

Н. А. Воронков

Роль лесов в охране вод



Ленинград
Гидрометеиздат
1988

Рецензенты: д-р геогр. наук С. Ф. Федоров, д-р с.-х. наук А. И. Михович,
канд. геогр. наук О. И. Крестовский

Ответственный редактор канд. геогр. наук О. И. Крестовский

На основе многолетних комплексных (воднобалансовых и эколого-лесоводственных) исследований критически рассматриваются и по-новому освещаются многие аспекты гидрологической роли лесов. Показана необходимость дифференцированной оценки влагооборота в экосистемах в зависимости от зонально-географических факторов и структуры самих фитоценозов. Предлагается система оригинальных подходов и методов изучения и оценки различных гидрологических функций лесов — водоохранной, водорегулирующей, десукционной и др. Рекомендуются хозяйственные мероприятия по целенаправленному регулированию этих функций путем воздействия на породный состав, густоту, продуктивность, размещение на площади и другие элементы структуры фитоценозов. Определен экономический эффект гидрологического влияния лесов и его изменения под воздействием человеческой деятельности.

Расчитана на научных и практических работников в области гидрологии, лесного и водного хозяйства, почвоведения, мелиорации, экологии, охраны природы.

In the book by N. A. Voronkov «The Role of Forests in Water Conservation» many aspects of hydrological role of forests are critically considered and shown in a new light on the basis of many-year complex (water balance and eco-silvicultural) studies. The necessity of differentiated evaluation of ecosystem water cycle depending on zonal and geographical factors and structure of phytocoenoses themselves is shown. A system of new approaches and methods for studying and evaluating various hydrological functions of the forest (water conservation, water regulation, desuction, etc.) are suggested. Management measures for the directed regulation of these functions through the manipulation with species composition, stocking, yield, space distribution and other phytocoenosis structure elements are recommended. The economic effect of the forest hydrological influence and its changes under human activities is defined.

The book is supposed for specialists in hydrology, forest and water resource management, soil sciences, melioration, ecology and nature conservation.

В $\frac{1903030200-125}{069(02)-88}$ 32-88

© Гидрометеиздат, 1988 г.

ISBN 5—286—00018—5

Предисловие редактора

Известно, что несмотря на огромное количество научной литературы по основным вопросам гидрологии леса, многие из них до сих пор остаются дискуссионными, а отдельные выводы — недоказанными. Автор книги правильно объясняет создавшееся неопределенное положение невозможностью объединить воедино гидрологические свойства лесов различного видового состава, произрастающих во всех географических зонах, и дать единый вывод о влиянии лесных площадей на водные ресурсы (сток рек) в сравнении с открытыми (полевыми) площадями.

Н. А. Воронков на основании многолетних почвенно-гидрологических и лесоводственных исследований, выполненных им в южной части лесной и в лесостепной зоне европейской части СССР, а также критического осмысления работ многих других ученых пришел к правильному выводу о необходимости дифференцированно рассматривать влагооборот в лесах (т. е. водопотребление и водоотдачу) в зависимости от климатических условий района, увлажненности года и его сезонов, состава и водно-физических свойств почвогрунтов, глубины распространения корневых систем деревьев и залегания грунтовых вод, структуры лесных насаждений (видовой состав, продуктивность, возраст древостоев, степень сомкнутости крон, состав и мощность напочвенного покрова и лесной подстилки). В работе раздельно анализируются процессы накопления и расходования влаги лесными фитоценозами в теплый (вегетация) и холодный периоды года. Показана решающая роль осенне-зимне- и ранневесеннего периодов в формировании суммарного стока с лесных площадей, особенно в насаждениях мягколиственных древостоев (береза, осина).

Автор установил, что различия в водном балансе лесных насаждений неодинаковой структуры могут быть значительно больше, чем в водном балансе леса вообще и поля. Им показаны также большие различия в гидрологической роли лесов, расположенных в районах с избыточным, достаточным и недостаточным увлажнением и на неодинаковых элементах рельефа. Поэтому по сравнению с полем влияние леса на сток может менять свой

знак — с положительного на отрицательный и наоборот. Таким образом, на экспериментальном материале и путем логических заключений подтвержден недавно выдвинутый А. А. Соколовым [158] тезис о том, что «лес лесу — рознь».

Конечно, не все положения и выводы автора бесспорны, с некоторыми из них нельзя согласиться полностью или частично. В частности, гидрологическая роль еловых лесов исследовалась автором главным образом в 60—80-летнем чистом ельнике полнотой 0,8—0,9, I класса бонитета. Известно, однако, что средняя полнота еловых лесов в южной таежной подзоне европейской части СССР составляет 0,6—0,8 с примесью сосны, березы и осины (т. е. при составе 7-8Е, 1С, 1-2Б или 7-8Е, 1-2Б, 1 Ос и др.). По условиям произрастания ельники подразделяются примерно на 10 типов и имеют осредненный класс бонитета III. Чистые ельники с полнотой 0,8 и особенно 0,9 встречаются лишь пятнами или небольшими массивами. Поэтому обобщающий вывод автора о небольшой, а в ряде случаев отрицательной гидрологической роли еловых лесов вообще (в смысле влияния на водные ресурсы) является как бы «утрированным», т. е. он правильный, но относится к чистым высокополнотным ельникам I класса бонитета на суглинистых почвах с глубиной грунтовых вод более 2 м. Аналогичные замечания можно высказать и по другим отдельным вопросам, а также по методике проведения полевых исследований. Однако мы этого не делаем, чтобы не навязывать читателям свое мнение.

В целом исследования Воронкова отличаются актуальностью и новизной. Они существенно дополняют и развивают сложившиеся к концу нынешнего столетия представления о гидрологии леса, способствуют творческому подходу к изучению и трактовке влияния лесов на водные ресурсы в различных регионах СССР и за рубежом. Одновременно книга будет стимулировать возможность дискуссий по дифференцированным вопросам гидрологической роли лесов, а не по всей проблеме в целом (лес — поле), как это имело место в прошлом.

О. И. Крестовский

Предисловие

Интенсивно возрастающий дефицит пресной воды на земле выдвигает в число первоочередных задач поиск путей и способов более полного и рационального использования водных ресурсов. Большое внимание при этом уделяется преобразованию речных систем, очистке вод от загрязняющих веществ, строительству водохранилищ и других сооружений по регулированию стока в водных объектах, искусственному пополнению запасов подземных вод и др. Все эти мероприятия требуют больших капитальных затрат, неизбежно сопровождаются нарушением сложившихся природных экосистем и, в частности, затоплением либо подтоплением земель на значительных площадях.

Вместе с тем неоправданно мало внимания уделяется регулированию влагооборота непосредственно на водосборах с помощью естественных сил природы, главным звеном которых выступают лесные сообщества как наиболее мощные, саморегулирующиеся и долговечные экосистемы. Имеющиеся материалы свидетельствуют, что при использовании лесов сводятся до минимума или полностью устраняются перечисленные выше отрицательные явления и в то же время предоставляется возможность решать основные водохозяйственные задачи. Достаточно отметить, что водорегулирующая емкость лесов СССР составляет порядка 200 км^3 , что соизмеримо с объемом воды, зарегулированной всем каскадом волжско-камских водохранилищ [91].

Впечатляющи возможности использования лесной растительности для воздействия на испарение и объемы стока. Изменение годового стока под влиянием лесов только на 10 мм (что вполне реально) можно сравнить по воздействию с такими грандиозными мероприятиями, как планируемая ранее переброска вод из северных водных систем в южные районы.

Велика роль лесов в сохранении и улучшении качества вод. Особенно следует подчеркнуть пока еще мало изученное их терморегулирующее значение для сохранения качества воды. Увеличивая подземное питание источников, леса одновременно стабилизируют их термический режим и тем самым исключают либо нейтрализуют тепловое загрязнение. Лесные воды служат прак-

тически единственным источником для разбавления загрязненного стока, поступающего с сельскохозяйственных, урбанизированных и других территорий.

Другими словами, при рассмотрении гидрологической роли лесов мы встречаемся с явлением, когда в пределах одной и той же системы одновременно можно решать в нужном для человека направлении комплекс задач, включающих и воздействие на объем стока, и выравнивание гидрографа, и повышение качества состава водных ресурсов, и другие вопросы.

Однако многообразные гидрологические свойства лесов используются пока неоправданно слабо и в основном как самопроизвольные, второстепенные по отношению к главным, в качестве которых рассматривается получение древесного сырья. Целенаправленные мероприятия по воздействию на водные функции лесов не проводятся или проводятся без достаточных обоснований и на ограниченных площадях (в основном в полосах вдоль рек).

Более полному и целенаправленному использованию гидрологических свойств лесов препятствует отсутствие достаточно обоснованных критериев их оценки. Гидрологическая роль лесов нередко характеризуется только как «большая», «разносторонняя», «исключительная» и т. п. Более того, несмотря на увеличение и без того огромного количества работ по данной проблеме, мнения исследователей по узловым вопросам гидрологии леса, включая влияние на суммарный сток, грунтовые воды и атмосферные осадки, продолжают оставаться диаметрально противоположными.

В настоящее время, к сожалению, не потеряли актуальности высказывания ученых, сделанные еще в начале XX столетия, о том, что «едва ли в физической географии есть другой вопрос, которому была бы посвящена столь обширная литература, как вопросу о климатической и гидрологической роли леса» [121, с. 1] и что «в этом вопросе вы будете поражены обилием рассуждений и скудостью фактов, а сути мало» (Энгельгард, 1901 г.) — цит. по кн. [103, с. 354].

Наличие взаимоисключающих концепций гидрологической роли лесов имеет следствием такие же взаимоисключающие практические рекомендации. Их воплощение в жизнь в ряде случаев дает негативные результаты. Учитывая большой срок жизни лесов, приходится считаться с тем, что эти негативные результаты могут проявляться или усиливаться в отдаленной перспективе.

Все это диктует необходимость дальнейшего изучения проблемы и прежде всего для обоснования путей и способов целенаправленного регулирования как суммарных, так и частных проявлений лесами их гидрологической роли. В этой связи в предлагаемой монографии основное внимание уделяется анализу тех закономерностей и механизмов, которые лежат в основе важнейших гидрологических процессов и явлений и прежде всего влияния фитоценозов на водоотдачу или объем суммарного стока.

Это в свою очередь обусловило необходимость критического рассмотрения материалов, касающихся воздействий лесов на весь спектр элементов влагооборота и факторов, их обуславливающих. В ряде случаев такой подход стал возможен только при привлечении материалов, относящихся к почвоведению, экологии, физиологии растений, лесоведению и другим смежным областям знаний.

Основные положения работы базируются на результатах многолетних (по отдельным вопросам 20—30-летних) комплексных почвенно-гидрологических и лесоводственно-экологических исследований в лесной зоне (Московская область) и в районах хронически недостаточного увлажнения (Оренбургская и Волгоградская области и др.). Эти материалы использовались как базовые при изучении гидрологических процессов.

Особенно результативным, на наш взгляд, оказался эколого-географический подход к рассмотрению явлений. При этом материалы, полученные в аридных районах, позволили понять некоторые закономерности влагопотребления в связи с почвенно-грунтовыми условиями, мощностью корневых систем, режимом увлажнения и другими факторами, а также характеризовать взаимосвязи, существующие между продуктивностью фитоценозов, их влагопотреблением и влагообеспеченностью, отработать некоторые методические приемы исследований, оказавшиеся полезными и нетрадиционными при перенесении их в условия гумидных областей.

Ценность конкретных воднобалансовых исследований нам представляется также наиболее значимой в сравнительном плане, в частности для выявления гидрологической роли отдельных факторов среды или элементов структуры фитоценозов. Для достижения этих целей объекты подбирались с таким расчетом, чтобы наиболее полно соблюдался принцип единственного различия сравниваемых параметров при возможно полном сходстве остальных.

Кроме собственных наблюдений, в работе широко используются материалы, полученные другими исследователями. Это прежде всего данные наблюдений Подмосковной воднобалансовой станции Гидрометцентра СССР, Валдайского филиала (ранее Валдайской научно-исследовательской гидрологической лаборатории) Государственного гидрологического института (ГГИ), Шелонской и Вятской экспедиций ГГИ, Лаборатории лесоведения АН СССР (Ярославский, Телермановский и другие стационары), а также другие материалы, опубликованные в отечественных и зарубежных изданиях.

Показано, что только дифференцированный и строго конкретный подход к изучению влагооборота в лесах в зависимости от их таксационной структуры и условий местопроизрастания является объективной основой для количественной оценки и целенаправленного регулирования гидрологических процессов. В зависимости от

конкретного сочетания как внутренних, так и внешних по отношению к насаждениям факторов различия их гидрологической роли (прежде всего по влиянию на сток) часто бывают более существенными, чем различия, свойственные «обезличенным» лесам и нелесным видам угодий. В недоучете этих реальностей заключается основная причина существования противоположных взглядов по вопросу влияния лесов на влагооборот на водосборах и питание водных источников.

Использование дифференцированного подхода к анализу явлений и факторов позволило разработать конкретные предложения по оценке и регулированию различных проявлений гидрологических воздействий лесов, в частности: 1) количественно оценить различные аспекты влагооборота в лесах и предложить классификацию насаждений по преобладающим гидрологическим функциям (водоохранная количественная и качественная, водорегулирующая, гидромелиорирующая, десукционная и др.); 2) разработать рекомендации по целесообразной структуре лесов различного гидрологического назначения и наметить пути ее целенаправленного регулирования; 3) предложить конкретные методы дифференцированной оценки и учета гидрологической роли насаждений в пределах водосборов или других территориальных подразделений; 4) сделать попытку экономически оценить основные проявления гидрологической роли лесов как базы для планирования и осуществления предлагаемых мероприятий.

Исследованиями подчеркнута ошибочность использования лесистости в качестве практически единственного критерия воздействия на гидрологический режим водосборов. Такой подход ограничивает возможности целенаправленного управления гидрологическими процессами, поскольку не учитывает различия гидрологической роли насаждений в зависимости от их структуры и условий местопроизрастания.

Основные результаты исследований относятся к равнинным районам европейской части СССР, однако разработанные положения могут находить применение в горных и других условиях после внесения соответствующих поправок на метеорологические, почвенно-грунтовые условия и структуру фитоценозов, гидрологическая оценка которым также дается в работе.

Неоценимую помощь автору в работе оказали С. А. Кожевникова, В. А. Шомполова, М. В. Давиденко, В. М. Невзоров, Н. И. Данилов и другие специалисты, вместе с которыми автор в течение долгого времени занимался лесогидрологическими исследованиями. Автор имел счастливую возможность пользоваться консультациями проф. А. А. Роде, а также проводить совместные исследования и обсуждать их результаты с проф. А. Г. Гаелем и д-ром геогр. наук А. И. Субботиным. Всем лицам, содействовавшим выполнению настоящей работы, автор выражает глубокую признательность.



О методических подходах к изучению и оценке гидрологической роли лесов

1.1. Методы исследований

Немного найдется отраслей знаний, в которых бы результат исследований в такой же мере зависел от применяемого метода, как в гидрологии леса, имеющей дело с многофакторными процессами.

Результаты исследований, выполненных разными авторами, позволяют заключить, что существующие диаметрально противоположные взгляды на оценку одних и тех же процессов во многом связаны либо с использованием различных, не всегда достаточно объективных методов исследований, либо с недостаточным научным анализом результатов и объектов наблюдений. В ряде случаев факты лишь регистрируются, закономерности явлений и процессов не вскрываются. Поэтому целесообразно оценить и уточнить отдельные методические подходы к изучению гидрологической роли лесов. В методические подходы мы включаем и способы измерений, и методику исследований и анализа результатов, и четкость терминов и понятий, и полноту описания исследуемых объектов, и то, насколько анализ результатов исследований способствует познанию закономерностей явлений и процессов.

Для изучения гидрологической роли лесов, как и других пространственных образований, применяется в основном четыре методических подхода. Они включают сравнительные наблюдения за стоком с речных водосборов различной лесистости, исследования на парных элементарных бассейнах, стоковых и воднобалансовых площадках, воднобалансовый и расчетные способы определения суммарного испарения и стока. Достоинства и недостатки этих подходов неоднократно отмечались в литературе.

1.1.1. Сравнительные наблюдения на речных водосборах

В основе данного метода лежит сравнение измеренных значений стока рек, водосборы которых имеют различную лесистость. При этом по возможности должно наблюдаться сходство других факторов, оказывающих влияние на объем стока или гидрограф.

Наиболее обстоятельные исследования такого рода в нашей стране выполнены В. В. Рахмановым [138, 139, 141], А. П. Бочковым [8], Л. Г. Онуфриенко [116], П. Ф. Идзоном [58] по равнинным рекам, В. В. Лебедевым [80], Р. В. Опритовой [117] по горным рекам. В эти исследования включалось, как правило, большое количество пар бассейнов (до нескольких десятков), что, несомненно, повышало достоверность полученных данных. Значительное количество подобных исследований проводилось также на небольшом количестве рек с целью решения частных вопросов, например таких, как влияние рубок [110, 126] или обширных лесных пожаров на сток [45].

Рассматриваемый метод позволяет получить информацию о стоке, формирующемся на обширных территориях. К числу основных недостатков метода относят обычно трудность подбора пар бассейнов, расположенных в сходных географических условиях, что не позволяет вычлнить значение интересующего фактора, в данном случае леса [91, 186, 208], так как бассейны с большой лесистостью обычно тяготеют к более северным районам, в то время как бассейны с меньшей лесистостью располагаются в более южных районах.

Не меньший недостаток метода связан с различием почвенно-грунтовых условий, характерных для водосборов различной лесистости. Этот недостаток практически непреодолим, так как является следствием исторически сложившейся структуры почвенного покрова, свойственной лесным и сельскохозяйственным площадям и территориям. Это обусловлено тем, что под сельскохозяйственные угодья отчуждались наиболее плодородные, хорошо дренируемые почвы. В то же время леса обычно занимают в основном две крайние разности почв — песчаные и заболоченные. Кроме этого, с увеличением аридности территории сказывается неоднородность орографического фактора: леса в южных районах приурочены в основном к отрицательным формам рельефа, а сельскохозяйственные угодья занимают прежде всего водоразделы и их склоны.

Возможности сравнения лесных и безлесных территорий по их влиянию на сток, кроме этого, уменьшаются в связи с тем, что резко возрастает неодинаковость хозяйственной деятельности на этих территориях. В ряде случаев такое сравнение становится просто невозможным. На сельскохозяйственных площадях проводятся осушительные мелиорации, поливы и другие мероприятия, следствием которых является повышение продуктивности фитоценозов. Указанные воздействия часто превышают эффект, обусловливаемый характером растительного покрова. В лесу антропогенные воздействия менее значительны или имеют противоположную направленность. Они связаны с рубками, сменой породного состава насаждений, изменением возрастной структуры лесов и т. п. Резко увеличивается влияние на почвенное звено лес-

ных экосистем в результате использования тяжелой лесозаготовительной техники и применения несовершенных методов подготовки почв для создания лесных культур (раскорчевка, нарезание глубоких борозд и т. п.).

Перечисленные и другие методические трудности дают основание сделать вывод, что использование рассматриваемого метода в том виде, как это делается до настоящего времени, для вычленения леса как фактора стока в ряде случаев теряет смысл. Попытки доказать, что применяемые агротехнические приемы повышения урожайности на полях не сказываются на стоке, неубедительны (см. п. 6.4.4), так как не подкрепляются ни научными послылками, ни фактическими данными измерения стока.

Сказанное не дает, однако, оснований для вывода о нецелесообразности применения данного подхода. Метод позволяет получить представление об интегральных закономерностях процессов и особенно в тех случаях, когда наблюдения проводятся в динамике. Иными словами, данный подход нельзя абсолютизировать, его целесообразно использовать как постановочный в системе других методов.

1.1.2. Расчетные способы определения суммарного испарения и стока

Применение расчетных способов, на наш взгляд, сдерживается недостаточностью необходимых сведений о физических процессах, происходящих на водосборе. Исходные для расчетов данные и прежде всего по элементам метеорологического режима далеко не полностью охватывают все взаимосвязи и взаимозависимости, существующие в системе влага—растение—почва.

Наибольшие неточности, пожалуй, имеют место при определении испарения в условиях недостаточного увлажнения, когда факторы, являющиеся определяющими для испарения при неограниченном увлажнении (температура, радиационный режим, влажность и циркуляция воздуха), начинают играть второстепенную роль. Факторы, ограничивающие увлажнение, трудно поддаются количественному учету, так как зависят не только от запасов влаги, но и от других элементов системы и прежде всего от водно-физических свойств почв, их капиллярности. Например, испарение с песчаных почв резко замедляется (в 3—5 раз) уже на 3—4-е сутки после обильного увлажнения в силу слабой капиллярности субстрата. По этой причине на поверхности песчаных почв быстро образуется иссушенный слой, выполняющий мульчирующую (защитную против испарения) функцию. Такое подсыхание не исключается даже в тех случаях, когда испарение идет с капиллярной каймы (см. п. 4.3.2). В то же время на почвах тяжелого механического состава такие явления выражены в меньшей степени.

Еще сложнее зависимость транспирации от факторов среды. Специфична реакция самого организма не только на недостаток влаги, но и на перегрев растений. Она проявляется в закрывании устьиц, увеличении доли связанной воды, уменьшении площади листьев и других явлениях. Интегральным результатом таких действий в конечном счете является увеличение сопротивления транспирации. Оценить это сопротивление можно относительной транспирацией — отношением транспирации с единицы поверхности листа к испарению с равновеликой площади водной поверхности. Это отношение показывает, в какой степени уменьшается потеря воды листом по сравнению с испарением со свободной водной поверхности. До тех пор, пока интенсивность транспирации изменяется пропорционально изменению метеорологических условий, относительная транспирация имеет постоянные значения. Снижение ее является показателем роста сопротивления транспирации. Так, относительная транспирация сосны в зависимости от условий увлажнения и метеорологических условий уменьшалась в 8—10 раз (табл. 1.1). В абсолютных значениях интенсивность

Таблица 1.1

Изменение относительной транспирации сосны в зависимости от условий увлажнения и метеорологических факторов
Средний Дон, теплый период 1961 г.

