнюю среду. Т. 1. М.: Изд. Гос. ком. лесного хоз-ва, 1970, с. 24—59.

61. Молчанов А. А. Влияние леса на окружающую среду.— М.: Наука, 1973.— 359 с.

62. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1.— Л.: Гидрометеониздат, 1969.— 307 с.
63. Обыденников В. И., Кожухов Н. И. Типы вырубок и возобновление леса.— М.: Лесная промышленность, 1977.— 176 с.
64. Побединский А. В. Влияние рубок леса на стокорегулирующую роль еловых лесов.— Лесоведение, 1971, № 2, с. 48—57.
65. Прокопьев М. Н. Культуры сосны в таежной зоне.— М.: Лесная промышленность, 1981.— 137 с.
66. Раунер Ю. Л. Суммарное испарение лесной растительности.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1966, № 3, с. 17—29.
67. Раунер Ю. Л. Тепловой баланс растительного покрова.— Л.: Гидрометеониздат, 1972.— 210 с.
68. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши.— Л.: Гидрометеониздат, 1976.— 96 с.
69. Рубинштейн Е. С., Полозова Л. Г. Современное изменение климата.— Л.: Гидрометеониздат, 1966.— 268 с.
70. Рудаков В. Е. О постоянстве соотношения между величинами транспирации и массы хвои у сосны обыкновенной.— Физиология растений, 1977, т. 24, вып. 4, с. 854—855.
71. Рудаков В. Е. Можно ли судить о транспирации леса по величине его продуктивности? — Изв. ВГО, 1977, т. 109, вып. 2, с. 169—173.
72. Рудаков В. Е. О независимости соотношения между величинами транспирации и массы хвои у сосны обыкновенной от погодных условий.— Изв. ВГО, 1979, т. 111, вып. 2, с. 168—170.
73. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик.— Л.: Гидрометеониздат, 1973.— 111 с.
74. Руководство воднобалансовым станциям.— Л.: Гидрометеониздат, 1973.— 306 с.
75. Рутковский В. И. Гидрологическая роль леса.— М.—Л.: Гослесбумиздат, 1949.— 46 с.
76. Рутковский В. И. Влияние лесохозяйственных мероприятий на сток рек.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1958, № 3, с. 114—126.
77. Соколов А. А. О чем шумит русский лес.— Л.: Гидрометеониздат, 1962.— 96 с.
78. Субботин А. И. Структура половодья и территориальные прогнозы весеннего стока рек в нечерноземной зоне Европейской территории СССР.— Л.: Гидрометеониздат, 1978.— 98 с.
79. Субботин А. И. Влияет ли лес на осадки? — Лесоведение, 1979, № 5, с. 13—18.
80. Субботин А. И., Дыгало В. С. Многолетние характеристики гидрометеорологического режима в подмосковье. Мат-лы наблюдений Подмосковной воднобалансовой станции.— М.: Изд. ИПГ-ЦВГМО, 1982, ч. I—158 с., ч. II—162 с.
81. Судаков Н. М. Рубки и возобновление леса в Коми АССР. Информ. бюлл. Научного совета по комплексному освоению таежных территорий, № 3.— Иркутск: Изд-во Сиб. отд. АН СССР, 1969, с. 31—39.
82. Тарасенко В. П. Динамика лесистости и породного состава лесов европейской части СССР и лесовосстановление.— М., 1972.— 52 с.
83. Урываев В. А. и др. Основные недостатки методов наблюдений над снежным покровом и осадками и предложения ГГИ по их улучшению.— Труды ГГО, 1965, вып. 175, с. 31—58.