Условия увлажнения	Средняя за сутки						В отдельные сроки наблюдений	
	V	VI	VII	VIII	IX	V—IX	максимальная	минимальная
Атмосферное, острый дефицит влаги в мае — июле	0,033	0,019	0,013	0,006	0,022	0,019	0,050	0,004
Атмосферно-грунтовое, дефицит влаги незначительный или отсутствует	0,065	0,050	0,043	0,023	0,035	0,043	0,080	0,015

транспирации уменьшалась с 250 до 35 мг/ч на 1 г сырых листьев [17, 19].

Эту же особенность иллюстрирует выявленное Л. А. Ивановым [56] закономерное снижение расхода влаги на транспирацию фитоненозами по мере продвижения в южные районы. Важно отметить, что такая закономерность проявляется не только в районах с дефицитом влаги в почве, но и в местах с благоприятным увлажнением. Подобная реакция растений на высокие значения метеорологических элементов, надо полагать, является наследственно обусловленной, т. е. не чем иным, как приспособлением организма к уменьшению риска погибнуть от обезвоживания.

Уже сам факт наличия большого числа формул для расчета испарения свидетельствует о недостатке способа. Следствием этого и являются достаточно большие расхождения в значениях испарения, полученных различными расчетными способами. Например, по данным С. Ф. Федорова [176], такие расхождения даже для района с относительно благоприятными условиями увлажнения (Новгородская область) достигают 80—90 мм.

Надо полагать, что применительно к таким сложным экосистемам, какими являются леса, расчетные способы пока еще не обеспечивают необходимой точности. Вместе с тем в более простых системах, например на почвах без растительности, и в периоды с благоприятным увлажнением эти способы дают вполне удовлетворительные результаты. Последнее, в частности, относится к переходным периодам года, когда испарение обуславливается в основном его физической составляющей на фоне хорошей влагонасыщенности почв.

1.1.3. Наблюдения на элементарных бассейнах, стоковых и воднобалансовых площадках

Исследования такого рода предоставляют значительные возможности для познания отдельных гидрологических процессов. Основные недостатки их связаны с трудностями прямого учета подземной составляющей стока. Проведение наблюдений за суммарным стоком только на логах с неглубоким врезом русла (малые водосборы) или только за поверхностной и почвенной составляющими стока (стоковые и воднобалансовые площадки) справедливо подвергается критике, поскольку при этом не учитывается влага, поступающая на питание вод, залегающих ниже базиса эрозии.

Возможности этих подходов существенно увеличиваются, если они дополняются воднобалансовыми наблюдениями в почвенном и биологическом звеньях биогеоценозов. Такие наблюдения позволяют довольно полно учесть подземную составляющую стока и его суммарные значения. Именно такой подход использован нами в исследованиях, во время которых на разных объектах производились комплексные наблюдения — за элементами водного баланса и стоком, почвенно-гидрологические, эколого-физиологические и др.

1.1.4. Воднобалансовый метод

Этот метод наиболее полно разработан и находит широкое применение в нашей стране для объектов различного ранга: от отдельных фитоценозов или других элементарных единиц ландшафта [19, 34, 74, 100, 103, 104, 145, 159, 176] до целых континентов [3, 91, 92].

В зарубежных странах до недавнего времени преобладало изучение отдельных элементов водного баланса, в основном стока на элементарных водосборах и задержания (перехвата) атмосферных осадков пологом растительного покрова. Однако в последнее время воднобалансовый метод и здесь находит все большее признание [194, 203, 210, 223 и др.].

Преимущества данного метода неоднократно подчеркивались в литературе. Так, А. А. Соколов отмечает, что этот метод имеет неоспоримые преимущества перед чисто сравнительными наблюдениями на парных бассейнах различного ранга, поскольку базируется на строгом физическом (мы бы добавили, и на эколого-физиологическом) подходе к рассмотрению проблемы, и поэтому «...именно на пути применения этого метода можно ожидать наибольшего успеха» [158, с. 56].

Можно выделить два варианта воднобалансового метода. Один из них с определенной долей условности можно назвать лизиметрическим, другой — почвенно-гидрологическим.

Оба эти подхода имеют свои достоинства и недостатки, слабо освещенные в литературе. Наиболее существенные погрешности при лизиметрических исследованиях обычно являются следствием ограниченных размеров монолитов. Последнее особенно значимо для лесных экосистем. Для уменьшения влияния указанного фактора прибегают к строительству очень крупных лизиметрических сооружений. Так, согласно сообщению Лютцке и Симона [214], площадь лизиметров, построенных в Нидерландах, ФРГ, США, достигает 625 м² при глубине 3,5 м. В ГДР (Эберсвальде) построены лизиметры площадью 10×10 м и глубиной 5 м. Оригинальные лизиметрические устройства имеются, как известно, в Валдайском филиале ГГИ (ВФ ГГИ).

Лизиметры можно рассматривать как наиболее совершенные устройства для всестороннего изучения водного баланса экосистем. К сожалению, в них не удастся создавать условия, близкие к естественным. Дело не только в том, что размеры лизиметров и связанные с ними условия увлажнения не позволяют моделировать природные процессы. Самую большую трудность представляет невозможность создания почвенной среды, близкой к естественной. В насыпных лизиметрах это связано с нарушением сложенности почвогрунтов во всем объеме прибора, в лизиметрах-колоннах — в местах контакта грунтов с изолирующим материалом. Этим явлениям обычно не придают существенного значения при решении отдельных агрономических или других подобных вопросов. Однако результаты изучения экологии растений и поведения влаги свидетельствуют, что и крупные лизиметры не обеспечивают условий, которые необходимы для получения характеристик водного режима, близких к естественным. Это прежде всего связано с размерами (глубина и мощность) корневых систем и условиями передвижения влаги.

Рассмотрим сказанное на двух конкретных примерах, относящихся к почвам тяжелого (суглинистого) и легкого (песчаного) механического состава как наиболее различающимся по своим свойствам.

Для лесных суглинистых почв характерно, как правило, наличие сильно уплотненного иллювиального горизонта, во многом определяющего направление и интенсивность гидрологических и биологических процессов. Сюда относится образование верховодки в периоды интенсивного влагонакопления, ограниченная мощность корневых систем, уменьшение зоны биологического звена влагооборота и т. п. Всякое изменение этих свойств обычно ведет к резкому изменению водного режима почв и закономерностей влагооборота. Разрушение иллювиального горизонта создает условия для фильтрации влаги в глубинные слои, исчезновения верховодки и увеличения мощности корнеобитаемой зоны. В лизиметрах, заряженных монолитами естественного сложения, подобные условия создаются на границах контактов монолитов с изолирующим материалом.

Может, однако, возникнуть возражение, что это не имеет существенного значения для влагооборота, если создаются условия для сохранения исходной структуры растительного покрова и, особенно его продуктивности. Но с этим нельзя согласиться. Дело в том, что расход влаги на транспирацию насаждениями и другими фитоценозами зависит не только от их потенциальных потребностей во влаге, но и от тех возможностей, которые создаются для ее потребления в конкретных условиях среды. При малой мощности корнеобитаемого слоя, что часто имеет место в естественных условиях, резко возрастает возможность ухода влаги за пределы биологического звена ее оборота в периоды интенсивного влагонакопления в почве (весна). В дальнейшем, какова бы ни была потенциальная потребность растений во влаге, она расходуется на испарение лишь в ограниченном объеме, включаясь в основном в процессы стока.

Создающиеся в лизиметрах условия для развития мощной корневой системы обуславливают возможности более значительного расходования влаги на испарение, чем на почвах естественного сложения. Между количеством расходуемой влаги и продуктивностью далеко не всегда наблюдается прямая зависимость. Свидетельством тому являются большие различия транспирационных коэффициентов (количество воды, расходуемой на образование единицы массы органического вещества) одних и тех же видов растений. Так, для сосны они колеблются от 117 до 294 г/г сухого вещества [84].

Другими словами, структура водного баланса экосистем — это результирующая не только, а порой и не столько растительного покрова, сколько всех других звеньев данной системы. Почвенные условия при этом имеют определяющее значение.

Существенные изменения в потреблении влаги растениями наблюдаются даже при нарушении сложения песчаных почв. С такими явлениями приходилось встречаться при изучении гидрологических процессов в природных условиях [19, 31, 38, 77].

В целом имеющиеся материалы позволяют заключить, что при недостатке увлажнения лизиметры далеко не полностью моделируют закономерности природных процессов и дают завышенные значения испарения.

В этом отношении более приемлемы воднобалансовые исследования, в основе которых лежит изучение динамики влагозапасов почв путем наблюдений за их влажностью и уровнями грунтовых вод при естественном сложении почвогрунтов (почвенно-гидрологический метод). Недостаточная точность, обуславливаемая пространственным изменением свойств почв и других факторов, как и погрешности измерений, может в значительной мере исключаться увеличением повторности наблюдений.

Данный метод, на наш взгляд, позволяет получить наиболее объективную картину природных явлений и их закономерностей как основу для познания существа процессов. Вместе с тем сказанное не исключает необходимости применения других, перечисленных выше подходов и методов, однако при условии определенной соподчиненности и сопоставимости результатов: один метод (речные бассейны) — для постановки задачи, другие (метод элементарных бассейнов, воднобалансовые) — для познания существа процессов, третьи (расчетные, воднобалансовые) — для поиска путей их совершенствования.

1.2. Некоторые вопросы организации исследований и анализа результатов наблюдений

Сочетание различных методов, как отмечено выше, предоставляет дополнительные возможности для познания причин и следствий отдельных явлений и процессов при условии привлечения знаний из смежных наук (физиология растений, лесоведение, физика почв и др.). Без такого подхода увеличивается вероятность простого нагромождения фактов и дальнейшего запутывания и без того крайне усложненной проблемы. Следует напомнить, что неполноценные в методическом плане наблюдения вызывали большое беспокойство у зачинателя фундаментальных экспериментальных гидрологических исследований В. А. Урываева. Он писал: «Упрощенчество, устройство всякого рода временных щитков на непрочных дощатых или металлических стенках... создает только видимость организации наблюдений, ведет к накоплению сомнительных материалов и в конечном итоге приносит вред делу... и напрасные затраты средств» [173, с. 52]. Надо с сожалением

нием отметить, что применительно к гидрологии леса поток таких данных не уменьшился, а, наоборот, увеличился. Кроме использования примитивных средств, ошибки возникают из-за неудачного подбора объектов и использования для выводов чисто сравнительных измерений.

Научная несостоятельность упрощенных подходов к рассмотрению гидрологических явлений обсуждается в литературе. Так, касаясь представления данных без достаточного объяснения наблюдаемых явлений, Соколов пишет: «Если исследование не дает ответа на вопрос почему, это уже не наука. Такими выводами практически воспользоваться нельзя» [158, с. 55]. И далее добавляет: «В обязательное требование к любому исследованию входит получение ответа на вопросы: почему это происходит, чем объясняется тот или иной эффект влияния леса, его вырубки или возобновления? Не ответив на эти вопросы, нельзя сделать каких-либо практических выводов» (с. 67). На это приходится обращать внимание еще и потому, что за новые факты или специфические закономерности иногда выдаются результаты повторных измерений, но выполненных с некоторым сдвигом во времени либо в пространстве. Однако при свойственной природным процессам зависимости их динамичности от большого количества факторов такой подход нельзя признать обоснованным, поскольку он является не более как результатом характерной для этих условий простой невоспроизводимости результатов.

Не менее существенное, а, пожалуй, еще более важное значение имеют методические подходы, применяемые при анализе результатов исследований. В этом плане следует обратить внимание на некоторые положения, имеющие значение для формирования отдельных принципиально важных представлений и выводов относительно гидрологической роли лесов, как и других экосистем.

Прежде всего это относится к соотношению потенциального, т. е. возможного при данных метеорологических условиях, и фактического испарения. Так, обычно при оценке гидрологической роли тех или иных фитоценозов исходят из потенциально возможного испарения фитоценозами. В таком случае логика на стороне более значительного испарения в лесных, чем в травянистых, сообществах как наиболее мощных фитоценозах суши. Однако фактические значения испарения имеют нередко обратное соотношение, так как в большой мере корректируются конкретными условиями и факторами среды. В их числе влагооборот в холодный период года и мощность корнеобитаемой зоны почв.

При традиционных способах изучения водного баланса, когда наблюдения и расчеты замыкаются в основном теплым (вегетационным) периодом года, различия гидрологической роли отдельных фитоценозов в силу названных причин могут не проявляться или даже иметь противоположные фактическим значения.

Еще более существенны погрешности в результате неправильной либо тенденциозно односторонней оценки гидрологической роли корневых систем. На некоторые из них обращалось внимание выше. Здесь отметим, что с большей глубиной корневых систем древесных растений связывается иногда более интенсивное питание грунтовых вод под лесами. Ходы корней при этом рассматриваются как дрены для фильтрации влаги. При этом забывается, что хотя такие явления и имеют место, но основная функция корней — не проведение, а поглощение влаги и, следовательно, не экономия ее, а повышенное расходование. По этой причине теоретические положения относительно гидрологической роли отдельных фитоценозов нельзя рассматривать как обоснованные, поскольку они базируются на неверных посылах.

Эти и другие методические подходы имеют важное значение при изучении и анализе отдельных гидрологических процессов и проблемы в целом. Они находят отражение в различных разделах настоящей работы.

1.3. Некоторые терминологические вопросы.

Классификация гидрологических функций лесов

Дискуссионность проблемы гидрологической роли лесов во многом связана с отсутствием четкой терминологии по данному вопросу. Нередки случаи неоднозначного употребления терминов. Нет единой классификации гидрологических функций лесов.

Сказанное прежде всего относится к термину «водоохранная роль лесов». Согласно И. В. Тюрину, «...под ней подразумевается совокупность таких влияний леса, в результате которых усиливается значение производительных, или полезных, сторон водного баланса территории за счет уменьшения непроизводительных, или вредных, сторон этого баланса» [172, с. 8]. При этом к производительному, или продуктивному, использованию влаги Тюрин относит и ее расходование на транспирацию. В этой связи наиболее полно, по указанному автору, водоохранные свойства леса проявляются в том случае, если древесной используют влагу, не только поступающую из атмосферы, но и стекающую с сопредельных открытых пространств. Другими словами, водоохранная роль леса, по Тюрину, практически всегда связана с повышением испарения и соответственно с уменьшением объемов суммарного стока на занимаемой им территории. Непременным условием водоохранности лесов является возрастание только подземной составляющей стока.

Исходя из такого понимания термина, Тюрин к водоохранным относит в основном насаждения, перехватывающие поверхност-

ный сток, поступающий со смежных пространств. Территориально в эту категорию относятся леса ложбин стока и карстовых воронок, полосы или опушки, расположенные поперек склонов, снего-сборные полосы и лесные колки. Как синоним понятия «водоохранные леса» автор употребляет термин «грунтоувлажняющие леса». Преобладающие же площади лесов Тюрин относит к климатоувлажняющим, поскольку они отличаются повышенным суммарным испарением и прежде всего транспирацией.

М. Е. Ткаченко [167] сделал, пожалуй, первую попытку рассмотреть соподчиненность отдельных терминов — «водоохранная», «водорегулирующая», «водоохранно-защитная» роль лесов. При этом он давал определение терминам не как функциям, а как категориям лесов. Водоохранными он предлагал называть леса, которые содействуют более равномерному поступлению воды в источники или увеличению ее поступления, в особенности в периоды межени, или предохраняют естественные и искусственные водоемы от засорения и загрязнения. Водорегулирующими названы леса, которые, не увеличивая общего поступления воды в источники, уменьшают наводнения и предотвращают заболачивание или содействуют лучшему дренажу почвы.

Нетрудно убедиться, что проявления гидрологических свойств в названных категориях лесов повторяются. Равномерное поступление воды в источники водоохранных лесов — это не что иное, как уменьшение наводнений и содействие лучшему дренажу почв водорегулирующих лесов. Можно бы назвать специфическим свойством водоохранных лесов увеличение стока (поступление воды в источники), но в определении это вводится как возможное, но необязательное условие (союз «или»).

Более конкретно термин «водоохранная роль лесов» понимает В. В. Рахманов [137, 139]. Он различает значение этого термина в широком и узком смысле слова. При употреблении термина в широком смысле понимается весь комплекс положительного влияния лесов на воды, включая воздействие как на объем стока, так и на рассредоточение его во времени (водорегулирующая функция). Узкий смысл термина ограничивается только воздействием лесов на объем суммарного стока. Согласно Рахманову, водоохранная роль лесов как в широком, так и в узком смысле всегда положительна. Между тем в литературе, как известно, имеются данные, свидетельствующие о том, что лес может не увеличивать, а уменьшать объем стока. В данном случае возникает терминологическое несоответствие — «отрицательная водоохранная роль».

И. С. Мелехов [97] также считает, что термин «водоохранная роль» можно рассматривать и в широком, и в узком смысле слова. При этом водоохранное значение лесов он связывает с влиянием, обуславливающим сохранение и накопление влаги в любых проявлениях, включая увеличение запасов в почвогрун-

тах, а через них и в реке, экономное расходование на испарение с поверхности почвы, снегонакопление, замедление таяния снега, улучшение качества воды. Такое определение, надо полагать, относится к пониманию термина в широком смысле слова. Более узкое определение водоохранной роли автор не приводит и не высказывает своего отношения к проблеме влияния лесов на объем стока.

Согласно В. И. Рутковскому [148], все леса, защищающие воды, почвы, грунты, водоемы, русла рек, сельскохозяйственные и другие угодия, следует называть лесами защитного значения. Последние в свою очередь подразделяются на леса гидрологического и климатического значения. К гидрологическим относятся водоохранные леса, способствующие увеличению стока; водорегулирующие леса, обуславливающие уменьшение поверхностного стока и повышающие уровень грунтовых вод; дренажные леса, основная функция которых проявляется через понижение уровней грунтовых вод.

А. А. Молчанов [103] под водоохранной ролью лесов понимал практически все изменения влагооборота в них, которые имеют своим результатом положительные следствия. Следуя Тюрину [172], он считал, что к водоохранным свойствам следует относить все те влияния леса, в результате которых усиливается значение производительных, или полезных, сторон водного баланса за счет уменьшения непроизводительных, или вредных, сторон этого баланса. Далее Молчанов отмечал, что к положительным сторонам водного баланса следует относить сокращение поверхностного стока и увеличение производительного расходования влаги на транспирацию, а также увеличение подземного стока. В более поздней работе он [104, с. 436] пытается уточнить высказанное положение: «Лучшими водоохранными свойствами обладают леса с влагоемкой подстилкой, хорошим структурно-агрегатным состоянием почв, древостой которых имеют глубокую и разветвленную корневую систему и *отличаются наименьшей потребностью во влаге на транспирацию и испарение*. Исходя из этих положений, необходимо стремиться выращивать леса *высокопродуктивные и расходующие мало влаги*» (курсив Н. В.).

Нетрудно заметить, что все перечисленные свойства имеют важное значение для оценки гидрологической роли лесов, но совмещение их положительных качеств в пределах одного насаждения невозможно, так как практически все они находятся в противоречии. Так, мощная влагоемкая подстилка неизбежно уменьшает просачивание влаги в почву, увеличивая физическое испарение; глубокая и разветвленная корневая система также в конечном счете выступает фактором поглощения влаги и расходования ее на транспирацию; повышение продуктивности в свою очередь несовместимо с уменьшением расхода влаги на транспирацию. Следовательно, эти свойства никак не могут сочетаться

с уменьшением расходования влаги на испарение и повышением стока.

Таким образом, вывод Молчанова о неодинаковой водоохранной роли лесов различной структуры слишком неопределенен и достижим практически в любом случае, если один из называемых им показателей такой роли изменяется в каком-либо направлении. Столкнувшись с таким противоречием, Молчанов в последних работах предлагает отказаться от использования критерия стока как условия водоохранности насаждений.

В работе [108], опубликованной в 1977 г., требование о малом расходе влаги не только снимается из определения, но и рассматривается как противоречащее самой сути водоохранности лесов. Отметив, что «...расход воды на выращивание органической массы является показателем рационального использования водных ресурсов», а «...повышение транспирации в районах с достаточным увлажнением не только полезно, но и необходимо», авторы констатируют: «Водоохранные свойства леса должны заключаться... не в увеличении речного стока, а в уменьшении поверхностного и за счет увеличения вследствие этого запасов подземных вод» [108, с. 21—22].

Такой же точки зрения на водоохранную роль лесов придерживается М. И. Львович [89], считая, что поскольку транспирация является наиболее рациональным использованием водных ресурсов, то ее нельзя рассматривать в числе отрицательных показателей водоохранной роли лесов.

Еще более определенно о связи степени водоохранности лесов с расходом влаги на транспирацию высказывался Б. Д. Жилкин. Он писал: «Водоохранным... будет всякий лес, который оказывает положительное влияние на хозяйственное использование водных ресурсов... путем непосредственного увеличения расхода влаги, идущей на увеличение органической продуктивности и регулярного водопитания рек...» [48, с. 79].

По этой причине А. И. Субботин [161] все попытки связывать понятие водоохранной роли лесов с увеличением стока рассматривает как диаметрально противоположные взглядам В. В. Докучаева, П. В. Отоцкого, Г. Н. Высоцкого, Г. Ф. Морозова, А. Д. Дубаха по вопросам гидрологии леса. Он считает, что леса во всех случаях расходуют повышенное количество влаги и, следовательно, не могут увеличивать речной сток. В этой связи водоохранная роль леса, согласно Субботину, проявляется через уменьшение склонового стока, увеличение количества талых и дождевых вод, просачивающихся в зону аэрации, большая часть которых затем расходуеться самим лесом, обеспечивая его рост и развитие.

Связывая водоохранную роль лесов с расходом влаги на продуктивное испарение, или транспирацию, ученые, на наш взгляд, допускают логическую ошибку, поскольку смешивают понятия

использования и охраны вод. Эти понятия обязательно надо разграничивать, оставив за термином «водоохранная роль» только те воздействия, с которыми связаны явления либо увеличения запасов воды (стока), либо сохранения или улучшения ее качества.

Необходимо обратить внимание еще на одну парадоксальную тенденцию использования лесогидрологических терминов и понятий, в соответствии с которой в многофакторных процессах легко найти подтверждение практически любой точке зрения на проблему «водоохраны». Например, рассматривая одну сторону процессов, легко «доказывают», что повышенное задержание осадков пологом растительного покрова есть благо, так как исключает возможность наводнений, уменьшает вероятность заболачивания. Но под другим углом зрения в качестве блага рассматривается слабое задержание осадков, так как это увеличивает поступление воды в водные источники. С третьей точки зрения, это благо потому, что обуславливает возможность большего включения воды в процессы транспирации и, следовательно, повышает продуктивность растений. Не менее противоположны оценки гидрологической роли суммарного испарения с лесов. Высокими водоохранными свойствами лесов объявляется и экономное расходование влаги на испарение, поскольку оно обуславливает увеличение суммарного стока, и высокое испарение, поскольку оно способствует интенсификации влагооборота в атмосфере и повышению продуктивности древостоев.

Другими словами, каждое действительно огромное влияние лесов на оборот влаги объявляется водоохранным и привлекается для защиты какой-либо концепции. Например, если усилил направления на сохранение хвойных лесов как наиболее ценных с точки зрения древесных запасов, то и все проявления их влагооборота объявляются преимущественными перед лесами другого породного состава; если требуется обосновать повышение продуктивности лесов, то расход влаги на транспирацию объявляется высшим проявлением их водоохранной роли; если рубка леса противоречит взглядам исследователя или ведомства, то и все изменения обуславливаемого ею водного режима оцениваются отрицательно. Любые факты другого порядка (например, увеличение стока с вырубок) при этом либо оцениваются как ошибочные, либо объявляются результатом специфичности тех условий, в которых они были получены.

При таком подходе любое действительно масштабное влияние лесов на оборот влаги рассматривается как водоохранное, хотя в одних случаях мы имеем дело с ее расходом, а в других — с сохранением.

В дополнение к имеющимся предпринимаются попытки введения новых, еще менее конкретных терминов и определений «водообразующие леса», «водозащитные леса» и др.).

Вместе с тем имеющиеся широко распространенные понятия

остаются терминологически незаконными. Так, в ГОСТе 18486—73 «Лесоводство. Термины и определения» термин «водоохранная роль леса» вообще отсутствует, дается определение только «водорегулирующих лесов». Примеры такого порядка можно было бы продолжить, так как они встречаются во многих работах, посвященных обсуждаемой проблеме. Все это свидетельствует о настоящей необходимости унификации терминологии, без чего невозможно конкретное обсуждение ряда основополагающих вопросов гидрологической роли леса.

В своих публикациях мы касались данного аспекта обсуждаемого вопроса [20, 21]. Делались попытки, не вводя новых терминов, конкретизировать имеющиеся. В настоящей монографии рассматривается более полно соподчиненность терминов, как относящихся непосредственно к гидрологическому влиянию лесов, так и связанных с этой проблемой опосредованно.

Во-первых, мы выделяем следующие семь категорий лесов по главнейшим гидрологическим функциям:

1) водоохранные стокоувеличивающие (экономное расходование влаги на суммарное испарение);

2) водоохранные конденсационные (образование горизонтальных осадков);

3) водоохранные водоочищающие;

4) водоохранны-водорегулирующие снегоперехватывающие;

5) водоохранны-водорегулирующие стокоперехватывающие (поверхностный сток, поступающий со смежных пространств);

6) водорегулирующие инфильтрационные (перевод поверхностного стока в подземный на занимаемой территории);

7) водорегулирующие десукционные (увеличение суммарного испарения).

Во-вторых, мы предлагаем схему соподчиненности составляющих водоохранны-защитных функций лесов (рис. 1.1).

Под гидрологической ролью лесов нами понимается весь комплекс их воздействий на влагооборот водосборов и окружающих пространств. Этот термин мы рассматриваем как синоним понятия «водоохранная роль лесов» в широком смысле слова. Термин «водоохранная роль» в узком смысле ограничивается влиянием на суммарный сток и воздействием на качество воды. Для разделения этих функций вычленяется водоохранная количественная и водоохранная качественная функция. Такое деление, в частности, применяется в чехословацкой гидрологической литературе [218] и, на наш взгляд, является удачным. Правда, чехословацкие исследователи качественную функцию рассматривают более широко, относя сюда и все воздействия, связанные с перераспределением стока (водорегулирующая роль в нашем понимании).

Наиболее однозначное содержание вкладывается в термин «водоохранны-защитная роль лесов». Под ним понимается весь комплекс воздействий на водные ресурсы и элементы окружаю-

щей среды, связанные с влагооборотом. Хотя термин нельзя считать удачным, поскольку слова охрана и защита являются синонимами, но толкование его ни у кого не вызывает сомнений. Традиционно с понятием «защитная роль» связывается воздействие на почвы, микроклимат и другие элементы окружающей среды, прямо не связанные с влагооборотом.

В сходном объеме большинством исследователей понимается и термин «водорегулирующая роль лесов» как комплекс воздействий, связанных с перераспределением значений отдельных элементов влагооборота. Сюда относится уменьшение поверхностной составляющей стока и связанных с ней наводнений, усиление питания грунтовых вод, предотвращение заболачивания и т. п. Факторами водорегулирующей роли является перехват осадков кронами и подстилкой, специфическая фильтрационная способность почв, особенности снегонакопления и особенно снеготаяния, а также другие закономерности влагооборота, свойственные лесным экосистемам. Правда, и в применении этого термина часто возникают трудности из-за того, что отдельные исследователи водорегулирующую функцию рассматривают как составляющую водоохранной роли [172] либо, наоборот, водоохранную роль ограничивают только воздействием на подземную составляющую стока и подчиняют ее более широкой водорегулирующей функции [100].

Следует отметить, что в приведенной на рис. 1.1 схеме некоторые термины и понятия не нашли отражения. Это относится прежде всего к тем из них, которые имеют либо узкоспецифическое, либо региональное значение. Так, применительно к горным лесам довольно часто применяется понятие «водорегулирующая емкость насаждений» как способность различных элементов биогеоценозов (полог леса, подстилка, почвы) поглощать атмосферные осадки и предотвращать разрушительный поверхностный сток [129, 165]. Сходный смысл имеет понятие «коэффициент защитности насаждений» [44], характеризующий максимальную способность предотвращать поверхностный сток и выражаемый отношением суммы осадков максимальной для данного района интенсивности, обуславливающих начало стока, к максимально возможным в данном районе осадкам такой же интенсивности.

Необходимо также кратко рассмотреть в качестве примера терминологию, применяемую в зарубежных странах. Наиболее разработанной и интересной, на наш взгляд, является упоминавшаяся выше терминология, разработанная чехословацкими исследователями [216, 218], согласно которой выделяются две категории функций и шесть гидрологических групп лесов.

Первая категория выделяется по отношению к хозяйственной деятельности человека. В этом плане называются водная, или гидрологическая, и водохозяйственная функции. Первая из них рассматривается как самопроизвольная (спонтанная), являю-

щаяся неотъемлемым свойством лесных экосистем. С точки зрения деятельности человека, ее называют пассивной и в этой связи относят к внепродукционной (побочной, невесомой) и внеэкономической. Водохозяйственная функция в отличие от гидрологической рассматривается как преднамеренная, связанная с конкретными хозяйственными мероприятиями, и в этой связи ее относят к активной и экономической.

Вторая категория функций выделяется по характеру проявления гидрологической роли. В этом плане выделяются функции: водоохранная (влияние на количество воды или сток), водозащитная (влияние на качество воды и регулирование стока) и почвозащитная, связанная с предотвращением разрушения почв.

Водоохранную функцию рассматривают как количественную, или квантитативную, а водозащитную — как качественную, или квалитативную (в предлагаемой нами классификации влияние лесов на качество вод включается в водоохранную функцию, так как это в большей степени отвечает смысловому ее содержанию — охране вод от загрязнения). Термин «водорегулирующая роль» в чехословацкой литературе не имеет аналогов и не применяется.

Группы лесов выделяются по той гидрологической роли, которая является для них преобладающей. Такими группами являются: водозащитные леса (в нашем понимании водорегулирующие и водоохранные качественные), инфильтрационные леса (водоперехватывающие полосы леса по ложбинам стока, опушки и т. п.), десукционные леса (в основном насаждения, потребляющие грунтовые воды и понижающие их уровень), осадкообразующие леса (характерны только для районов с большим количеством горизонтальных осадков, в условиях Чехословакии характерны для верхнего пояса горных районов) и противозерозионные леса.

Соответственно названным группам лесов в них назначается конкретный способ ведения хозяйства. Так, например, для осадкообразующих лесов основным требованием является поддержание постоянно высокой сомкнутости полога. Таким требованиям на верхней границе леса отвечают хвойные насаждения, содержащие большую органическую массу. Последнюю рекомендуется поддерживать за счет сохранения высокой сомкнутости крон и снижения возраста рубок. Водозащитным и фильтрационным качествам наиболее полно отвечают смешанные хвойно-лиственные насаждения, поддерживаемые в условиях средней сомкнутости, и т. п.

Разделение лесов на группы осуществляется обычно применительно к конкретным водосборам и решаемым на них водохозяйственным задачам. Система ведения хозяйства определяется специальными проектами. Один из таких проектов разработан и обсуждался как образцовый применительно к водосборам, питающим водохранилища питьевого водоснабжения [217].

В заключение остановимся на принципах выделения или определения отдельных категорий или групп лесов, применяемых в литературе. Нам представляются неудачными те попытки, при которых ставилась цель связать с определенной категорией насаждений ограниченный круг функций, например такая: «Водоохранными надо считать те леса, которые содействуют более равномерному поступлению влаги в источники или увеличению ее поступления, в особенности в периоды минимума запасов воды, или предохраняют естественные и искусственные водоемы от засорения и загрязнения» [167, с. 173]. Нетрудно заметить, что первым двум требованиям отвечают практически все леса и лишь третье — выполняют в большей степени насаждения, произрастающие по берегам рек и водоемов.

Такой же подход использует Молчанов. Так, водоохранно-защитными он рекомендует «считать такие леса, которые оказывают положительное влияние на водный режим рек путем почвенно-грунтового питания их водой, обеспечивают повышение продуктивности лесов и сельскохозяйственных растений на водосборном бассейне и предохраняют почву от смывов и размывов» [104, с. 454]. Этим требованиям также отвечают практически все леса и особенно те, в пределах водосборов которых имеются сельскохозяйственные поля.

Поскольку все леса в той или иной степени влияют на различные гидрологические процессы, целесообразно давать определение не лесам, а выполняемым ими функциям, а затем по функциям, которые либо преобладают, либо наиболее интересны в хозяйственном отношении, выделять отдельные категории лесов гидрологического значения. Например, к водорегулирующим следует относить те леса, основное назначение которых или ведение хозяйства в которых подчинено задачам регулирования влагооборота посредством перехвата осадков кронами, усиления фильтрационной способности почв, снижения поверхностной составляющей стока и других подобных проявлений. К водоохранным (в узком смысле слова) при таком подходе относятся те леса, ведение хозяйства в которых подчинено задаче увеличения стока или охране вод от загрязнения.

Таким образом, даже краткий анализ методов изучения гидрологической роли лесов и последующей интерпретации полученных данных свидетельствует, что отсутствие единых взглядов по ряду вопросов данной проблемы во многом связано с недостатками методического порядка, включая проведение эксперимента, терминологический язык и теоретические обобщения. Недостаточными также являются материалы экспериментальных исследований, раскрывающие механизм отдельных процессов и явлений как основу для теоретических обобщений.



Объекты исследований, состав, продолжительность и методика наблюдений

2.1. Объекты исследований и продолжительность наблюдений

В основу монографии положены материалы длительных воднобалансовых исследований, выполненных в двух крупных регионах, существенно различающихся по природным условиям и прежде всего по характеру увлажнения: в регионе хвойно-широколиственных лесов (далее — лесная зона) и в степной зоне европейской части СССР. Стационарные исследования выполнялись на Истринском опорном пункте (Московская область) в 1965—1980 гг. и в Бузулукском бору (Оренбургская область) в 1965—1983 гг. Кроме этого, автором обработаны и критически осмыслены результаты наблюдений, выполненных на названных объектах в более ранний период: с 1937 г. на Истринском опорном пункте и с 1945 г. (по отдельным вопросам с 1905 г.) в Бузулукском бору, а также опубликованные результаты наблюдений на других стационарных объектах (см. Предисловие).

Кроме материалов длительных стационарных наблюдений, в работе используются и результаты полустационарных экспедиционных исследований. В лесной зоне полустационарные воднобалансовые исследования проводились в Загорском лесхозе (1976—1979 гг.) на стационаре «Каменка» (Хомяковское лесничество) и частично в Пушкинском лесхозе (Тютчевское и Пушкинское лесничества). В степной зоне подобные полустационарные исследования проводились в 1958—1962 гг. песчано-эрозионной экспедицией МГУ (руководитель А. Г. Гаель) в Кустанайской области (островные сосновые леса) и на Среднем Дону (Арчединский лесхоз Волгоградской области).

Ряд лесных массивов охвачен также экспедиционными исследованиями: на Среднем Дону — Михайловский лесхоз в Волгоградской области, Вешенский лесхоз в Ростовской области; в Оренбургской области — Бузулукский, Сорочинский, Соль-Илецкий, Оренбургский, Илекский и другие лесхозы.

Наиболее полно в работе представлены результаты наблюдений, полученных на Истринском опорном пункте. Пункт расположен на водоразделе рек Истры (приток р. Москвы) и Ламы (приток р. Волги) на южном склоне Клинско-Дмитровской гряды в 70 км северо-западнее Москвы. Административно пункт отно-

сится к Истринскому району Московской области (в 1,5 км от д. Жилкино). Территория его входит в Холщевиковское лесничество производственного объединения «Истралесхоз».

Условия стационара довольно типичны для лесной зоны: здесь преобладают дерново-подзолистые почвы, сформированные на покровных суглинках, подстилаемых с 2,5—3,0-метровой глубины суглинистой, иногда опесчаненной, как правило с включением гальки, моренной. Последняя подстилается обычно разнозернистыми песками различной мощности. Ниже залегают хорошо отсортированные или глинистые пески, прикрывающие меловые или юрские породы [157]. На отдельных участках мощность моренных суглинков уменьшается до 1—2 м или увеличивается до 3—4 м. Для почв, сформированных на покровных суглинках или моренных суглинистых отложениях, закономерным является образование в период интенсивного влагонакопления верховодки на иллювиальном горизонте, которая в конце весны или в начале лета обычно исчезает.

Преобладает полого-холмистый рельеф. Различие высотных отметок в пределах объектов исследований обычно не более 3—5 м. Грунтовые воды во всех случаях залегают глубже 10 м. Характерная их особенность — отсутствие единого горизонта и значительная «индивидуальность» поведения в различных скважинах.

В механическом составе почв преобладает фракция 0,25—0,01 мм. Наименьшая влагоемкость (НВ) таких почв равна 24—26 %, влажность завядания (ВЗ) 14—15 %. При НВ такие почвы способны удерживать в метровом слое 150—170 мм доступной растениям (продуктивной) капиллярно-подвешенной влаги. Данные о механическом составе и водно-физических константах почв приводятся в п. 5.4.

Истринский опорный пункт — один из старейших в стране стационаров, на которых проводятся гидрологические исследования. Наблюдения за основными элементами водного баланса и метеорологическими факторами, их обуславливающими, здесь начаты в 1938 г. Результаты их опубликованы в двух сводных работах, получивших широкую известность — «Водный режим в лесах», 1939 г., и «Водоохранная роль леса», 1940 г. (см. [87, 88, 147, 156, 157 и др.]).

После Великой Отечественной войны исследования были возобновлены в 1950 г., но ограничивались в основном наблюдениями за поверхностным стоком на лесном, полевом и полулесном элементарных бассейнах площадью 19—31 га каждый.

В 1962 г. организируются наблюдения в насаждениях различного состава, представляющих основные фазы смены пород в данном регионе. Такими объектами являются чистый еловый лес, лиственное насаждение, представленное березой, осинкой и ивой с единичными экземплярами ели в подросте, и смешанное елово-листвен-

Таблица 2.1

Характеристика объектов на Истринском опорном пункте

№ объекта	Характеристика объекта	Период наблюдений, годы
Экспериментальные площадки (ЭП)		
ЭП-1	Лиственное насаждение состава 6Б40с ед. Лп, в подлеске лещина, возраст 50—60 лет, класс бонитета I, сомкнутость крон 0,8	1955—1977
ЭП-2	Смешанное насаждение состава 5Е4Б1Ос, во втором ярусе редко ель, возраст 60—70 лет, класс бонитета I, сомкнутость крон 0,7	1955—1977
ЭП-3	Еловое насаждение состава 1ОЕ, без подроста и подлеска, возраст 80—100 лет, класс бонитета I, сомкнутость крон 0,7—0,8	1955—1977
ЭП-4	Луг (залежь) в 120—150 м от стены леса (контроль)	1955—1977
Водосборные бассейны (ВБ)		
ВБ-1	Лесной бассейн, площадь 88,7 га. Лесистость около 95 % (5 % — лесные поляны небольших размеров, дороги, линия электропередачи). Средний состав насаждений 4Б4Ос2Е, возраст 40—50 лет, полнота 0,7—0,8, класс бонитета I—II. На долю лиственных насаждений с подростом ели приходится 23 % площади водосбора, лиственные насаждения со вторым ярусом ели занимают 13 %, смешанные елово-лиственные насаждения 39 % и чистые еловые насаждения 20 %. Рельеф еще более выровненный, чем в ВБ-2. Значительная часть нижней части бассейна занята понижением, где в предвоенный период была нарезана система осушительных канав. Почвы здесь в разной степени оглеенные. Уклон не более 15 ‰	1972—1975
ВБ-2	Лесной бассейн, площадь 24 га, лесистость 90 %. 10 % площади приходится на поляны разных размеров, дороги, прогалины и т. п. Преобладающий тип леса — ельник-кисличник. Средний состав насаждения 7Е2Б1Ос, возраст 80—90 лет, сомкнутость крон 0,8, в том числе: ельники с примесью лиственных пород (береза, осина), IV класс возраста, полнота 0,8—46 %; елово-лиственный лес с преобладанием березы и осины, V класс возраста, полнота 0,7—0,8—11 %; то же с полнотой 0,5—0,7—19 %; молодняки на вырубках с преобладанием лиственных пород и небольшим участием ели — 14 %. Рельеф водосбора пологий. Средний уклон около 30 ‰. Преобладающие почвы среднесуглинистые дерново-подзолистые, по понижениям оглеенные	1950—1975

№ объекта	Характеристика объекта	Период наблюдений, годы
ВБ-3	Полевой бассейн, площадь 31 га. 74 % площади занимает распахиваемое поле, опушки — 2 %; лесные куртины, состоящие из лиственных пород в возрасте 20—30 лет — 13 %; тальвег лога (луг) — 7 %, поляны между куртинами и лесных полос — 4 %. Рельеф пологий, средний уклон 30—35 ‰. В верховьях водораздел выражен слабо, так как проходит через плоское понижение, в котором после весеннего снеготаяния довольно надолго задерживаются почвенные и поверхностные воды. Почвы здесь сильно оглеенные. Остальная часть бассейна занята дерново-подзолистыми, на склонах, как правило, смытыми почвами	1950—1975
ВБ-4	Полулесной бассейн, площадь 19 га. Средняя лесистость 57 %, из них 44 % занято елово-лиственным лесом IV—V классов возраста с полнотой 0,6—1,0. 9 % площади занимают чистые ельники IV—V классов возраста при полноте 0,8—1,0; 4 % — куртины лиственных пород (береза, осина, ольха) разного возраста. 40 % водосбора занято пашней и 3 % — лесными полянами. Насаждения занимают нижнюю часть бассейна. В верховьях бассейна находится общее с верховьями полевого бассейна плоское понижение, во влажные периоды лет оно заболочено, в сухие — распахивается под сельскохозяйственные культуры. Уклоны, как и в ВБ-2	1950—1975

ное насаждение. В качестве контроля используется полевая метеорологическая площадка. В 1972 г. начаты наблюдения еще на одном лесном бассейне (№ 1) площадью 88,7 га.

Характеристика объектов и объем проводимых наблюдений приводится в табл. 2.1 и 2.2. Все насаждения располагаются в одном лесном массиве в сходных почвенно-грунтовых условиях. Расстояние между лиственным и смешанным насаждениями составляет 150—200 м, еловое отстоит от них на 800—1000 м. Объекты содержатся в полузаповедном режиме.

Структура елового насаждения в процессе всего периода исследования практически не изменялась, в лиственном насаждении были убраны отдельные ели для поддержания его чисто лиственным.

Наиболее значительные изменения происходили в смешанном насаждении в связи с интенсивно происходившими здесь процессами смены лиственных пород елью и выходом ее в первый ярус. Здесь периодически убирался сухостой (в основном ивы и осины). Эти площадки вначале были названы биофизическими, а затем

Таблица 2.2

Объем и сроки наблюдений на объектах Истринского опорного пункта

Характеристика	Срок наблюдений	Период наблюдений, годы
Экспериментальные площадки		
Перехват осадков кронами	Круглогодично по мере выпадения	1962—1975
Влагозапасы в 1—1,5-метровом слое почв	Ежемесячно в течение теплого периода года и в предзимний период	1962—1975 (1955—1962 — эпизодически) 1976—1977
Сток осадков по стволам основных древесных пород	Весенний период	1976—1977
Испарение с почвы	Весенний период	1976—1977
Испаряемость	Теплый период	1964—1977 (не регулярно)
Промерзание почв		1964—1975
Температура почвы до глубины 320 см	Круглогодично	1964—1975
Температура и влажность воздуха (в метеорологических будках)	»	1959—1975
Лесной опад, запасы подстилки, фенология, прирост деревьев по радиусу, солнечная радиация, освещенность и др.		1964—1975 (в отдельные периоды или эпизодически)
Водосборные бассейны		
Поверхностный и почвенный сток (снеговой, ливневый) в замыкающих створах, максимальные запасы воды в снеге, интенсивность снеготаяния, наблюдения за уровнями верховодки и грунтовыми водами, влагозапасы в почвах		1950—1975

переименованы в экспериментальные (ЭП). Под последним названием они используются в нашей работе.