84. Федоров С. Ф. Исследование элементов водного баланса в лесной зоне Европейской территории СССР.—Л.: Гидрометеониздат, 1977.— 264 с.
85. Федоров С. Ф. О влиянии вырубki леса на изменение элементов его водного баланса.—Труды ГГИ, 1979, вып. 258, с. 30—42.
86. Федоров С. Ф. и др. Изменение структуры водного и теплового баланса залесенных территорий под влиянием вырубok.—Труды ГГИ, 1981, вып. 279, с. 20—31.
87. Федоров С. Ф. Определение транспирации еловыми насаждениями по коэффициенту транспирационной активности.—Труды ГГИ, 1981, вып. 279, с. 32—34.
88. Ханбеков И. И. и др. Влияние леса на окружающую среду.—М.: Лесная промышленность, 1980.— 134 с.
89. Хильми Г. Ф. Теоретическая биогеофизика.—М.: Изд-во АН СССР, 1957.— 220 с.
90. Цветков М. А. Изменение лесности Европейской России с конца XVII столетия по 1914 год.—М.: Изд-во АН СССР, 1957.— 214 с.
91. Цыганова О. П. Изменение лесности речных бассейнов некоторых крупных и средних рек ЕТС.—Труды ГГИ, 1984, вып. 291, с. 62—74.
92. Чертовской В. Г. Еловые леса европейской части СССР.—М.: Лесная промышленность, 1978.— 176 с.
93. Швер Ц. А. Исследование результатов наблюдений по дождемеру и осадкомеру.—Л.: Гидрометеониздат, 1965.— 170 с.
94. Шикломанов И. А. Влияние хозяйственной деятельности на водные ресурсы и гидрологический режим. Обзор.—Обнинск: 1976.— 109 с.
95. Шикломанов И. А. Антропогенные изменения водности рек.—Л.: Гидрометеониздат, 1979.— 302 с.
96. Шикломанов И. А. Антропогенные воздействия на водные ресурсы и водный баланс и их оценка на уровень 2000 г.—В кн.: Межзональное перераспределение водных ресурсов. Л., Гидрометеониздат, 1980, с. 16—38.

# Содержание

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| От редактора . . . . .                                                                                                  | 3   |
| Предисловие . . . . .                                                                                                   | 5   |
| 1. Введение . . . . .                                                                                                   | 6   |
| 2. Изменение лесных биогеоценозов при восстановлении лесов после вырубки в подзонах южной и средней тайги ЕТС . . . . . | 10  |
| 2.1. Изменение лесистости территории и возраста леса . . . . .                                                          | —   |
| 2.2. Виды вырубок и типы возобновления лесов . . . . .                                                                  | 15  |
| 2.3. Эволюция лесных комплексов при возобновлении лесов . . . . .                                                       | 20  |
| 3. Водопотребление лесными комплексами в течение векового периода роста леса . . . . .                                  | 38  |
| 3.1. Метеорологические условия и их изменчивость . . . . .                                                              | —   |
| 3.2. Испарение осадков, задержанных кронами деревьев . . . . .                                                          | 47  |
| 3.3. Испарение под пологом леса . . . . .                                                                               | 49  |
| 3.4. Транспирация зеленой массой древостоя . . . . .                                                                    | 58  |
| 3.5. Суммарное испарение лесными комплексами . . . . .                                                                  | 65  |
| 4. Суммарный сток с участков разновозрастного леса . . . . .                                                            | 74  |
| 4.1. Структура суммарного стока с лесного массива . . . . .                                                             | —   |
| 4.2. Годовой сток с лесных участков и его изменения под влиянием роста леса . . . . .                                   | 75  |
| 4.3. Водный баланс участков разновозрастного леса и весенний сток . . . . .                                             | 79  |
| 4.4. Изменение меженного стока под влиянием роста леса . . . . .                                                        | 84  |
| 5. Оценка изменений водности рек под влиянием вырубок и восстановления лесов . . . . .                                  | 86  |
| 5.1. Методика учета структуры лесов при оценке изменений водности рек . . . . .                                         | 87  |
| 5.2. Внутривековые изменения стока в реки с залесенных площадей . . . . .                                               | 91  |
| 5.3. Изменение стока рек на 1880—1980 гг. и прогноз на 1990—2050 гг. . . . .                                            | 100 |
| Заключение . . . . .                                                                                                    | 106 |
| Приложения . . . . .                                                                                                    | 110 |
| Список литературы . . . . .                                                                                             | 113 |

Олег Игоревич Крестовский  
Влияние вырубок  
и восстановления лесов  
на водность рек

Редактор Л. А. Чепелкина. Художник И. Г. Архипов. Художественный редактор В. В. Быков.  
Технический редактор Л. М. Шишкова. Корректор Э. Э. Белякова.

Н/К

Сдано в набор 12.09.85. Подписано в печать 30.12.85. М-22713. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага  
тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Печ. л. 7,5. Кр.-отт. 7,63. Уч.-изд. л. 8,5.  
Тираж 500 экз. Индекс ГЛ-117. Заказ № 322. Цена 1 руб. Заказное.  
Гидрометеиздат. 199053, Ленинград, 2-я линия, 23.

Ленинградская типография № 8 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского  
объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Госу-  
дарственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
190000, Ленинград, Прачечный переулок, 6

ДЛЯ ЗАМЕТОК

28