В Загорском лесхозе стационарные исследования проводились на 13 объектах, условно названных нами гидрологическими площадками (ГП). Исследования здесь носили полустационарный характер и имели меньший объем наблюдений; проводились в 1977—1980 гг. Этими исследованиями ставилась цель дополнить данные наблюдений на Истринском опорном пункте по гидрологической роли насаждений различного состава, и кроме того, изучить особенности влагооборота насаждений в зависимости от их густоты (изреживание проводилось с помощью рубок ухода) и возраста. Хвойные насаждения здесь представлены елью и сосной, лиственные — березой. Основные исследования выполнены

Таблица 2.3

Характеристика гидрологических площадок (ГП)
Загорский лесхоз

№ ГП	Насаждение	Возраст, лет	Сомкнутость крон	Средняя высота, м	Средний диаметр стволов, см	Запасы древесины, м ³ /га	Примечание	
1	Еловое	60	0,9	16	18	230		
2	Березово-осиновое	30	0,7	16	10	165		
3к	Березовое	20	0,9	8	6	70	Контроль к площадке 3р	
3р	»	20	0,6	8	6	42	Изрежено рубками ухода, равномерно, интенсивность 25 %	
4	Еловое	20	0,9	8	5	62		
5	Сосновое	20	0,9	10	11	152		
6к	Еловое	20	1,0	7	5	80	Контроль к площадке 6р	
6р	»	20	0,5	7	4	37	Изрежено вырубкой каждого второго ряда	
7к	Сосновое	20	0,9	11	13	180	Контроль к площадке 7р	
7р	»	20	0,5	11	11	130	Изрежено вырубкой каждого второго ряда	
9	Поле сельскохозяйственное	Посевы зерновых культур						

в молодых насаждениях, созданных по выровненному фону — на площадях, ранее занятых сельскохозяйственными угодьями. Как и на Истринском опорном пункте, рельеф в Загорском лесхозе полого-волнистый, почвы дерновоподзолистые суглинистые.

Кроме насаждений, исследования проводились на молодой вырубке и на полевом участке, занимаемом под зерновые культуры. Характеристика объектов приводится в табл. 2.3.

Другие объекты в Московской области располагались либо в условиях, аналогичных описанным выше (Тютчевское лесничество), либо на почвах более легкого, механического состава (Пушкинское лесничество). Характеристика их приводится в разделах, где используются результаты наблюдений.

В районах недостаточного увлажнения (Бузулукский бор, Средний Дон, Северный Казахстан) исследования проводились в основном в сосновых насаждениях (частично в березовых и смешанных), а также на открытых пространствах с травостоем естественного происхождения. Все объекты располагались на песчаных почвах, сформированных, как правило, на аллювиальных

Таблица 2.4

Метеорологические условия в районе наблюдений
Истринский опорный пункт, 1963—1978 гг.

Гидрологический год	Осадки, мм			Температура воздуха, °С			Солнечная радиация, кДж/см ²		
	год	холодный период (X—II)	теплый период (IV—IX)	год	холодный период	теплый период	год	холодный период	теплый период
1963-64	344	138	206	3,8	-5,4	12,9	348	76	272
1964-65	593	183	410	3,7	-4,4	11,8	363	74	289
1965-66	734	335	399	4,5	-4,2	13,3	351	61	290
1966-67	524	206	318	3,9	-5,7	13,5	390	75	315
1967-68	584	226	358	3,5	-5,5	12,5	400	85	315
1968-69	552	189	363	1,8	-8,2	11,8	369	84	295
1969-70	700	379	321	3,7	-5,2	12,5			
1970-71	666	257	409	4,2	-5,6	11,1	335	56	279
1971-72	512	152	360	4,6	-6,9	13,0	391	62	321
1972-73	731	239	492	5,4	-3,8	11,9	344	57	297
1973-74	620	266	354	4,5	-4,6	11,8	342	64	278
1974-75	635	290	345	7,0	-2,5	13,2	355	49	306
1975-76	808	232	576	2,9	-7,4	9,5	346	60	286
1976-77	638	240	398	3,9	-5,2	12,8	339	48	291
1977-78	716	328	388	3,9	-6,1	10,4	352	52	300
Среднее	630	250	380	4,1	-5,3	12,1	359	54	305

В том числе по периодам, использованным в работе

1967-68—1977-78	651	254	397	4,1	-5,5	11,8	357	47	310
1967-68—1974-75	625	250	375	4,3	-5,3	12,2	362	44	318

Примечание. В измеренные осадки введены поправки только на смачивающие осадкомерных (дождемерных) ведер. Солнечная радиация дана по наблюдениям метеообсерватории Московского государственного университета.

отложениях речных террас (в основном вторая и третья надпойменные).

По механическому составу эти почвы, как правило, связнопесчаные (фракция физической глины в пределах 4—8%), сформированные на средне-мелкозернистых (фракциях 0,05—0,25 мм 80—90%) кварцевых (Средний Дон) либо полиминеральных кварцево-полевошпатовых (Безлукский бор) песках. НВ таких почв около 4,5—5,5%, ВЗ составляет 1,2—2,0%. В метровом слое они могут удерживать не более 60—70 мм доступной растениям влаги. Грунтовые воды под песками имеют, как правило, прямолинейный уровень с некоторым уклоном в сторону базиса эрозии. Глубина грунтовых вод в зависимости от рельефа колеблется от

нескольких сантиметров (часто выходят на поверхность) до 5—7 м.

Более подробная характеристика условий и основные результаты работ по объектам, располагающимся на песчаных почвах, опубликованы ранее [17, 19, 30, 32 и др.]. Поэтому в настоящей работе анализ материалов, полученных на данных объектах, занимает небольшой удельный вес. Используются в основном некоторые положения, принципиально важные для понимания отдельных процессов и их закономерностей (соотношение потенциальной и фактической транспирации, значения мощности корнеобитаемой зоны в процессах влагооборота и др.), свойственных другим почвенным разностям.

В Бузулукском бору средняя годовая норма осадков составляет около 500 мм (колебание в годы наблюдений от 280 до 650 мм), на Среднем Дону 340—360 мм и в Северном Казахстане 320—340 мм.

При средней годовой (за 15 лет наблюдений) норме осадков для Истринского опорного пункта 630 мм годовые их сумма изменялась от 344 мм (1963-64 гидрологический год) до 808 мм (1975-76 г.). Около 40 % осадков выпадает в холодный период года (октябрь—март). Средняя годовая температура воздуха 4,1 °С при колебании от 1,8 до 7 °С, суммарная солнечная радиация 359 кДж/(см²·год) (табл. 2.4).

2.2. Методика наблюдений

Методика наблюдений по отдельным вопросам рассматривается в соответствующих разделах работы. Здесь остановимся на общих подходах к изучению основных элементов водного баланса.

В основу исследований положен балансовый метод. Его достоинства и недостатки отмечались в главе 1.

Рассмотрим методику исследований по отдельным элементам водного баланса.

Осадки на открытом месте на Истринском опорном пункте учитывались по дождемеру с защитой Нифера, затем по осадкомеру с защитой Третьякова. Метеостанция (ЭП-4) располагалась на приопушечной поляне, которая с западной стороны граничила с хвойно-лиственным лесом высотой 15—20 м (расстояние до приборов 70—80 м); с юга и севера располагались куртины разновозрастного леса (расстояние 40—60 м); с восточной стороны площадка примыкала к пахотным землям, представленным большими полями, перемежающимися лесными колками. Чтобы выяснить, насколько полно улавливались выпадающие осадки, в 1970—1974 гг. были проведены параллельные наблюдения на указанной площадке, а также по осадкомеру с защитой невысокой древесно-кустарниковой растительностью. В таких условиях

приборы, по имеющимся данным [40, 162, 163, 176], наиболее полно улавливают выпадающие осадки. Исследования показали, что под защитой древесно-кустарниковой растительности улавливалось на 3 % осадков больше, чем на метеостанции, расположенной на поляне [32]. По твердым осадкам недоучет был более значительным (около 6 %), но они учитывались по результатам снегомерных съемок на нескольких объектах. В измеренные осадки вводились поправки на смачивание осадкомерных (дождемерных) ведер.

Задержание осадков пологом леса определялось по разности показаний осадкомеров, установленных на полянах и под пологом насаждений. Поправки вводились только на смачивание приборов, согласно «Временным указаниям» [33]. На ветровой эффект поправки не вводились, так как в подобных условиях они не дают удовлетворительных результатов [164].

Осадки под пологом учитывались по 5 осадкомерным ведрам на ЭП (Истринский опорный пункт) и по 10—15 приборам на ГП (Загорский лесхоз, Бузулукский бор). Места установки тщательно подбирались, с тем чтобы пропорционально охватить все наиболее характерные особенности полога (подкروновые пространства, края крон, прогалины). Перемещение приборов допускалось только при изменениях в пологе (усыхание деревьев, ветровал и т. п.). Чтобы выявить точность наблюдений по 5 приборам, в течение летних сезонов 1971 и 1974 гг. в еловом (ЭП-3) и лиственничном (ЭП-1) насаждениях (Истринский опорный пункт) проводились параллельные наблюдения по названному 5 и дополнительным 14 осадкомерам. При существенных различиях показаний в отдельных наблюдениях (до 20—30 %) средние за год показатели оказались довольно сходными (табл. 2.5). Близкие результаты получены при улавливании осадков под пологом с помощью поддонов площадью 1 м² каждый, которые в количестве 5 штук

Таблица 2.5

Результаты параллельных наблюдений за проникновением осадков под полог лесных насаждений по 5 и 14 осадкомерным ведрам
Истринский опорный пункт

Насаждение	Год наблюдений	Число измерений осадков	Задержание осадков пологом (%) при числе осадкомеров	
			5	14
Еловое	1971	28	39	40
	1974	11	41	38
	Среднее		40	39
Лиственничное	1972	13	27	30
	1974	11	21	19
	Среднее		24	25

устанавливались на каждой площадке в отдельные годы. Основное назначение поддонов состояло в учете лесного опада.

Для воднобалансовых и других расчетов использовались данные только по жидким и смешанным осадкам. С момента установления устойчивого снежного покрова и до периода максимального снегонакопления выпавшие осадки учитывались по результатам снегосъемок. Попытки использовать для этой цели показания осадкомеров не дали положительных результатов. Особенно неудовлетворительно улавливались твердые осадки под пологом хвойных насаждений, где снег с ветвей осыпается крайне неравномерно по площади. Часто отдельные приборы оказывались пустыми, в то время как другие были переполнены комьями упавшего с ветвей снега. Для открытой площадки существенным был ветровой недоучет твердых осадков.

При экспедиционных и полустационарных исследованиях (Загорский лесхоз, Средний Дон, Бузулукский бор) использовались в основном стеклянные дождемеры Давитая и кустарные приборы, изготовленные по типу дождемерных ведер, но с приемной поверхностью 100 см². В этих случаях наблюдения по приборам также проводились только за жидкими осадками. Твердые осадки учитывались снегосъемками.

Снегомерные съемки проводились на экспериментальных (Истринский опорный пункт) гидрологических площадках (другие области). Выполнялось по 10 измерений запасов воды в снеге с помощью снегомера при 30 измерениях высоты снежного покрова как на площадках, так и за их пределами в насаждениях различного состава. На Истринском опорном пункте такие снегосъемки выполнялись на 4 водосборных бассейнах общей площадью около 70 га. Наблюдения проводились по единой методике [111] вдоль постоянных профилей, заложенных через каждые 100—150 м и закрепленных на местности. Вдоль профилей высота снежного покрова измерялась через каждые 5 м (2-кратная повторность), запасы воды в снеге — через 20 м (повторность та же). Материалы снегосъемок использовались как для расчетов весеннего стока, так и для характеристики влагозапасов по отдельным элементам водосборов (насаждения различной структуры, поляны, поля и др.). Дополнительно снегозапасы учитывались в наиболее характерных насаждениях (в основном по составу) и на лесных полянах.

В качестве эталонов для определения снегозапасов использовались лесные поляны площадью 0,5—0,8 га и несколько участков с молодняком лиственных пород. В среднем поляны давали значения влагозапасов, близкие к таковым в насаждениях из лиственных пород [24, 32].

Влажность почвы изучалась термостатно-весовым методом (Истринский опорный пункт, Загорский лесхоз, Средний Дон, Бузулукский бор). На каждом объекте образцы отбирались из

3 скважин в 3-кратной повторности через 10 см по глубине в пределах гумусового и иллювиальных горизонтов (на суглинистых почвогрунтах до глубины 1 м) и через 25 см в более глубоких слоях. Глубина определения влажности обуславливалась зоной, в которой наблюдалось заметное иссушение почв. Последнее в свою очередь зависело от глубины проникновения корней (с поправкой на капиллярное подтягивание влаги в зону иссушения). На суглинистых почвогрунтах оказалось возможным ограничиться определением влажности до глубины 1—1,5 м (мощность корнеобитаемой зоны 40—50 см). На песках влажность определялась во всей зоне аэрации (до грунтовых вод) либо до глубины 4—4,5 м (при глубоком залегании грунтовых вод). Наблюдения проводились, как правило, 1 раз в месяц, на песчаных почвах Бузулукского бора — круглогодично, в других случаях — в течение вегетационного периода. На Истринском опорном пункте, где большое внимание уделялось влагообороту холодного периода года, обязательным являлось определение влажности почвы накануне ухода почвы под снег либо в зимне-весенний период до начала снеготаяния. Послойные запасы влаги рассчитывались посредством использования данных по плотности почв.

Основные объекты на Истринском опорном пункте, в Бузулукском бору, на Среднем Дону были оборудованы скважинами для наблюдений **за грунтовыми водами**. На песчаных почвогрунтах (Средний Дон, Бузулукский бор) скважины располагались вдоль профилей нивелирования (начиная от уреза воды в дренарующих реках) с таким расчетом, чтобы охватить все основные элементы рельефа (террасы, понижения и возвышенные участки в их пределах). В песках водоносные горизонты представлены однородными грунтами и уровень грунтовых вод, как правило, прямолинеен (с некоторым уклоном в сторону базиса эрозии). Здесь четко выражены колебания уровней грунтовых вод, обуславливаемые их питанием атмосферными осадками, стоком в дренающую сеть и в какой-то мере расходом влаги на транспирацию. В этих условиях по результатам анализа режима уровней грунтовых вод представлялось возможным определить отдельные элементы их баланса. Для этого использовались коэффициенты водоотдачи водоносных песков [19]. При отсутствии поверхностного стока на песках грунтовый сток давал практически полную характеристику водоотдачи с изучаемых объектов.

На суглинистых почвогрунтах (Истринский опорный пункт, Загорский лесхоз), где водоносные горизонты не характеризуются однородным строением, а грунтовые воды чаще всего залегают в виде отдельных линз, которым свойственны специфические особенности режима уровней, не представлялось возможным использовать результаты наблюдений за грунтовыми водами для определения объемов их питания и стока. В этих случаях определялось возможное поступление влаги на питание грунтовых вод и

последующий сток, через ее инфильтрацию за пределы корнеобитаемой зоны (см. ниже).

Поверхностный сток (включая почвенный) изучался на Истринском опорном пункте. Учитывался только весенний (паводочный) и летний (ливневый) сток на пересыхающих логах, оборудованных водосливными устройствами (прямоугольный водослив) и самописцами уровня воды «Валдай». Жидкие осадки, необходимые для расчета характеристик стока, учитывались на экспериментальных площадках, располагающихся в пределах водосборных бассейнов. Твердые осадки учитывались снегомерными съемками в периоды максимальных весенних снегозапасов. Наблюдения проводились в 4 бассейнах (см. табл. 2.1, 2.2).

Испарение с почвы и напочвенного покрова под пологом насаждений — наиболее трудно определяемый элемент водного баланса как вследствие малых его значений, так и в результате большого изменения видового состава напочвенного покрова и количества осадков, попадающих в отдельные приборы. Последние измерить непосредственно над прибором практически не представляется возможным.

В этой связи в холодный период года испарение (со снега) определялось по результатам сравнительных снегосъемок, в переходные периоды — по испаряемости на открытых пространствах путем введения в нее переходных коэффициентов на ее значения под пологом (см. п. 6.1). В летний период испарение под пологом и транспирацию определяли совместно как неизвестный член формулы водного баланса.

Вместе с тем в методических целях и для познания отдельных закономерностей процесса испарения использовались различные способы и приборы для его определения.

При благоприятном увлажнении почв (НВ и выше) испарение (испаряемость) с различных покровов изучалось с помощью компенсационных испарителей-лизиметров [22]. Такие приборы имели испаряющую поверхность 1 м^2 ($1 \times 1 \text{ м}$) при высоте 50 см. В них поддерживался постоянный уровень воды на глубине 40 см с помощью сосуда Мариотта. Испаряемость рассчитывалась по объему доливаемой воды.

Для сравнительной характеристики испаряемости в различных фитоценозах и местоположениях, а также на различных уровнях полога леса использовались микроиспарители также компенсационного типа [22]. Основное достоинство этих приборов — высокая чувствительность и исключение необходимости вводить поправки на выпадающие осадки, поскольку они скатываются с испаряющей поверхности, не изменяя показаний прибора. Другими словами, в период осадков приборы как бы автоматически отключаются.

Параллельно на открытых пространствах проводились наблюдения за испаряемостью с водной поверхности по испарителю

ГГИ-3000. Выявлялись зависимости между испаряемостью, полученной по различным приборам, а также между испаряемостью с почв различного механического состава при помещении их на испаряющую поверхность микроиспарителей [27].

Выше отмечалось, что трудности изучения испарения с почвы под пологом леса связаны с его малыми значениями, которые при большом объеме монолита не всегда учитываются с достаточной точностью при взвешивании. Более того, не единичны случаи фиксации «отрицательного» испарения, причины которого, кроме неравномерности проникновения осадков под полог, могут обуславливаться конденсационными процессами. Последние неоднократно регистрировались Н. Ф. Созыкиным при изучении испарения с помощью паронепроницаемой пленки на Истринском опорном пункте. По этим наблюдениям испарение под пологом характеризовалось очень малыми значениями — примерно в 10—15 раз меньшими, чем на открытых участках. Так, под пологом леса оно составляло около 0,15 мм/сут, в то время как на лугу равнялось 2,2 мм/сут.

Чтобы уменьшить массу монолита и увеличить повторность наблюдений при изучении испарения в условиях переменного увлажнения, нами использовались испарители малой модели, изготовленные специально для этих целей. Испаряющая поверхность их равна 200 см², а высота цилиндра 15—20 см. Такие приборы имеют определенные преимущества перед стандартными почвенными испарителями.

Монолиты отбирались путем врезания самого прибора в почву, вследствие чего к минимуму сводилось нарушение их естественного сложения, образец не уплотнялся и не опускался ниже бортиков прибора. Перезарядка производилась довольно часто, как правило, через 3—5 сут, что исключало существенные отклонения во влажности монолита и окружающей почвы. Взвешивание приборов выполнялось с существенно меньшей погрешностью (до 50—100 мг), чем тяжелых стандартных испарителей. Наряду с точностью взвешивания достоверность результатов заметно увеличивается вследствие меньшего отношения массы прибора к поверхности испарения.

Каждый испаритель состоит из двух сосудов: внутреннего, заряжаемого почвенным монолитом ненарушенного сложения, и внешнего, используемого для помещения внутреннего сосуда и для учета избытка осадков, стекающих из сосуда с монолитом. В лесу устанавливалось по 3—4 испарителя на каждой площадке. Монолиты заряжались с таким расчетом, чтобы их испаряющая поверхность характеризовала условия, свойственные площадке (подстилка без растений, подстилка с травянистыми растениями или мхами). При расчете испарения значения его определялись как средневзвешенные с учетом доли площади покрова, представленного в данном приборе.

Транспирация фитоценозами определялась либо прямыми измерениями по методу Л. А. Иванова на срезанных ветках (Средний Дон, Загорский лесхоз) [19, 56], либо как неизвестный член уравнения водного баланса (Бузулукский бор, Истринский опорный пункт). Проводились отдельные измерения транспирации еловыми насаждениями в ранневесенний период.

2.3. Анализ результатов исследований, определение суммарного испарения и стока

На почвах тяжелого механического состава, где не представлялось возможным определить расход влаги на подземный сток по результатам наблюдений за грунтовыми водами, задача сводилась к определению количества влаги, фильтрующейся в почву за пределы корнеобитаемой зоны и в дальнейшем включающейся в формирование подземного стока. Для весеннего периода, когда транспирация отсутствует или незначительна, а испарение с почвы близко к испаряемости, формула для определения возможного стока и инфильтрационного питания грунтовых вод (Q) имеет относительно простой вид:

$$Q = (N + N_1 + N_2) - (E + E_{1,2} + E_3 + \Delta W), \quad (2.1)$$

где N — максимальные весенние запасы воды в снеге (на поле), мм; N_1 — осадки, выпавшие осенью (в период между определением влажности и установлением снежного покрова), мм; N_2 — осадки, выпавшие весной (между снегосъемкой и началом вегетации растений), мм; E — испарение твердых осадков (N) с кроны и поверхности снега, мм; E_1, E_2 — соответственно задержание осенних и весенних осадков пологом леса, мм; E_3 — испарение с поверхности почвы в переходные периоды года, мм; ΔW — расход влаги на восполнение дефицита в почве (до НВ), мм.

Наблюдения за влажностью почв показали, что при неглубоком проникновении в них корней иссушение их (ниже НВ) происходит лишь в верхнем метровом слое (см. п. 5.3, 5.4). Только в крайне засушливые годы (например, 1972, 1975) заметные потери влаги наблюдались до 1,5-метровой глубины.

Применительно к лесной зоне подобный метод определения питания грунтовых вод использовал О. И. Крестовский [14] при изучении баланса влаги периода весеннего половодья. На основании массовых наблюдений в Ленинградской, Новгородской и Кировской областях он пришел к выводу о наличии дефицита влаги только в верхнем метровом слое суглинистых почвогрунтов. Ограничивая наблюдения весенним периодом, Крестовский не задавался целью определения дальнейшей судьбы влаги, поступающей в грунтовые воды. Принималось, однако, что некоторая часть

ее возвращается в зону аэрации и расходуется на испарение летом.

Нами сделана попытка рассмотреть баланс влаги для годовых и более длительных периодов, используя аналогичный метод анализа результатов воднобалансовых наблюдений. Поскольку на объектах наблюдений грунтовые воды залегают достаточно глубоко (15—30 м), мы исключаем практическую возможность их последующего расходования на суммарное испарение. Нет также оснований считать, что влага, поступившая на питание грунтовых вод весной, должна сформировать весенний сток, а также весь сток за год. Поэтому при погодичном расчете баланса эту влагу мы относим к возможному стоку. По этой же причине сравнение рассчитанных и измеренных данных по стоку в дренирующих грунтовые воды реках можно производить лишь по осредненным за ряд лет значениям.

Хотя основной сток формируется за счет осадков холодного периода, нельзя недооценивать возможностей его образования в отдельные влажные периоды теплого сезона года. Нами предпринята попытка вычленить значения такого стока по результатам ежемесячных наблюдений за осадками, испаряемостью и влажностью почв. Для этого использовалась формула

$$Q = N - E_0 - \Delta W, \quad (2.2)$$

где Q — возможное поступление влаги на сток за месяц, включая поверхностную, почвенную и грунтовую составляющие; N — количество осадков, выпавших в течение данного месяца; ΔW — дефицит влаги в почве (по отношению к НВ) по результатам наблюдений в конце предшествующего месяца; E_0 — потенциально возможное суммарное испарение, рассчитанное по формуле А. М. Алпатьева [72]:

$$E_0 = 0,49 \sum d, \quad (2.3)$$

где d — суточный дефицит влажности воздуха, мбар¹.

Другими словами, сток возможен лишь в тех случаях, когда осадки преобладают над потенциально возможным испарением и дефицитом влаги в почве (ниже НВ), т. е. $N > E_0 + \Delta W$.

Нам представляется, что такой способ определения питания грунтовых вод имеет преимущества перед их определением по ходу уровней и водоотдаче грунтов, поскольку в последнем случае значительна вероятность погрешностей при вычленении притока и оттока грунтовых вод, а также при определении коэффициента водоотдачи. Для слоистых же грунтов либо для условий отсутствия сплошного потока грунтовых вод предлагаемый метод является практически единственным.

¹ 1 бар = 10⁵ Па (в СИ).

Транспирация древостоев E_T и подпологовое испарение E_n в нашем случае определялось как неизвестный член формулы водного баланса $E_T + E_n = N - N_n + Q \pm \Delta W$, где N_n — годовое задержание осадков пологом леса; Q — возможный годовой суммарный сток; ΔW — годовое изменение запасов почвенной влаги в конце периода наблюдений (гидрологического года) по отношению к исходному в начале наблюдений «плюс» при увеличении запасов, «минус» при их уменьшении). При отрицательных значениях ΔW мы относили их в приходную часть водного баланса как «использование запасов почвенной влаги» (см. п. 6.2).

Необходимо остановиться на судьбе верховодки, которая скапливается в весенний период на иллювиальном горизонте суглинистых дерново-подзолистых почв. А. И. Субботин [159, 161] в своих исследованиях (Подмосковная воднобалансовая станция) исходил из положения, что практически вся влага, поглощаемая лесными почвами (исключая поверхностный и почвенный сток) расходуется в дальнейшем на транспирацию и испарение вне зависимости от того, в какой форме она находится. Всю верховодку он также относил на испарение. На этих представлениях, в частности, основываются наблюдения на стоковых или воднобалансовых площадках, где иллювиальный горизонт рассматривают как водоупор, замыкающий влагооборот в почве.

Нет, однако, оснований связывать исчезновение верховодки с ее расходом на испарение и транспирацию. Первый элемент, как будет показано в п. 6.2, весной под пологом леса несуществен, второй (транспирация) — в лиственных лесах практически отсутствует, а в хвойных, по нашим и другим наблюдениям [72], не превышает 0,5 мм/сут, или 5—10 мм за ранневесенний период. Наличие верховодки свидетельствует лишь о том, что в течение какого-то времени поступление влаги в почву превышает ее фильтрационную способность. Это, в частности, следует и из наблюдений Субботина [159]. Анализируя многолетние результаты определения влажности почв в Подмосковье, он отмечал, что запасы влаги в ней увеличиваются по всему профилю (в том числе ниже горизонта верховодки), становясь близкими к капиллярной влагоемкости.

Велика вероятность микропатускулярной (очаговой) фильтрации влаги через иллювиальный горизонт. Ф. Р. Зайдельман [49] на примере дерново-подзолистых почв подтвердил положение Г. Н. Высоцкого о фильтрации влаги по «водяным трещинам».

Нами также неоднократно наблюдалось стекание влаги по трещинам, разделяющим отдельные глыбистой структуры на стенках разрезов (в том числе в горизонтах *B* и *C*), после выпадения обильных осадков. Об этом же свидетельствуют «индивидуальные» (по А. А. Измаильскому) образцы почв с повышенной влажностью, большое колебание водопроницаемости при определении ее с помощью инфильтрометров и другими методами, а также большие

различия значений поверхностного и почвенного стока при наблюдениях на спаренных стоковых либо воднобалансовых площадках.

В этой связи возникают вопросы относительно границ возможного использования результатов наблюдений на таких сооружениях. Рассматривая иллювиальный горизонт как водоупор, поверхностный и почвенный сток, учитываемый на площадках, нередко приравнивают к суммарному. Очевидна ошибочность такого подхода, связанная с недоучетом влаги, фильтрующейся в глубинные горизонты за пределы биологического звена влагооборота. Распространение закономерностей стока, установленных на площадках, является одной из причин необоснованных выводов о всеобщей иссушающей роли лесов.

Переходим к рассмотрению элементов водного баланса и закономерностей их формирования применительно к основным звеньям биогеоценозов (полог, подпологовое пространство, почвы и т. п.).



Гидрологическая роль полога леса

Гидрологическую роль полога леса ограничим воздействием на атмосферные осадки. Транспирация, хотя и осуществляется через полог, но рассматривается в главе, посвященной влагообороту в почвогрунтах, поскольку она тесно связана с их влагообеспеченностью.

При оценке влияния лесов на атмосферные осадки обычно выделяются два четко разграниченных аспекта данной проблемы. Первый из них связан с поисками ответа на вопрос, способствуют ли леса выпадению дополнительных осадков, второй — касается влияния лесов на перераспределение выпавших осадков.

Наиболее дискуссионным и в то же время слабо изученным является вопрос о влиянии лесов на выпадение осадков. Этот вопрос имеет основополагающее значение для оценки водоохранной роли лесов (их влияния на объем стока), поскольку многие исследователи [80, 101, 102, 148, 176] увеличение стока с лесных водосборов связывают исключительно с дополнительным атмосферным увлажнением. Суммарное испарение в лесах, по их данным, практически во всех случаях выше, чем на безлесных территориях. Другими словами, оценка водоохранной роли лесов проводится по весьма спорному критерию. И если этот критерий снять как недоказанный, то другие материалы сторонников данной концепции начинают однозначно свидетельствовать в пользу иссушающего воздействия лесов.

Обширный круг вопросов, связанных с проблемой влияния лесов на перераспределение выпавших осадков, изучен довольно обстоятельно. Задача исследований сводится в основном к получению материалов, количественно характеризующих данный элемент баланса применительно к конкретным фитоценозам и условиям произрастания.

3.1. Влияние лесов на выпадение осадков

Среди теорий, объясняющих увеличение количества осадков под влиянием лесов, наибольшее признание в настоящее время имеют те, которые рассматривают полог леса как фактор увели-

чения шероховатости подстилающей поверхности, что в свою очередь ведет к замедлению движения воздушных масс, возникновению восходящих токов, образованию облаков и выпадению осадков.

Согласно В. В. Рахманову [137, 139, 141], в пределах европейской части СССР на каждые 10 % увеличения лесистости территории количество осадков увеличивается на 8—10 мм. Аналогичную зависимость суммы осадков от лесистости отмечает А. В. Лебедев [82] для равнинных районов Сибири. Здесь увеличение лесистости на 10 % сопровождается дополнительным выпадением 12—13 мм годовых и 5—6 мм зимних осадков. Вместе с тем А. Р. Константинов [68] и А. И. Михович [101, 102] на примере степных и лесостепных районов Украины пришли к выводу, что увеличение осадков за счет лесистости имеет место только в определенных границах (1—20 %) последней. Предельное увеличение осадков не превышает 30 мм. При дальнейшем возрастании лесистости (после 30—40 %) количество осадков практически не увеличивается, наблюдается лишь рост испарения. Аналогичное мнение высказывал А. П. Бочков [8 и др.].

Эти выводы получены по результатам обработки данных сетевых наблюдений на метеостанциях, расположенных в районах с различной лесистостью. Оказалось, что дополнительное количество осадков выпадает не только на занимаемой лесом территории, но и на прилежащих к ней безлесных пространствах.

Другие исследователи [119, 120, 176] пришли к заключению о выпадении большего количества осадков над лесами по результатам наблюдений на рядом расположенных лесных и безлесных объектах. В. В. Осипов [119, 120] такие исследования проводил в условиях Ярославской области. Судя по описанию эксперимента, объекты располагались на расстоянии не более 5 км друг от друга. По его данным, над лесами выпадает на 20—25 % осадков больше, чем на расположенных рядом открытых пространствах. За год такая прибавка составляет около 100 мм. Это, пожалуй, рекордные значения увеличения осадков, приводимые для равнинных районов европейской части СССР. Различий в воздействии лесов на выпадение жидких и твердых осадков Осипов не находит. Накопление повышенных запасов снега в отдельных лесных насаждениях он также связывает с дополнительным выпадением осадков.

Сходные исследования провел С. Ф. Федоров [176] в Новгородской области (ВФ ГГИ). Он также пришел к выводу об увеличении осадков только над лесными массивами. При этом несколько большее количество осадков (на 13 %) выпадает над еловыми лесами, чем над насаждениями из лиственных пород (11 %). Однако леса положительно влияют лишь на выпадение жидких осадков (прибавка 10—13 %), эффект воздействия лесов на твердые осадки крайне незначителен.

Точку зрения на лес как на фактор увеличения осадков разделяют также другие исследователи [3, 46, 70, 149], хотя приводимые ими значения этого эффекта неоднозначны. Согласно В. И. Рутковскому [149], леса усиливают внутриматериковый влагооборот вследствие повышенного испарения и тем самым способствуют выпадению осадков, но не над лесными массивами (здесь, по автору, облака рассеиваются под влиянием нисходящих токов воздуха), а над открытыми пространствами. Вследствие этого вырубка лесов на больших площадях ведет к уменьшению стока, поскольку это сопровождается сокращением выпадения осадков над прилегающими открытыми пространствами.

С. И. Костин считает, что над Усманским лесным массивом (Воронежская область) выпадает на 12 % осадков больше, чем в окружающей степи. Такие же закономерности, по указанному автору, характерны для Шипова леса (Воронежская область) и для Цнинского лесного массива (Тамбовская область).

По сообщению Шмальца [222], в равнинных местностях под влиянием леса осадки могут увеличиваться примерно на 6 %.

Многие зарубежные исследователи не находят причин, которые обуславливали бы дополнительное выпадение осадков над лесами [83, 123, 198, 212]. Вместе с тем высказывается предположение, что не леса являются причиной большего выпадения осадков, а, наоборот, лучшее увлажнение, обуславливаемое другими факторами, является причиной большего распространения лесов в том или ином регионе [83, 123].

Критический анализ данных по влиянию леса на выпадение осадков, полученных на смежных водосборах, провел А. И. Субботин [162]. Он отмечает, что эти данные не дают оснований для выводов об увеличении осадков над лесами. Эффект такого «влияния», по его мнению, во многом зависит от недоучета осадков на открытых местах в силу повышенной скорости ветра.

К сказанному следует добавить, что выводы об увеличении осадков, полученных на смежных лесных и полевых объектах [53, 54, 119, 120, 176], противоречат положениям тех исследователей, которые также пришли к выводу об увлажняющей роли лесов, но распространяют ее и на прилежащие открытые пространства [46, 62, 101, 102, 140, 141]. Следовательно, такие различия в осадках либо не имеют места, либо обуславливаются другими факторами, не учитываемыми при исследованиях.

Известно, что один из первых выводов о положительном влиянии лесов на осадки получен на примере Бузулукского бора (Е. П. Кнорре [66]). Это, пожалуй, наиболее удачный объект для подобных исследований. Он представлен крупным лесным массивом (около 100 тыс. га) на фоне окружающих безлесных пространств. Данные Кнорре вошли в литературу, на них неоднократно, в том числе и в последней монографии, ссылается Рахманов [141].

Критический анализ этих данных и выводов дал Рутковский [149], обстоятельно изучивший гидрологические условия и метеорологическую роль названного массива. Он отмечал, что из данных Кнорре с таким же успехом можно сделать вывод о том, что бор в теплое время года оказывает скорее отрицательное, чем положительное, влияние на выпадение осадков. Различия в твердых осадках Рутковский объясняет выдуванием снега из осадкомеров на открытых пространствах. Эта сторона вопроса обычно не рассматривается при ссылках на материалы исследований Кнорре. Они подаются как весомое доказательство увлажняющей роли лесов.

Серьезные критические замечания возникают и при знакомстве с данными Рахманова [137, 141], которые он использует для выводов о положительном влиянии лесов на увеличение количества осадков. Автор неоднократно оперирует значениями коэффициента корреляции r между осадками и лесистостью, не выходящими за пределы 0,44. В то же время из математической статистики [135] известно, что такое значение этого коэффициента фактически свидетельствует об очень слабой зависимости между коррелирующими признаками. Степень их «связанности» измеряется величиной, близкой к квадрату коэффициента корреляции, т. е. при $r=0,40 \dots 0,50$ только 16—25 % значений одной величины обуславливаются изменчивостью другой. По остальным членам ряда соотношение значений является чисто случайным. Более того, остается неясным, почему, публикуя материалы в 1984 г., автор ограничился только анализом материалов сетевых наблюдений за 1948—1950 гг. и не дополнил их данными наблюдений, продолжавшимися и в последующий более чем 30-летний период.

Можно сделать вывод, что необходимые научно обоснованные материалы, подтверждающие положительное влияние лесов на осадки, в настоящее время отсутствуют. Из этого следует, что положения об увлажняющей роли лесов, основывающиеся только на данных по увеличению обычных (вертикальных) осадков, нельзя считать доказанными. Учитывая сказанное, при сравнении лесных и полевых объектов мы исходим из одинакового количества осадков. Это, однако, не исключает возможности введения соответствующих поправок на измеренные осадки, если к этому появятся необходимые основания.

3.2. Конденсационные осадки

Конденсационные, или горизонтальные, осадки, к которым относится туманная капель, иней, изморозь, ожеледь и другие подобные явления, имеют существенное значение в водном балансе отдельных лесных насаждений.

Обобщив материалы отечественных и зарубежных исследователей по данному вопросу, Рахманов [140] отметил, что в горных

районах прибавка влаги за счет конденсационных осадков может достигать нескольких сотен миллиметров за год. В отдельных случаях количество влаги, получаемой лесами за счет конденсационных осадков, соизмеримо с ее поступлением в виде обычных, или вертикальных, осадков.

Для территории нашей страны существенная прибавка влаги за счет конденсационных осадков зарегистрирована в горах Дальнего Востока на верхней границе леса [165]. В елово-пихтовых лесах подгольцового пояса сумма этих осадков только за вегетационный период достигала 100—150 мм.

Шмальц [222] в обзоре, посвященном значению леса в круговороте воды, отмечает, что в горных районах Швейцарии с годовым количеством осадков около 1470 мм на долю конденсационных приходится 800 мм. Констатируется четкая зависимость количества конденсационных осадков от высоты над уровнем моря. На высоте 475—550 м доля их составляет 6—20 %, на высоте около 650 м достигает 30 %, а на верхней границе леса из 1850 мм измеренных осадков 1300 мм приходилось на конденсационные.

Обстоятельные исследования по влиянию лесов на выпадение конденсационных осадков выполнены в Чехословакии. По наблюдениям в Орлицких горах (Северо-Западная Чехия), в верхнем поясе горных лесов (выше 900 м над уровнем моря) еловые насаждения улавливают до 380 мм конденсационной влаги, что составляет около 30 % обычных осадков. Влага этих осадков имеет существенное значение не только для внутреннего влагооборота, но и для питания водных источников. В этой связи леса верхнего пояса отнесены к особой группе водообразующих, обоснованы мероприятия по усилению данной функции насаждений [216]. При прочих равных условиях поступление конденсационной влаги в большой мере зависит от структуры насаждений, которую предлагается регулировать хозяйственными мероприятиями. Факторами, наиболее существенно влияющими на конденсационные процессы, являются породный состав, возраст и густота насаждений. Так, в насаждениях бука прибавка конденсационной влаги не превышает 18—20 % выпадающих осадков, а в ельниках она достигает 30—32 %. Наибольшее поступление влаги имеет место в густых насаждениях (табл. 3.1).

Более поздние исследования [209] показали, что, сообразуясь с конденсационным эффектом, целесообразно выделять возрастные группы насаждений. Максимум конденсационных осадков образуется в 40—80-летних насаждениях; по мере старения и естественного изреживания фитоценозов конденсационный эффект их уменьшается (табл. 3.2).

Наибольшее значение в балансе лесных экосистем имеет конденсация влаги в периоды выпадения дождей. В этом случае обычные осадки, выпадая на увлажненный полог, практически не расходуются на задержание и, кроме того, часть конденсацион-

Таблица 3.1

Количество конденсационных осадков, поступающих в лесные насаждения в условиях Чехословакии в зависимости от их таксационной структуры, % обычных осадков [216]

Типы лесов	Годовая сумма обычных осадков, мм	Сомкнутость крон							
		1,0	0,9	0,8	0,7	1,0	0,9	0,8	0,7
		Возраст 1—30 лет				Возраст 31 год и более			
Буковые ельники и ельники	>1200	$\frac{15}{5}$	$\frac{14}{4}$	$\frac{13}{3}$	$\frac{11}{2}$	$\frac{32}{20}$	$\frac{29}{18}$	$\frac{26}{16}$	$\frac{23}{14}$
		$\frac{8}{3}$	$\frac{7}{2}$	$\frac{6}{1}$	$\frac{5}{—}$	$\frac{15}{11}$	$\frac{14}{10}$	$\frac{13}{9}$	$\frac{11}{8}$
Еловые бучины и буковые ельники	1200	$\frac{2}{1}$	$\frac{1}{—}$	$\frac{1}{—}$	$\frac{—}{—}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{2}{1}$	$\frac{1}{—}$	$\frac{—}{—}$
		$\frac{8}{3}$	$\frac{7}{2}$	$\frac{6}{1}$	$\frac{5}{—}$	$\frac{15}{11}$	$\frac{14}{10}$	$\frac{13}{9}$	$\frac{11}{8}$
Дубовые бучины	950	$\frac{2}{1}$	$\frac{1}{—}$	$\frac{1}{—}$	$\frac{—}{—}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{2}{1}$	$\frac{1}{—}$	$\frac{—}{—}$
		$\frac{2}{1}$	$\frac{1}{—}$	$\frac{1}{—}$	$\frac{—}{—}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{2}{1}$	$\frac{1}{—}$	$\frac{—}{—}$

Примечание. В числителе — данные для ели, в знаменателе — для бука.

Таблица 3.2

Образование конденсационных осадков в еловых насаждениях различного возраста в условиях Чехословакии [209]

Возраст, лет	0—20	21—40	41—60	61—80	81—100	101—120	121—140	141—160
Осадки, мм	28	145	250	234	185	143	110	100

ных осадков включается в почвенное звено влагооборота. Конденсационные осадки, образующиеся при отсутствии дождей, идут в основном на смачивание надземных органов растений и, испаряясь в атмосферу, почти не проникают в почву.

Согласно Кречмеру и Фойту [206], конденсационная влага не только компенсировала перехват кронами обычных осадков, но и обуславливала большее, чем на открытом месте (1,4%), поступление влаги в почву.

Таким образом, гидрологическое значение конденсационных осадков в конечном счете зависит от их соотношения с обычными осадками.

Конденсационные явления сказываются также на стоке влаги по стволам деревьев. На наветренных опушках последний оказался в 1,3—2,8 раза больше, чем внутри насаждений [206].

Еще более существенное значение конденсационных осадков в холодный период года. Обладая накопительным эффектом, эти осадки в виде изморози, инея, ожеледи практически во всех случаях выпадают под полог и включаются в почвенное звено влагооборота, в том числе и в процессы стока.

В равнинных лесах, особенно произрастающих в районах

с континентальным климатом, образуется несравнимо меньшее количество конденсационной влаги. Кречмер и Фойт (цит. по кн. [115]) считают, что на равнинах Чехословакии этот вид осадков не имеет практического значения. Несущественно их значение и в других районах. По подсчетам Г. Н. Высоцкого и Н. П. Кабранава (см. [104]), в средней полосе европейской части СССР только в годы или периоды с сильно выраженными явлениями инея и изморози может образовываться до 20—35 мм конденсационных осадков.

Количество влаги, поступающей под полог насаждений за счет инея и изморози, определялось нами по результатам раздельного учета осадков в лесу и на открытых участках для дней, когда конденсационных явлений не наблюдалось, и для периодов, когда эти явления имели место. Чтобы исключить различия, обусловливаемые выдуванием осадков из приборов, в анализ включались только дни, когда скорость ветра не превышала 4 м/с. Оказалось, что в среднем за 4 года наблюдений прибавка влаги в листовенном насаждении составила 16,2 мм, в елово-лиственном 16,4 мм и в еловом — 15,9 мм [18].

В теплый период поверхности почвы достигает еще меньше конденсационной влаги. Это связано как с малым количеством дней, когда конденсационные явления имеют место, так и со значительным испарением влаги с крон деревьев. Для летнего периода вычленив долю конденсационных осадков не представилось возможным как вследствие большего расходования их на испарение, так и в результате смешения с обычными осадками, в период выпадения которых конденсационные явления, как отмечалось выше, наиболее вероятны. Вместе с тем анализ задержания осадков по грациям их значений довольно определенно свидетельствует о наличии конденсационных явлений. Это прежде всего проявляется в малом задержании влаги при небольших дождях. Нередки случаи, когда после выпадения таких осадков под пологом леса, особенно из листовенных пород, приборы регистрировали даже больше (на 0,3—0,5 мм) влаги, чем на открытых местах [18, 104]. Это позволило нам принять дополнительное поступление влаги под полог лесных насаждений в теплый период года в объеме 10—15 мм [18].

В то же время в горных лесах Западного Саяна прибавка осадков, учитываемых подобным способом, в отдельные годы достигала 40 мм за вегетационный период [131].

Росообразование, судя по имеющимся данным [103], не имеет существенных различий в лесу и на безлесных пространствах. Поступление влаги за вегетационный период за счет росы, по-видимому, не превышает 10—12 мм. На горизонтальной поверхности за один случай выпадения росы образуется до 0,2—0,4 мм влаги. С учетом площади листьев эти значения могут достигать 2 мм за один случай [222].

Таким образом, в равнинных лесах континентальных районов конденсационные процессы не играют существенной роли во влагообороте насаждений. Влага, поступающая в леса в результате конденсации, в какой-то мере способствует улучшению влагообеспеченности растений, особенно в периоды засух. Конденсационные осадки зимнего периода могут включаться и в формирование стока, однако по абсолютному значению это влияние крайне незначительно и, вряд ли, существенно сказывается на гидрологической роли экосистем.

Следует при этом иметь в виду, что при гидрологических исследованиях, несмотря на отсутствие данных прямого определения конденсационной влаги, она обычно учитывается косвенным путем через транспирацию, запасы в почве, физическое испарение и находит отражение в воднобалансовых расчетах. Это, в частности, имело место и в наших исследованиях.

3.3. Задержание осадков пологом леса

Задержание осадков растительным покровом в зависимости от конкретных условий и решаемых задач может иметь взаимоисключающие оценки. В условиях избыточного увлажнения это явление рассматривается как положительный фактор, уменьшающий возможность заболачивания почв. Положительно перехват осадков можно оценивать и в горных районах, где велика опасность водной эрозии почв. В большинстве же случаев факторы и мероприятия, способствующие повышенному задержанию осадков, рассматриваются в числе отрицательных как для оценки гидрологической роли фитоценозов, так и для влагообеспеченности растений.

Из трех видов испарения в лесных фитоценозах — транспирации, подпологового и с поверхности увлажненных частей растений — последнее (задержание осадков пологом) имеет в ряде случаев максимальные или близкие к ним значения. В большом перехвате осадков пологом леса иногда видят причину высокого суммарного испарения этим типом растительного покрова, считая, что транспирация древесными и травянистыми фитоценозами различается в меньшей степени. В этой связи уменьшение стока при замене травянистых фитоценозов лесными связывают именно с этим элементом влагооборота [196, 197]. Поскольку задержание прямо не сказывается на физиологических процессах, с воздействием на него связывают один из реальных путей целенаправленного регулирования влагооборота фитоценозов. По этой же причине данному элементу водного баланса посвящено наибольшее количество исследований в лесах.

3.3.1. О методике учета осадков

Существенные погрешности в воднобалансовых расчетах связаны с недостаточной точностью учета осадков. Так, Субботин [163] отмечает, что недоучет жидких осадков на открытых местах составляет 20—25 %, а твердых достигает 50 % и более. Для повышения точности рекомендуются различные меры защиты осадкомеров от воздействия ветра.

Согласно Федорову [176], наиболее полно жидкие осадки улавливаются на полянах с углом закрытости горизонта у осадкомера 30—45°. Угол закрытости горизонта будет зависеть как от расстояния до стены леса (размера поляны), так и от высоты окружающего древостоя. Среди взрослого леса названным выше требованиям закрытости горизонта наиболее полно отвечают поляны с размером сторон 40—50 м. На таких полянах осадки улавливаются с погрешностью не более 3 %.

Для учета твердых осадков Федоров [176] рекомендует использовать поляны такого же размера, как и для учета жидких осадков. Вместе с тем в качестве эталонных, или индикаторных, участков для учета твердых осадков можно использовать лиственные насаждения, задерживающие на кронах только 2—3 % снега [25, 71, 75, 159]. В отдельные годы запасы воды в снеге под лиственным лесом были даже несколько выше, чем на полянах, что мы связываем с конденсационными явлениями [18]. Сведения о том, что лиственные леса перехватывают до 15—20 % твердых осадков [151], нам представляются явно ошибочными.

Наряду с осадкомерами, размещающимися на лесных полянах, близкие к истинным количества осадков улавливают приборы с двойной заборной защитой, устанавливаемые на открытых площадях [163]. Такие приборы рекомендуется размещать на высоте 3,5 м при ограждении двумя продуваемыми концентрическими оградами диаметром 2 и 6 м. В среднем за год осадкомер с указанной защитой улавливал на 17 % осадков больше, чем стандартный осадкомер с защитой Третьякова. Осадкомеры, установленные на полянах, дали прибавку осадков за это же время 18 и 21 % соответственно [163].

Существенные недостатки присущи и снегомерной съемке. Е. С. Змиева и А. И. Субботин [52, 163] показали, что недоучет запасов воды в снежном покрове с помощью применяемого для этой цели снегомера может достигать 30 % и более. Основной причиной таких погрешностей является недобор снега цилиндром прибора. Погрешности зависят так же от погодных условий, структуры снежного покрова, степени шероховатости рабочей поверхности цилиндра снегомера и других факторов.

Имеются мнения, что при учете зимних осадков методом снегосъемок в лесу получаются завышенные значения, поскольку не вводится поправка на площадь, занятую стволами деревьев [65].

Таблица 3.3

Суммы площадей сечения стволов деревьев в лесных насаждениях I класса бонитета, м²/га [169]

Порода	Возраст насаждений, лет											
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Сосна	22	30	35	39	42	43	45	46	47	47	48	48
Ель	17	27	36	43	49	53	55	58	59	61	62	
Береза	17	21	25	27	29	30	31	32	32			
Осина	20	24	28	32	34	36	38	39	39			
Дуб	16	20	24	26	29	31	32	33	34	35	36	37
Бук		21	28	32	34	35	36	37	37	37	38	38

Такие явления, действительно, имеют место, однако погрешности, обусловливаемые «стволовым эффектом», незначительны. Из данных табл. 3.3 видно, что даже в самых высокопродуктивных насаждениях площадь сечения стволов на высоте 1,3 м не превышает 60—61 м² на 1 га. В насаждениях, менее продуктивных, представленных II—V классами бонитета, площади сечения уменьшаются в среднем на 10 % при снижении на один класс бонитета.

Из справочника [169] следует, что у поверхности почвы площади сечений примерно на 20 % больше при среднем диаметре стволов в насаждениях около 20 см и на 30—35 % при среднем диаметре более 20 см. В среднем с учетом указанных поправок стволы наиболее продуктивных насаждений (I класс бонитета в возрасте 80—120 лет) занимают не более 1 % площади насаждения, в более молодых насаждениях, как и в древостоях более низкой продуктивности, эта площадь близка к 0,5 %.

3.3.2. Общие закономерности задержания осадков

Важнейшие закономерности перераспределения осадков в пологе леса были выявлены к началу XX столетия исследованиями Эбермайера, Гоппе, Н. С. Нестерова, С. Д. Охлябинина и др. Основные результаты их обобщены в классическом труде Г. Ф. Морозова «Учение о лесе» [109]. В многочисленных более поздних работах эти выводы дополнялись и конкретизировались применительно к региональным условиям или особенностям строения насаждений, предпринимались неоднократные попытки моделирования процессов задержания осадков насаждениями в зависимости от отдельных параметров древостоев. Интересные данные получены также по перехвату осадков пологом в районах с конденсационными явлениями, выявлены основные закономерности стока задержанных кронами осадков по стволам отдельных древесных

пород. Все эти вопросы довольно подробно рассмотрены в сводных работах Молчанова [103—105], Рахманова [140, 141] и др. В этой связи остановимся лишь на некоторых положениях, имеющих существенное значение для учета различных видов осадков и дифференцированной оценки гидрологической роли фитоценозов.

Задержание осадков растительным покровом и последующее их испарение находятся в прямой зависимости от размеров и свойств поверхности смачивания. Интересны в этом отношении данные получил Субботин [160] при искусственном дождевании отдельных видов растений или их частей. Оказалось, что листья морщинистые или покрытые волосками перехватывают существенно больше влаги, чем листья, имеющие гладкую поверхность либо покрытые восковым налетом. Так, 1 кг листьев черемухи, березы и осины задерживает 0,70—0,98 г воды, листья (хвоя) ели, сосны, бузины 0,4—0,5 г, а листья травянистых растений — не более 0,3—0,4 г воды на 1 кг массы.

Максимальное количество влаги расходуется на удельное смачивание одревесневших частей растений (сучья, стволы). По данным В. И. Лохова [85], единица поверхности ствола задерживает в 3—5 раз больше влаги, чем равновеликая поверхность листьев или хвои. При прочих равных условиях задержание несколько выше при прохладной погоде в силу более значительной вязкости воды и образуемой ею пленки смачивания, но при продолжительных дождях задержание выше при теплой погоде вследствие более интенсивного расходования влаги на испарение.

Основная часть полога лесных фитоценозов представлена ассимиляционным аппаратом (листья, хвоя), поверхность которого в 10—15 раз и более превышает площадь, занимаемую самим фитоценозом. Одревесневшие органы составляют небольшую долю поверхности деревьев. Согласно данным, приводимым Рахмановым [140], у 76-летней пихты на ствол и ветви, составляющие 84,8 % массы дерева, приходится лишь 4,3 % поверхности, тогда как доля поверхности хвои достигает 83,1 %. У лиственных пород на одревесневшие части приходится несколько больший процент поверхности, однако и здесь они играют подчиненную роль в перехвате осадков.

Расход осадков на разовое увлажнение полога называют емкостью задержания. Эта константа для хвойных насаждений (ель, пихта) чаще всего лежит в пределах 2—4 мм, для лиственных пород (бук, береза, осина) ее значения равны 1—3 мм. Только в отдельных случаях емкость задержания может, по-видимому, достигать 6—8 мм в хвойных и 4—5 мм в лиственных насаждениях [18, 123, 176, 191, 192, 202].

Травянистые фитоценозы характеризуются заметно меньшей емкостью задержания. Согласно Субботину [160], на разовое смачивание травянистой массы высокопродуктивного луга, поверх-

ность листьев которого в 22 раза превышала занимаемую им площадь, расходовалось только 0,68 мм влаги.

Существенно отличающиеся от приведенных выше значения емкости задержания приводит А. Ф. Поляков [130]. Ссылаясь на О. В. Чубатого [180], он отмечает, что в условиях Карпат еловые леса задерживают до 10 мм осадков, а сложные елово-пихтово-буковые насаждения — и до 12 мм. Нам представляются эти значения завышенными. Они, по-видимому, взяты без поправок на сток по стволам, который, по данным Чубатого [180], достигает 10—12 % осадков большой силы, что составляет 4—6 мм на один дождь.

Кроме размеров поверхности смачивания важным фактором задержания осадков является периодичность увлажнения, обусловливаемая частотой выпадения осадков. При выпадении осадков на поверхность, увлажненную предыдущими осадками, этот фактор может заметно сказываться на конечных результатах.

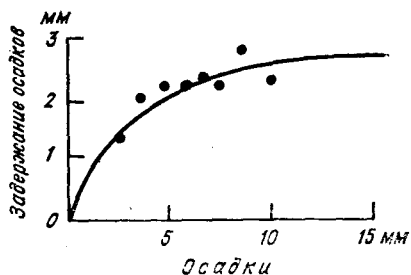
При продолжительных дождях, особенно выпадающих с перерывами, задержание в какой-то мере превышает разовые предельные значения. Отмечается, что эвкалиптовые насаждения в условиях Австралии при перемежающихся кратковременных дождях задерживали пологом на 5—10 % осадков больше, чем при осадках, которые не имели перерывов в выпадении [220]. При малых осадках смачивается только часть полога и перехват их не достигает емкости задержания. Если осадки существенно превышают емкость задержания и обеспечивают полное увлажнение полога, константа влагозадержания может использоваться без существенных поправок.

Различия перехвата влаги растениями в большой мере зависят также от силы, продолжительности и интенсивности осадков, их распределения по грациям значений.

Поскольку все перечисленные факторы отличаются большой динамичностью, сравнение материалов, полученных на разобщенных по территории либо по времени объектах, не всегда возможно, а в ряде случаев теряет смысл. По этой же причине уравнивания, описывающие этот процесс, удовлетворительно воспроизводят только те значения, которые явились исходными для их составления.

Более интересны и обнадеживающи в этом отношении расчетные методы, в которых учитываются емкость задержания осадков, градации их значений, а также таксационные параметры насаждений (породный состав, возраст, продуктивность, густота и т. п.). Такой комплексный подход к определению перехвата осадков пологом леса, на наш взгляд, удачно использовал в своих исследованиях Беле [190] применительно к еловым насаждениям Чехословакии. Изучив в 1964—1972 гг. задержание летних осадков 90-летним еловым насаждением IV класса бонитета, автор осреднил эти данные графически (рис. 3.1) и выявил перехват осадков при-

Рис. 3.1. Зависимость задержания дождевых осадков сомкнутым пологом 90-летнего елового леса от их количества [190].



менительно к конкретным градациям осадков (табл. 3.4). Приняв за основной фактор задержания осадков запасы зеленой массы и мелких ветвей, автор далее ввел поправки (коэффициенты) на данный показатель, исходя из таксационных таблиц, составленных по классам бонитетов и возрастам насаждений. Эти коэффициенты

Таблица 3.4

Перехват жидких осадков кронами сомкнутого 90-летнего елового насаждения IV класса бонитета в условиях Чехословакии (осредненные данные) [190]

Градация разового слоя осадков, мм	Перехват осадков кронами		Градация разового слоя осадков, мм	Перехват осадков кронами	
	мм	%		мм	%
0—0,5	0,25	100	13,1—15,0	2,68	19
1,1—2,0	1,10	73	20,1—25,0	2,70	12
3,1—4,0	1,85	53	30,1—40,0	2,70	8
4,1—5,0	2,07	46	50,1—70,0	2,70	5
7,1—7,0	2,30	38	70,1—90,0	2,70	3
9,1—11,0	2,60	26			

Таблица 3.5

Поправочные коэффициенты к базовому (90 лет, IV класс бонитета) насаждению для расчета перехвата осадков кронами еловых насаждений в зависимости от их возраста и класса бонитета [190]

Возраст, лет	Класс бонитета				
	I	II	III	IV	V
10	0,52	0,37	0,30	0,27	0,22
20	1,19	0,89	0,72	0,60	0,48
40	1,54	1,45	1,33	1,16	1,00
60	1,31	1,27	1,22	1,18	1,13
80	1,19	1,13	1,09	1,03	0,98
90	1,21	1,13	1,06	1,00	0,94
100	1,25	1,13	1,06	1,00	0,92
120	1,31	1,14	1,07	0,98	0,88

в пределах всех насаждений от I до V классов бонитета и от 10- до 120-летнего возраста имеют значения от 0,22 до 1,55 (табл. 3.5). Используя далее результаты учета осадков на полевых метеостанциях (по градациям значений), автор рассчитал задержание их пологом как базового (IV класс бонитета, возраст 90—100 лет), так и других еловых насаждений, произрастающих на различных высотных отметках. При наличии исходных данных такие расчеты могут быть выполнены подобным методом и для других древесных пород. Целесообразно вводить также поправки на прочие таксационные параметры насаждений (сомкнутость крон, ярусное строение) применительно к решаемым задачам и конкретным условиям.

3.4. Влияние структуры насаждений на задержание осадков

3.4.1. Породный состав насаждений

Породный состав является одним из важнейших элементов структуры насаждений, обуславливающих различия проникновения осадков под их полог. С регулированием породного состава лесов нередко связывают основные возможности увеличения выхода воды с лесных водосборов.

А. А. Молчанов [104], обобщив литературные данные и материалы собственных исследований, пришел к выводу, что еловые леса задерживают 37—46 %, сосновые 24—27 %, березовые 24 % и дубовые 22 % общей суммы годовых осадков. По Лархеру [79], полог хвойных лесов в среднем задерживает около 30 % осадков, лиственные леса умеренной зоны — 20 %, а густые тропические леса — до 35—70 % выпадающих осадков. Сельскохозяйственные угодья, согласно Лархеру, задерживают около 10 % осадков. В. В. Рахманов [140] приводит средние значения задержания для всех лесов, полученные Стевартом. Эта величина составляет около $\frac{1}{3}$ годовой суммы осадков. При этом в хвойных лесах полог перехватывает 25—40 %, а в лиственных 15—25 % выпадающих осадков. Смешанные насаждения занимают промежуточное положение.

Интересны данные О. И. Крестовского [71], обобщившего как результаты собственных наблюдений, так и многочисленные литературные материалы. На этой основе им сделана попытка смоделировать задержание осадков пологом насаждений, формирующихся на вырубках во всем возрастном спектре (до возраста рубки). Расчеты произведены применительно к южной и средней тайге. Воспроизведем часть этих данных для случаев, когда возобновление идет с преобладанием в составе хвойных пород (ель, сосна) на всех возрастных стадиях (табл. 3.6). Максимум задер-

Таблица 3.6

Задержание осадков пологом насаждений в зависимости от их возраста и состава при полноте древостоя 0,7 [71]

Показатель	Возраст леса, число лет после рубки										
	5	10	20	30	40	50	60	80	100	120	140
Доля участия хвойных пород в составе, %		80	70	70	75	75	75	75	70	70	70
Задержание осадков:											
мм	40	50	100	150	200	225	190	165	140	125	125
%	6	7	14	20	28	30	27	23	19	17	17

жания осадков в этих случаях приходится на 40—60-летний возраст и достигает 30 % годовой суммы. Для насаждения среднего возраста с примерно равным участием сосны и ели в составе такие значения, пожалуй, близки к реальным, но несколько занижены для спелого возраста и возраста чащи (20—30 лет).

Обобщающие значения задержания осадков содержатся и в других работах [115, 123, 141], однако такие осредненные данные мало о чем говорят, так как аккумулируют в себе результаты наблюдений из различных мест произрастания и географических районов, где различия экологических факторов могут перекрывать влияние породного состава и других элементов структуры фитоценозов.

В этом отношении несравнимо интереснее материалы наблюдений на парных объектах в сходных экологических условиях. Некоторые из таких данных, полученные в основном в горных лесах, приводятся в табл. 3.7. Отмечается, что темнохвойные (еловые) леса перехватывают в 1,5—2 раза [180, 194] и даже в 2,5—3 раза [123, 202] осадков больше, чем лиственные (буковые, березовые, осиновые, дубовые). Значительными, хотя и заметно меньшими, являются соотношения в перехвате осадков хвойными и лиственными насаждениями в летний период. Согласно Гоппе (по [109]), на кронах елового леса задерживался 41 % летних осадков, а в буковом лесу перехват осадков составлял 20 %. Значения такого же порядка приводятся и другими исследователями [95, 180].

Колебания задержания осадков однопородными насаждениями в горных условиях в значительной мере связаны, вероятно, с разным высотным положением объектов наблюдений и соответствующими им различиями в количестве как обычных, так и конденсационных осадков. В равнинных условиях колебания в перехвате осадков выражены в несколько меньшей степени и обуславливаются в основном погодными условиями отдельных лет либо струк-

Таблица 3.7

Задержание осадков пологом лесных насаждений различного состава по исследованиям в сходных условиях

Насаждение	Район	Вид осадков	Задержка- ние, %	Период наблде- ний, годы	Автор
Еловое	Западная Европа	Зимние Летние Годовые	20 31 26	1951—1955	Эйдман (по Пенману [123])
Буковое	То же	Зимние Летние Годовые	4 11 8	1951—1955	То же
Сосновое	Киргизия, Тянь-Шань	Летние	34	1962—1964	П. Н. Мат- веев, [95]
Лиственничное	То же	»	31	1962—1964	То же
Березовое	»	»	21	1962—1964	»
Еловое	Карпаты	»	36,5	1962—1967	О. В. Чуба- тый [180]
Буковое	»	»	22,5	1962—1967	То же
Елово-пих- товое	Франция	»	50,2—60,2	1973—1975	Форгерд (по В. В. Рахма- нову [140])
Буковое	»	»	18,2—35,4	1976—1977	То же
Еловое	Чехослова- кия	Годовые	15,6	1977—1979	Кантор [202]
Буковое	То же	»	5,2	1977—1979	То же
Еловое	Болгария	Годовые	39,7	1980—1981	Раев [221]
Сосновое	»	»	29,8	1980—1981	То же
Еловое	Западная Европа	»	28	1969	Бенецке, Плоег [194]
Буковое	То же	»	19	1969	То же
Еловое	Карпаты	»	45,2	1968—1972	В. Н. Дьяков [47]
Буковое	»	»	16,5	1968—1972	То же
Елово-буко- вое	»	»	24,8	1968—1972	»
Еловое	Новгород- ская область РСФСР	»	24—27	1956—1969	С. Ф. Федо- ров [176]
Березово- осиновое	То же	Летние Зимние	30 18	1969—1971	То же
Еловое	Ярослав- ская область РСФСР	»	27	1963—1967	В. В. Оси- пов [119]
Березовое	То же	»	13—15		То же
Еловое	Белоруссия	»	45—57	—	Н. И. Костю- кевич [70]
Сосновое	»	»	25—37		То же
Березово- осиновое	»	»	22—31		»
Еловое	»	Зимние	33		»
Березово- осиновое	»	»	14		»
Еловое	Вологод- ская область РСФСР	Летние Зимние	27—31 25—32	1955—1958	В. В. Прото- попов [131]

Таблица 3.8

Задержание годовых атмосферных осадков кронами лесных насаждений различного породного состава

Истринский опорный пункт, ЭП-1—ЭП-3 (см. табл. 2.1, 2.2)

Год	Выпало осадков, мм	Задержано осадков кронами леса							
		лиственного		смешанного		елового		превышение (мм) в еловом лесу относительно	
		мм	%	мм	%	мм	%	смешанного	лиственного
1962	740	107	14	184	25	275	37	91	168
1963	527	70	13	108	20	199	43	91	129
1964	441	52	12	92	21	205	46	113	153
1965	665	79	12	114	17	254	34	140	175
1966	757	107	14	124	16	254	34	130	147
1967	498	42	8	59	12	174	35	115	132
1968	596	75	13	98	16	234	39	136	159
1969	601	78	13	77	13	233	39	156	155
1970	691	73	11	127	18	246	36	119	173
1971	693	95	14	103	15	267	39	164	172
1972	449	80	18	92	20	169	38	77	89
1973	788	105	13	119	15	304	39	185	199
1974	602	94	16	142	24	249	41	107	155
1975	575	46	8	79	14	228	40	149	182
1962—1975	616	79	13	109	18	235	39	126	156

турой самих насаждений и прежде всего степенью сомкнутости крон и продуктивностью леса, сведения по которым не всегда сообщались.

К сожалению, при общем большом количестве исследований по задержанию жидких осадков на парных объектах районов европейской части СССР такие наблюдения крайне ограничены. Широко вошедшие в литературу материалы А. А. Лучшева получены в разных географических районах (сравниваются хвойные насаждения Московской области и лиственные (дубовые) Воронежской области). В исследованиях Эбермейера использовался лишь один осадкомер на насаждение. А. А. Молчанов [104] задержание осадков хвойными породами изучал в Московской области, а лиственными (дуб, ясень) в Воронежской. С. Ф. Федоров [176] характеризует годовые задержания только по еловому лесу полнотой 0,7 в возрасте 80 лет. По одному из лиственных лесов (береза, осина) 20-летнего возраста полнотой 1,0 данные у него имеются лишь для теплого периода года (27%). Если, однако, задержание зимних осадков этим древостоем принять равным нулю, то годовой перехват составит примерно 15—17%.

Таким образом, к тому моменту, когда автор обобщал материалы наблюдений Истринского опорного пункта [24], в литературе практически отсутствовали данные параллельных наблюдений

Таблица 3.9

Задержание жидких атмосферных осадков кронами лесных насаждений различного породного состава

Истринский опорный пункт, ЭП-1—ЭП-3 (см. табл. 2.1, 2.2)

Год	Выпало осадков, мм	Задержано осадков кронами леса							
		лиственного		смешанного		елового		превышение (мм) в еловом лесу относительно	
		мм	%	мм	%	мм	%	смешанного	лиственного
1962	497	103	21	147	30	222	45	75	119
1963	333	55	17	90	27	163	49	73	108
1964	268	53	20	70	26	159	59	89	106
1965	447	56	13	65	15	164	37	99	108
1966	482	118	25	86	18	181	38	95	63
1967	297	38	13	46	16	127	43	81	86
1968	346	59	17	66	19	144	42	78	85
1969	348	62	18	28	8	155	45	127	93
1970	361	63	17	57	18	146	40	89	83
1971	490	97	20	78	16	193	39	115	96
1972	266	71	27	44	17	95	37	51	24
1973	500	62	12	57	11	196	39	139	134
1974	399	85	21	103	26	163	41	60	78
1975	391	38	10	46	12	164	42	118	126
1962—1975	387	69	18	70	18	155	43	85	86

ний по задержанию осадков хвойными и лиственными насаждениями. Материалы по указанному пункту [25] показали, что в среднем за 13 лет в еловом лесу (возраст 90 лет, класс бонитета I, полнота 0,8) годовой перехват составил 38 %, в лиственном в таких же условиях — 13 % и в смешанном — 18 %, (для обоих возрастов 50—60 лет, бонитет I, полнота 0,7—0,8). Эти результаты практически повторяются и по 14-летним параллельным наблюдениям (табл. 3.8). В абсолютном выражении (по 14-летним наблюдениям) при средней годовой сумме осадков 616 мм на задержание их кронами расходовалось 79 мм в год в лиственном, 109 мм в смешанном и 235 мм в еловом насаждении. По отдельным годам различия в задержании годовых осадков составляли 8—18 % (42—107 мм) в лиственном насаждении, 14—25 %, (59—184 мм) в смешанном и 34—46 % (169—304 мм) в еловом.

Задержание жидких осадков за тот же 14-летний период составило: в лиственном насаждении 18 % (колебания по годам 10—27 %), в смешанном — также 18 % (колебания по годам несколько иные — 8—30 %) и в еловом 43 % (колебания по годам 37—59 %) (табл. 3.9). В абсолютном выражении кроны лиственного и смешанного лесов задержали и испарили в среднем 70 мм жидких осадков (колебания по годам от 28 до 147 мм), в еловом лесу испарение составило 155 мм (колебания по годам от 95 до 222 мм).

3.4.2. Возраст насаждений

Задержание осадков в зависимости от возраста насаждений изучено в основном на примере жидких осадков. Согласно Молчанову [103, 104], проникновение осадков сквозь полог хвойных древостоев различного возраста описывается вогнутой кривой, наиболее низкие точки которой смещены влево — в сторону более молодого возраста. Эта кривая применительно к сосновым насаждениям имеет вид, представленный на рис. 3.2. Следует, однако, отметить, что в отношении отдельных насаждений наблюдаются существенные отклонения от отмеченной выше закономерности.

О. И. Крестовский [71] получил тесную зависимость задержания осадков пологом леса от его фитомассы (рис. 3.3). Показательно, что на единицу массы листвы (хвои) задержание хвойными и лиственными насаждениями различается несущественно.

А. П. Андрущенко [5], проводивший исследования в лесостепных районах Харьковской области, пришел, однако, к выводу, что в сосняках 25, 49, 79- и 99-летнего возраста не отмечается различий в задержании осадков пологом. Такое явление он объясняет тем, что по мере роста насаждений у них наряду с процессом

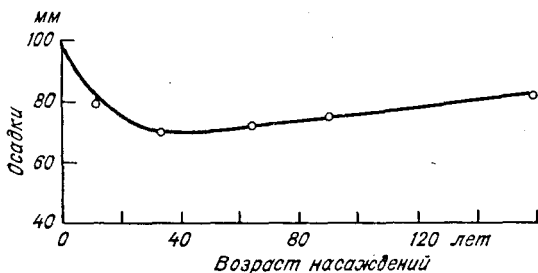


Рис. 3.2. Зависимость проникновения дождевых осадков под полог сомкнутых сосновых насаждений от их возраста [103].

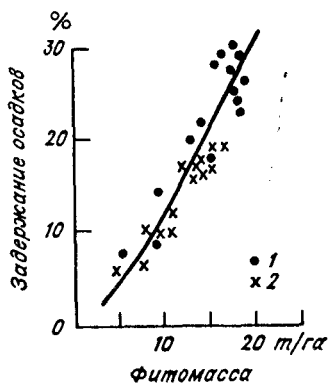
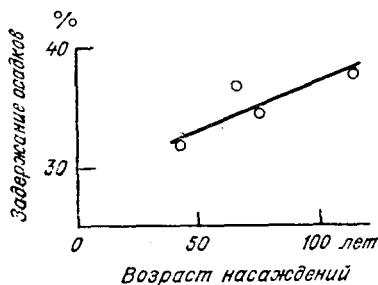


Рис. 3.3. Зависимость задержания осадков (% годовой суммы) насаждениями с преобладанием хвойных (1) и лиственных (2) пород от их фитомассы (для сырого вещества) [74].

Рис. 3.4. Зависимость задержания дождевых осадков (% годовой суммы) пологом елового леса от возраста насаждений [205].



уменьшения ассимиляционной массы идет увеличение общей надземной массы, что в конечном счете балансирует процессы задержания осадков.

Исследованиями, выполненными в ФРГ [196], показано, что максимум (36 %) задержания осадков еловыми насаждениями отмечается в спелом возрасте, жердняки перехватывают 28 %, а молодняки естественного происхождения — только 11 % выпадающих осадков.

В насаждениях дугласии (Франция) задержание осадков пологом интенсивно увеличивалось до возраста 15 лет и медленно повышалось в последующем (до 50 лет). В буковых лесах задержание возрастало более медленно, составляя в 30 лет 15 % и в 100 лет 20—25 % [188]. Темнохвойные насаждения (еловые, кедровые, пихтовые) характеризуются в молодом возрасте замедленным ростом. Кроме того, в силу теневыносливости, у них наряду с увеличением сомкнутости полога с возрастом наблюдается и постепенное увеличение глубины полога. По этой причине способность насаждений к максимальному задержанию осадков кронами этих насаждений проявляется к 40—60 годам [190, 204]. В то же время Кречмер и Фойт [207], проводившие исследования в горных лесах Чехословакии, отмечают, что только насаждения, выращиваемые без ухода, задерживают максимум осадков (до 44,2 %) в 20—60-летнем возрасте. При периодическом изреживании насаждений рубками ухода пик максимального задержания осадков снижается и перемещается на более поздний (100—110-летний) возраст (рис. 3.4).

Из данных табл. 3.10 видно, что на кронах 20-летних сосновых насаждений задерживалось 41—43 % осадков, а на кронах еловых насаждений 35—38 % осадков теплого периода года. Причины такого явления связаны с особенностью роста сравниваемых пород в молодом возрасте. Деревья сосны как быстрорастущей породы имели к моменту исследований в 1,5—2 раза большие размеры, чем ели (средний диаметр деревьев в сосняках равнялся 10—11 см, средняя высота 9—10 м при запасе стволовой древесины 140—150 м³ на 1 га; в еловых насаждениях эти показатели соответственно равнялись 4—5 см, 7—8 м и 60—80 м³/га).

Таблица 3.10

Задержание жидких осадков кронами молодых насаждений различного состава Загорский лесхоз

№ ГП	Насаждение	Происхождение	Сомкнутость крон	Возраст, лет	Осадки			
					выпало, мм	проникло под полог, мм	задержано кронами	
							мм	%
1978 г.								
6к	Еловое	Культурное	1,0	20	532	331	201	38
4	»	»	0,9	20	532	348	184	35
5	Сосновое	»	0,9	20	532	304	228	43
7к	»	»	0,9	20	532	315	217	41
3к	Березовое	Естественное	0,9	20	532	415	117	22
1979								
6к	Еловое	Культурное	1,0	21	245	138	107	44
4	»	»	0,9	21	245	147	98	40
1	»	Естественное	0,9	60	245	149	96	39
3к	Березовое	»	0,9	21	245	189	56	23
2	Березовое с осиной	»	0,9	30	245	182	63	26

Насаждения из лиственных пород отличаются специфическими особенностями возрастной динамики задержания осадков пологом. К таким особенностям относится более раннее смыкание крон и менее выраженная динамичность задержания осадков во всем возрастном спектре. В среднем за счет различий в задержании осадков кронами под полог сосновых молодняков за вегетационный период поступило на 25—30 мм осадков меньше, чем под полог еловых молодняков такого же возраста. Превышение в поступлении осадков под полог лиственных насаждений молодого возраста по сравнению с хвойными (сосновыми) составило 50 мм за тот же период наблюдений.

3.4.3. Густота насаждений

Обычно наблюдается близкая к прямо пропорциональной зависимость между задержанием осадков и густотой насаждений. Такая зависимость отмечена в исследованиях Молчанова [104]. По его данным, в сформировавшихся сосновых насаждениях при увеличении полноты на 0,1 задержание осадков кронами увеличивается примерно на 3%. В этой связи в интервале сомкнутости крон от 0,1 до 1,0 задержание жидких осадков сосняками возрастает примерно с 3 до 30%.

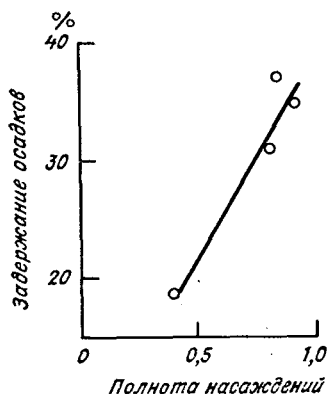


Рис. 3.5. Зависимость задержания дождевых осадков от полноты спелых еловых насаждений [205].

В еловых насаждениях задержание осадков на единицу полноты насаждений несколько выше. В горных лесах Чехословакии оно составило 3,5—4 % на каждые 0,1 полноты насаждений [207] (рис. 3.5). С. Ф. Федоров [176] вместе с тем не нашел существенных различий задержания осадков 80—90-летними еловыми насаждениями с сомкнутостью крон 0,7 и 0,4. В первом случае полог перехватывал 32 % осадков, во втором — 28 %.

В наших опытах при изреживании 20-летних культур ели (густота в период создания 10 тыс. растений на 1 га) вырубкой каждого второго ряда задержание жидких осадков уменьшилось с 37,7 до 12 % (табл. 3.11). Это обусловило дополнительное поступление под полог за вегетационный период 79 мм осадков. В культурах сосны при таком же изреживании задержание осадков за вегетационный период уменьшилось с 37,4 до 25 %, а поступление влаги под полог изреженных насаждений увеличилось на 38 мм.

Равномерное (25 %) изреживание 20-летнего березового насаждения не привело к заметному уменьшению задержания осадков кронами, оно ограничивалось всего лишь долями процента (табл. 3.11).

Менее заметное уменьшение перехвата осадков кронами изреженного соснового насаждения по сравнению с ельником, надо полагать, связано с различиями размеров деревьев в этих культурах. Деревья сосны, как отмечалось выше, существенно превышали размеры деревьев ели практически по всем параметрам, несмотря на сходный возраст.

Некоторые различия в задержании осадков кронами зависят также от продуктивности насаждений. Высокопродуктивные насаждения задерживают больше влаги как в результате более раннего смыкания крон, так и по причине содержания больших запасов органической массы. Однако в литературе пока нет данных, свидетельствующих о закономерностях этих процессов.

Таблица 3.11

Влияние изреживания насаждений березы, ели и сосны на задержание жидких осадков кронами
Загорский лесхоз

№ ГП	Год	Насаждение	Происхождение	Сомкнутость крон	Возраст, лет	Выпало осадков, мм	Задержано осадков кронами	
							мм	%
3к	1978	Березовое (контроль)	Естественное	0,9	20	340	72	21
	1979	То же	То же	0,9	21	245	56	21
3р	Среднее	»	»	0,9	20	292	64	21
	1978	Березовое (опыт)	»	0,7	20	340	71	21
6к	1979	То же	»	0,7	21	245	52	21
	Среднее	»	»	0,7	20	292	61	21
6р	1978	Еловое (контроль)	Культурное	1,0	20	340	107	32
	1979	То же	»	1,0	21	245	107	44
7к	Среднее	»	»	1,0	20	292	107	38
	1978	Еловое (опыт)	»	0,5	20	340	20	8
7р	1979	То же	»	0,5	21	245	37	16
	Среднее	»	»	0,5	20	292	28	12
7к	1978	Сосновое (контроль)	»	0,9	21	340	140	41
	1979	То же	»	0,9	22	245	82	34
7р	Среднее	»	»	0,9	21	292	111	38
	1978	Сосновое (опыт)	»	0,4	21	340	85	25
7р	1979	То же	»	0,4	22	245	62	25
	Среднее	»	»	0,4	21	292	73	25

Существенно различается задержание осадков кронами в отдельных географических районах. На примере сосновых насаждений показано, что на юге и юго-востоке страны, где насаждения характеризуются ускоренным ростом в молодом возрасте и укороченным жизненным циклом, максимальная плотность полога и задержание осадков наблюдаются к 10—12 годам, а затем довольно интенсивно уменьшаются в связи с изреживанием фитоценозов в соответствии с недостатком влаги [19]. Вообще же для южных, как и для крайних северных районов, характерно меньшее задержание осадков, что связано с редкостью этих фитоценозов.

В целом густоту (сомкнутость крон) можно рассматривать как важный фактор гидрологической роли насаждений. Кроме влияния на перераспределение осадков она существенно сказывается на их дальнейшей судьбе, связанной с испарением. Эти вопросы будут рассмотрены ниже.

3.5. Сток осадков по стволам деревьев

Некоторая часть осадков, задерживаемых кронами, в дальнейшем стекает по стволам деревьев и включается в почвенное звено влагооборота. При гидрологических исследованиях данный элемент влагооборота обычно не учитывается и поэтому относится на задержание осадков кронами. Это в какой-то мере сказывается на точности воднобалансовых расчетов, что и обуславливает необходимость рассмотрения имеющихся данных по стоку по стволам.

Сток по стволам наиболее существенно зависит от породного состава насаждений. Кроме этого, он различается в зависимости от погодных условий, силы и интенсивности дождей, возраста и густоты насаждений, а также других факторов. В районах с большим количеством конденсационных осадков сток по стволам существенно выше, чем в условиях, где такие осадки не играют заметной роли в водном балансе фитоценозов.

К настоящему времени выполнено значительное количество наблюдений за стоком по стволам основных лесообразующих пород в горных и равнинных районах [29, 104, 115, 120, 131, 176, 190, 193, 203, 206, 209, 213]. Эти материалы показывают, что сток по стволам хвойных пород незначителен и не выходит, как правило, за пределы 1%. Среди лиственных пород сток по стволам наибольший у бука. Значения его порядка 12—15% выпавших осадков являются довольно обычными. Сток по стволам других лиственных пород (береза, осина, дуб) находится в пределах 3—5%.

Отклонения стока от приведенных выше наиболее типичных значений связаны, как правило, либо с погрешностями методического порядка, либо с выполнением исследований в специфических условиях. Так, высокие значения стока, приводимые Молчановым [104], надо рассматривать как экстремальные, поскольку они сопоставлены только с дождями максимальной силы (от 20 до 60 мм).

Осредненные значения стока по стволам приводят С. Недялков и И. Раев [115] (табл. 3.12). Эти данные, на наш взгляд, отражают общий порядок значений, характерный для этого показателя применительно к отдельным древесным породам. Применительно к равнинным условиям несколько завышены значения стока для хвойных пород (они обычно не превышают 1%) и для осины, у которой, судя по имеющимся данным, он не должен превышать значений, характерных для дуба и березы (2—4%).

Измеренные нами значения стока по стволам [29] оказались близки к приводимым в литературе. По отношению к сумме осадков, выпавших за период наблюдений, включая и осадки, не вызывавшие стока, он составил 3,5% для березы, 1,3% для осины и 0,07% для ели. Дополнительное поступление влаги за счет стока по стволам в отдельные годы составляло для березовых насаждений 6,3—14,8 мм, для осиновых 0,8—5,2 мм и для еловых — только 0,3—0,7 мм. Следует, однако, отметить, что такой мизерный объем

Таблица 3.12

Осредненные значения стока осадков по стволам деревьев различных древесных пород [115]

Порода	Сток, % осадков			Число использованных литературных источников
	минимум	максимум	среднее	
Ель	0,02	3,0	1,1	14
Сосна	0,05	3,5	1,3	8
Бук	4,5	15,0	10,7	5
Дуб	0,2	5,7	2,3	5
Береза	3,0	4,2	3,6	2
Оси́на	4,7	12,0	8,3	2

влаги в приемниках стока еловых насаждений может регистрироваться и при отсутствии ее стекания по стволам за счет попадания осадков непосредственно в улавливающие воронки. Этим, в частности, мы объясняем случаи регистрации «стока по стволам» при осадках 2—3 мм [104].

Учитывая, что стекающая по стволам влага концентрируется в основном на локальных приствольных участках, есть основание считать, что она может оказывать ощутимое влияние на влагообеспеченность растений. Это свидетельствует о необходимости учета стволового стока не только в период поступления, но и в почвенном звене влагооборота.

В целом имеющиеся данные свидетельствуют, что при воднобалансовых расчетах целесообразно вводить поправку только на сток по стволам в насаждениях из лиственных пород. Для этой цели с определенной долей условности можно пользоваться приводимыми выше данными для отдельных пород.

3.6. Особенности задержания осадков в переходные периоды года

К числу переходных обычно относят весенний и осенний периоды года. Осадки этих периодов нами с некоторой условностью выделены в категорию смешанных, поскольку они могут выпадать как в виде дождя, так и в виде снега. Смешанные осадки наряду с твердыми являются определяющими для формирования стока. Вместе с тем эти осадки обычно не учитываются при лесогидрологических наблюдениях, поскольку учет жидких осадков начинается в мае, а зимних заканчивается при максимальном снегонакоплении.

Таблица 3.13

Задержание смешанных (твердых и жидких) осадков в переходные периоды года кронами лесных насаждений различного породного состава
Истринский опорный пункт, ЭП-1—ЭП-3 (см. табл. 2.1, 2.2)

Год	Осадки на поле, мм	Задержано осадков кронами леса							
		лиственного		смешанного		елового		превышение в еловом лесу (мм) относительно	
		мм	%	мм	%	мм	%		
								сметанного	лиственного
1962	93	11	12	20	22	21	23	1	10
1963	87	—1	—1	16	5	24	28	8	25
1964	87	4	6	17	20	40	46	23	36
1965	85	12	14	24	28	48	57	24	36
1966	111	16	14	28	25	44	40	16	28
1967	91	9	10	21	23	46	51	25	37
1968	104	8	8	21	20	53	51	32	45
1969	152	14	9	25	16	41	27	16	27
1970	164	11	7	34	21	54	33	20	43
1971	121	5	4	19	16	44	36	15	39
1972	121	7	6	32	26	52	43	20	45
1973	192	33	17	39	20	71	37	32	38
1974	78	18	10	14	18	45	58	31	27
1975	90	11	12	20	22	47	52	27	36
1962—1975	113	11	9	24	20	45	42	21	36

Примечание. Знак «минус» означает, что под пологом леса осадков измерено больше, чем на поле.

Специфичны условия перехвата смешанных осадков кронами. Они определяются как состоянием полога (кроны лиственных пород оголены либо находятся в процессе сбрасывания листвы или ее появления), так и свойствами самих осадков. К последним относится увеличенная вязкость воды при пониженной температуре, что обуславливает повышенный расход влаги на смачивание единицы поверхности полога насаждений. В эти периоды, кроме того, значительна вероятность конденсационных процессов, что может в какой-то мере компенсировать задержание осадков пологом.

В категорию смешанных при наших наблюдениях попадали осадки, измеряемые в несколько различающиеся сроки. В осенний период эти сроки ограничивались промежутком от осеннего определения влажности почвы до установления устойчивого снежного покрова, в весенний — от последней снегосъемки до начала вегетации растений, которую обычно связывали с распусканием листьев. При этом, однако, в любом случае соблюдалось основное требование — сроки начала и конца учета смешанных осадков на

всех объектах совпадали. Этим обуславливалась возможность получения методически сравнимых данных по объектам.

Доля смешанных осадков в составе годовых составляла 18 % (113 мм). Их задержание в еловом и смешанном насаждениях мало отличалось от задержания жидких осадков этими же насаждениями. В лиственном насаждении задержание смешанных осадков, как и следовало ожидать, имеет промежуточное значение между твердыми и жидкими осадками (табл. 3.13).

Эти данные свидетельствуют еще раз, что температурные условия, являющиеся определяющими для испарения с поверхности почвы и транспирации, практически не оказывают влияние на последующее расходование жидких и смешанных осадков. Замедленное испарение в этом случае, надо полагать, компенсируется большой продолжительностью данного процесса и повышенной вязкостью воды при пониженной температуре.



Гидрологические процессы под пологом леса и факторы, их обуславливающие

4.1. Некоторые особенности баланса твердых осадков

В лесах твердые осадки до того, как попасть в почву, занимают как бы две «ниши» гидрологической системы. Они, как и жидкие осадки, частично перехватываются кронами и затем испаряются с их поверхности. Кроме того, некоторая часть влаги испаряется непосредственно со снежного покрова под пологом леса. На открытых местах также можно выделить две «ниши» испарения: с поверхности снега и со снега во взвешенном состоянии при его перемещении ветровыми потоками (при метелях).

Специфична роль твердых осадков в водном балансе экосистем. Они являются определяющими для той части круговорота воды, которая выходит за пределы водосборов в виде подземного и поверхностного стока, т. е. обуславливают основные особенности гидрологической (водоохранной) роли лесов.

Мы не разделяем точку зрения тех исследователей [41, 125], которые повышенное снегонакопление в лесах рассматривают как отрицательный фактор их водоохранно-защитной роли, поскольку при этом якобы возрастает вероятность поверхностного стока и связанных с ним отрицательных явлений. Такой подход нельзя принять как исходный для оценки водоохранной роли лесов, так как он практически исключает возможности поисков путей увеличения выхода воды (стока) с водосборов.

Имеющиеся материалы свидетельствуют, что на открытых местах за зиму со снежного покрова испаряется не более 25—30 мм влаги. П. П. Кузьмин [75] этот элемент оценил в 25—28 мм. М. И. Иверонова [57] считает, что на территории СССР вне зависимости от района испарение со снега можно принимать равным 20—25 мм, из них на период снеготаяния приходится 8—10 мм.

С. В. Федоров [176] в условиях Новгородской области (ВФ ГГИ) за декабрь — март 1957—1969 гг. испарение со снега определил равным 26 мм с колебаниями по годам от 21 до 32 мм. В условиях Ярославской области испарение со снега принято в среднем равным 20 мм за зиму [120].

По сообщениям А. В. Лебедева [80, 81], в условиях Восточной Сибири среднее суточное испарение снега за зимний период равно 0,2—0,3 мм при испарении за 1 ч не более 0,01—0,02 мм. В период снеготаяния испарение со снега несколько выше — от 0,01 до 0,1 мм/ч на открытом месте и 0,01—0,05 мм/ч под пологом леса. Суммарное испарение твердых осадков в этом регионе оценивается в 6—15 мм, из которых на зимний период приходится не более 4—5 мм, а основная масса снега испаряется в период снеготаяния.

Наблюдениями за испарением со снега, выполненными на Подмосковной воднобалансовой станции [159], показано, что здесь оно составляет 0,1—0,5 мм/сут зимой и 0,8—1,0 мм/сут весной. В среднем за 5 лет наблюдений за холодный период испарилось 23,6 мм снега (колебания от 19 до 30 мм). Отмечается, что основное испарение со снега в поле происходит в период метелей.

Испарение со снежного покрова под пологом леса обычно принимается в 2—5 раз меньшим, чем на открытых пространствах. Согласно А. И. Субботину [159], в лесу оно меньше, чем в поле, в 2 раза и составляет 8—9 мм за зиму. Наиболее интенсивно испарение происходит в период снеготаяния, когда в течение суток испаряется до 0,8—1,0 мм влаги. С. Ф. Федоров [176] подпологовое испарение снега определил равным 7 мм (Новгородская область), что примерно в 3 раза меньше, чем на полевых участках. Соотношение между испарением со снега в лесу и в поле (1:2—1:3), приводимое Субботиным и Федоровым, по-видимому, существенно завышено. Об этом, в частности, свидетельствует соотношение испаряемости на этих объектах. Даже в теплый период оно составляет 1:5. Таким его принимает А. А. Лучшев [87]. Д. Г. Смарагдов [154] пришел к выводу, что разница в потерях снега на испарение в лесу и в поле может покрывать недобор снега в лесу, обусловливаемый задержанием его на кронах деревьев.

Наряду с испарением со снега в условиях леса довольно велика вероятность дополнительного поступления влаги за счет конденсационных процессов. При этом конденсация имеет место как на растениях (см. п. 3.2) в виде инея и изморози, так и непосредственно на поверхности снега или в его толще. А. И. Субботин [159] отмечает, что такие условия для конденсации наиболее благоприятны весной в период снеготаяния, когда воздух, поступающий с открытых пространств, имеет температуру на 1—1,5°C выше, чем в лесу. В такие периоды допускается возможность преобладания конденсации в лесу над испарением.

Следует, однако, отметить, что поправки на испарение влаги со снега вследствие названных процессов вводить нет необходимости, поскольку снегосъемкой определяется результирующая всех процессов поступления и расходования влаги в зимний и ранневесенний период.

4.2. Структура насаждений как фактор снегонакопления

4.2.1. Породный состав насаждений

Наибольшие различия в запасах снеговой воды под пологом лесных насаждений обычно связывают с их породным составом. Однозначно признается благоприятное влияние на снегонакопление лиственных древесных пород. Однако степень такого влияния, по данным отдельных исследователей, существенно различается.

В. В. Рахманов [139, 141], обработав массовые данные по снегозапасам, полученные на метеостанциях в бассейне Верхней Волги, пришел к выводу, что леса накапливают в среднем на 20 % снега больше, чем полевые угодья. При этом в хвойных, преимущественно еловых лесах, по его выводам, дополнительное накопление снега составляет 10 %, а в смешанных и лиственных лесах 27—28 %.

Согласно С. В. Бассу [6], в подзоне смешанных лесов европейской части СССР запасы снега в лесах выше, чем на полях, в среднем на 10—20 %, на вырубках и полянах выше, чем на полях, на 34 %. В лиственных насаждениях снегозапасы несколько меньше, чем на вырубках и полянах, а в хвойных, особенно в ельниках, снегозапасы близки к их значениям на полях.

По данным В. И. Рутковского и З. И. Кузнецовой [150], полученным в ряде пунктов европейской части СССР, снегозапасы под лиственными насаждениями были выше, чем под пологом еловых и сосновых лесов, на 30—50 %. Такого же порядка различия получены Молчановым [104] по результатам 4-летних исследований в Московской области. Приняв снегонакопление на поляне за 100 %, он отмечает, что в высокополнотных насаждениях березы и осины снегозапасы составляют 98 %, в густых средневозрастных и приспевающих сосновых насаждениях 80—90 %, на ближайших полях 73—82 %; а в высокополнотном средневозрастном ельнике — только 50 %.

По многолетним наблюдениям Подмосковной воднобалансовой станции, снегозапасы под пологом березового леса были на 20 %, больше, чем на открытых полевых участках, а под пологом елового леса они были меньше [159].

В целом довольно многочисленные литературные данные свидетельствуют, что в сомкнутых еловых лесах, как правило, бывает меньше снега, чем на открытых местах. В лесах со значительной долей лиственных пород снега накапливается больше, чем в поле [25, 105, 150].

Вместе с тем снегозапасы в насаждениях существенно различаются в зависимости от региональных условий и связанных с ними погодных явлений. Так, на севере снегозапасы в лесах

больше, чем в поле, не только в лиственных, но и в хвойных насаждениях. Это, надо полагать, связано с меньшей густотой произрастающих здесь древостоев. Такая же закономерность прослеживается и по мере продвижения в крайние южные районы. И в том и другом случае снижение густоты является реакцией фитоценозов на неблагоприятные условия среды: на севере — как приспособление к лучшему прогреванию почв вследствие большего доступа солнечной радиации и использования теплоизолирующих свойств снежного покрова, на юге — к увеличению площади питания и улучшению влагообеспеченности.

Имеются данные, что насаждения из лиственных пород, а в молодом возрасте и со значительным участием хвойных деревьев, характеризуются таким же накоплением снега, как и небольшие лесные поляны и вырубки среди леса. Такая особенность подчеркивается в работе Н. А. Луганского и Г. П. Макаренко [86], работавших на Среднем Урале. Отмечается, что в смешанных сосново-березовых молодняках запасы снега не отличались от таковых в чисто лиственных (березовых) насаждениях. Согласно В. Н. Данилику [41], на лесных вырубках на Урале накапливается на 25 % снега больше, чем под пологом темнохвойных насаждений. В то же время снегозапасы в елово-березовых и елово-осиновых молодняках существенно не отличаются от их значений на вырубках. Более высокие снегозапасы в молодняках, чем во взрослых насаждениях, указанный автор оценивает как неблагоприятный фактор, поскольку в этом, в соответствии с его взглядами, проявляется резкое нарушение водоохранно-защитных свойств лесных площадей, не обеспеченных своевременным возобновлением хвойными породами. Автор не касается вопросов увеличения выхода воды как положительного следствия повышенного снегонакопления. Такая позиция особенно непонятна на фоне приводимых этим же исследователем данных, которые не свидетельствуют о сколько-нибудь ощутимом увеличении поверхностного стока на объектах повышенного снегонакопления.

Специфические закономерности накопления снега отмечает П. Н. Матвеев [95, 96] для горных лесов Киргизии. Здесь, по его данным, не только вечнозеленые, но и листопадные леса накапливают заметно меньше снега, чем лесные поляны. По запасам воды в снеге отдельные объекты здесь располагались в следующей последовательности: лесная поляна — 116 мм, лиственный лес — 83 мм, березняк — 70 мм, сосновый лес — 34 мм и еловый лес — 22 мм. Такие особенности снегонакопления связаны, надо полагать, с повышенным испарением, обусловленным большим количеством солнечной радиации и зависанием влажного снега на кронах даже лиственных насаждений.

Различия снегозапасов в лесу и поле в большой мере зависят также от снежности зимы, сроков установления снежного покрова, наличия оттепелей, погодных явлений и других факторов [25, 74].

В годы с большими снегозапасами последние в хвойных и смешанных лесах были меньше, чем в поле, на 19—44 мм; в малоснежные зимы эти различия уменьшались до 2—12 мм. В отдельные годы снегозапасы были даже несколько большими в хвойном лесу — на 2—9 мм. В такие годы имело место либо более раннее установление устойчивого снежного покрова в лесу (в поле снег от первых снегопадов стаивал), либо повышенное испарение снега в поле вследствие наличия большого количества дней с радиационным типом погоды. Оттепели и метеорологические условия, способствующие конденсационным явлениям, также способствовали накоплению более высоких снегозапасов в хвойных и смешанных лесах по сравнению с открытыми пространствами.

За 14-летний период сравнительных наблюдений (табл. 4.1) в насаждениях различного состава снегозапасы под пологом лиственных насаждений и на лесных полянах были одинаковыми (116 мм). В отдельные годы снегозапасы в лиственных лесах были меньше чем на полянах, до 10—16 мм, в другие же — больше на 7—8 мм. Под пологом елового леса снегозапасы за этот же период наблюдений были на 28 мм, или на 24 %, меньше, чем под пологом лиственного леса и на лесной поляне. По отдельным годам

Таблица 4.1

Разница между максимальными снегозапасами на поляне и в лесу
Истринский опорный пункт, ЭП-1—ЭП-3 (см. табл. 2.1, 2.2)

Год	Снегозапасы на поляне, мм	Разница между снегозапасами на поляне и в лесу						Недобор снегозапасов в еловом лесу (мм) относительно	
		лиственном		смешанном		еловом		смешанного	лиственного
		мм	%	мм	%	мм	%		
1962	150	-8	-5	17	11	32	22	15	40
1963	107	16	15	2	2	12	11	10	-4
1964	86	-5	-6	5	6	6	7	1	11
1965	133	11	8	25	19	42	32	17	31
1966	164	-27	-15	10	6	29	18	19	56
1967	110	-5	-5	-8	-7	1	1	9	6
1968	146	8	5	11	8	37	25	26	29
1969	101	2	2	24	24	37	37	13	35
1970	166	-1	-1	36	22	46	28	10	47
1971	82	-7	-9	6	7	30	37	24	37
1972	62	2	3	16	26	22	35	6	20
1973	96	10	10	23	24	37	38	14	27
1974	125	1	1	25	20	41	32	16	40
1975	94	7	7	13	14	17	18	4	10
1962—1975	116	0	0	15	13	28	24	13	28

Примечание. Знак «минус» означает превышение снегозапасов в лесу по сравнению со снегозапасами на поляне. Погрешность снегомерных съемок около 5 %.

Таблица 4.2

Погодичное колебание значений задержания осадков пологом насаждений
Истринский опорный пункт, 1962—1975 гг.

Задержание осадков, % суммы за период	Число случаев (лет) по видам осадков в насаждениях											
	еловом				смешанном				лиственном			
	Г	Ж	С	Т	Г	Ж	С	Т	Г	Ж	С	Т
<8				2			1	5			4	11
8.1—10						1		1	2	1	2	2
10.1—12				1	1	2		1	3	1	4	
12.1—14					2			1	7	2	1	
14.1—16					4	3	1		1		1	1
16.1—18				2	2	3	3		1	4	1	
18.1—20					2	1	2	2		2		
20.1—22				1	1	1	1	1		2		
22.1—24			1		1		2	2				
24.1—26				1	1	2	1	1		1		
26.1—28			2	1		1				1		
28.1—30							1					
30.1—32				2								
32.1—34			1						1			
34.1—36	4		1	1								
36.1—38	2	3	1	3								
38.1—40	5	3	1									
40.1—42	1	3										
42.1—44		1	1									
44.1—46	1	1	1									
46.1—48												
48.1—50		1	5									
>50		1										

Примечание. Обозначения видов осадков: Ж — жидкие, С — смешанные, Т — твердые, Г — за годовой период.

этот недобор снегозапасов колебался в пределах 1—46 мм. В относительном выражении эти значения различались на 1—38 %. В смешанном лесу снегозапасы были меньше, чем на поляне, на 13 % и только за один год они были выше на 7 мм, или 8 %.

Следует отметить, что вариация соотношений снегозапасов в пределах 1—7 мм может обуславливаться погрешностью снегомерных работ.

Данные табл. 4.2 дают представление об изменении относительных значений задержания осадков пологом насаждений как в среднем за год, так и применительно к отдельным видам сезонных осадков. В еловом насаждении наиболее сильно различается задержание смешанных и твердых осадков, а в смешанном и лиственном насаждениях максимальное изменение задержания характерно для жидких осадков. Эти же данные свидетельствуют, насколько рискованно пользоваться короткими рядами наблюдений при изучении данного элемента водного баланса.

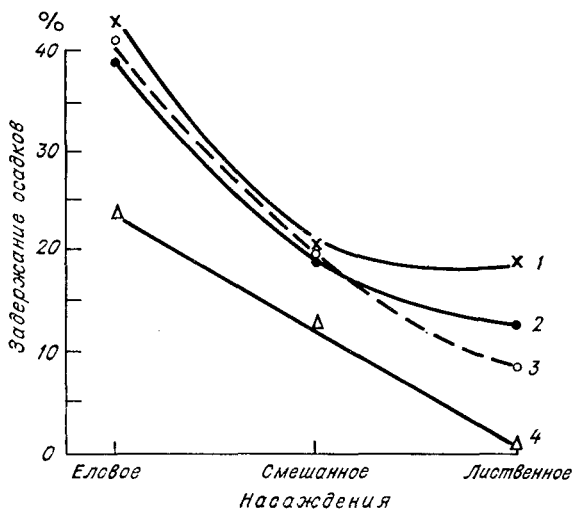


Рис. 4.1. Задержание осадков пологом различных насаждений I класса бонитета, полнотой 0,8—0,9. Истринский опорный пункт, 1962—1975 гг.
Осадки: 1 — жидкие; 2 — годовая сумма; 3 — смешанные; 4 — твердые.

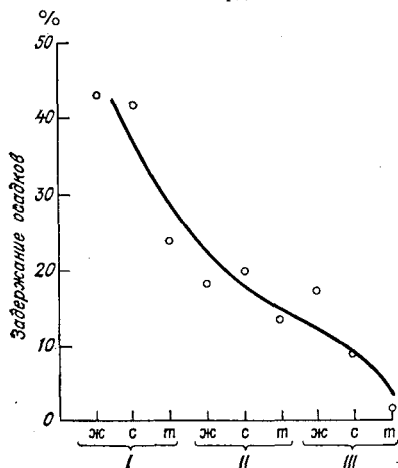


Рис. 4.2. Задержание осадков пологом елового (I), смешанного (II) и лиственного (III) насаждений I класса бонитета, полнотой 0,8—0,9. Истринский опорный пункт, 1962—1975 гг.

Осадки: ж — жидкие, с — смешанные, т — твердые.

В то же время многолетние наблюдения позволяют выявить определенные зависимости в задержании осадков насаждениями различного состава в среднем за год и применительно к отдельным их видам (категориям). Пользуясь графиками (рис. 4.1 и 4.2), можно, определив задержание в одном из насаждений и даже одного из видов осадков (годовые, жидкие, твердые, смешанные), прогнозировать задержание других видов осадков по всему спектру изученных фитоценозов.

4.2.2. Возраст и густота насаждений

Перехват твердых осадков кронами хвойных насаждений различного возраста подчиняется в общем тем же закономерностям, которые отмечались для жидких осадков.

Беле [191] изучал снегонакопление в Чехословакии в зависимости от двух факторов: высоты над уровнем моря (620—650 и 900—910 м) и возраста насаждений (5—100 лет). В обоих случаях зависимость снегозапасов от возраста насаждений выражалась вогнутой кривой, самые низкие точки которой располагались в интервале 50—70 лет. Однако в насаждениях, которые произрастают в более низком поясе, размах колебаний снегозапасов по возрастам был несколько выше, чем в насаждениях, произрастающих на более высоких отметках. В среднем для всех насаждений на кронах задерживалось от 28 % (на высотах 620—650 м) до 21 % (на высотах 900—910 м) снега. По возрастам насаждений эти величины изменялись от прибавки осадков (конденсационные явления в самом молодом возрасте) до задержания в пределах 47—52 % в период максимального снегонакопления. Отмечается, что при выпадении сухого снега задержание его на кронах не превышает 15—16 %, в то время как мокрый снег задерживается в существенно большем количестве.

Вместе с тем П. Н. Матвеев [94], по результатам исследований в 80—120- и 160-летних насаждениях тянь-шаньской ели в районе оз. Иссык-Куль, пришел к выводу, что задержание снега кронами увеличивается вплоть до 160-летнего возраста. Не исключено, что это связано с более медленным ростом указанной ели и более слабой ее очищаемостью от сучьев.

Приведенные выше закономерности снегонакопления в зависимости от возраста, густоты и продуктивности насаждений относятся исключительно к хвойным лесам. Снегонакопительная роль лиственных насаждений изменяется крайне незначительно в зависимости от их возраста, густоты и продуктивности [7, 104, 120, 151].

Закономерности снегонакопления в лиственных насаждениях в значительной мере характерны и для лесов, образованных лиственницей (листопадной породой). Имеются данные [95], что наряду с высоким снегонакоплением лиственничники имеют некоторые преимущества, в том числе и перед лиственными насаждениями, по увеличению продолжительности снеготаяния и благоприятному влиянию на повышение водопроницаемости почв.

Различия снегонакопления под пологом насаждений в зависимости от их возраста в конечном счете обуславливаются сомкнутостью крон и глубиной кронового пространства. Аналогичным образом на снегонакоплении сказывается и густота насаждений, относящихся к сходному возрасту. Имеющиеся данные свидетельствуют, что для хвойных лесов существует довольно тесная,



Рис. 4.3. Зависимость задержания твердых осадков пологом елового леса от сомкнутости крон [94].

близкая к обратно пропорциональной зависимость накопления снега под пологом насаждений от сомкнутости крон. Такая зависимость отмечалась П. Н. Матвеевым [94] для условий Тянь-Шаня (рис. 4.3), Н. А. Луганским и Г. П. Макаренко [86] для Среднего Урала, А. А. Молчановым [104] для Московской области и другими исследователями. Важно отметить, что лес, даже с небольшой сомкнутостью крон, способен предотвращать сколько-нибудь значительные потери на испарение со снежного покрова, и поэтому снегонакопительная роль сильно изреженных насаждений приближается к максимальной, характерной для небольших вырубок или лесных полян.

Различия снегонакопления в хвойных лесах, надо полагать, зависят от продуктивности насаждений. Чем выше продуктивность, тем больше снега должно задерживаться в пологе. Однако влияние данного фактора, по-видимому, менее значительно, чем возраст и особенно густоты насаждений.

В целом листопадные леса вне зависимости от их структуры можно рассматривать как наиболее благоприятные в отношении снегонакопления, и поэтому их обоснованно принимают за эталон снегонакопления [32, 71, 75, 159].

Вышеизложенное позволяет сделать заключение о том, что за холодный период года в разных по породному составу лесных насаждениях достигает поверхности почвы разное количество твердых и смешанных осадков. Для условий Московской области в лиственных лесах на почву выпадает осадков больше, чем в еловых лесах, в среднем на 64 мм (в отдельные годы на 20—90 мм), а в смешанных древостоях — больше на 30 мм (15—60 мм). Следует отметить, что осадки холодного периода года являются наиболее важными для формирования стока с лесных площадей.

4.3. Испаряемость и испарение

4.3.1. Испаряемость

Для характеристики отдельных гидрологических процессов под пологом и в пологе леса и для объяснения механизмов их проявления важное значение имеет испаряемость как комплексный показатель метеорологических условий — солнечной радиации, температуры, влажности и циркуляции воздуха. После работ А. П. Тольского [168] и А. А. Лучшева [87] режимные наблюдения за испаряемостью в лесах почти не проводились. Имеются лишь отдельные эпизодические наблюдения, относящиеся в основном к экстремальным условиям аридной зоны. Такое положение во многом связано с отсутствием необходимых приборов. Стандартные приборы мало пригодны для измерения испаряемости под пологом леса как вследствие низкой точности измерения при незначительной испаряемости, так и по причине неизбежного попадания в них листьев, веток и других фракций опада. Наиболее удобны для этой цели микроиспарители, но они, к сожалению, не изготавливаются серийно и поэтому применяются в различных модификациях.

Нами для этой цели использовались сосуды в виде стаканов, заполненных водой, испаряющая поверхность которых (20 см^2) выполнена из картона, увлажняемого за счет капиллярных сил. Вода по мере ее испарения подавалась с помощью компенсационной трубочки. Отсчеты производились по шкале с погрешностью до $0,1 \text{ мм}$. Показания таких микроиспарителей (см. п. 2.2) могут существенно отличаться от показаний стандартных приборов и от значений испаряемости с открытых водных пространств. В то же время они давали вполне удовлетворительные результаты при проводимых нами сравнительных наблюдениях, характеризуя относительную испаряемость. Наблюдения проводились либо в отдельные периоды, либо непрерывно в течение всего вегетационного сезона на экспериментальных площадках Истринского опорного пункта в насаждениях различного породного состава. Наряду с изучением испаряемости у поверхности почвы или на высоте $1,5 \text{ м}$ выполнены градиентные наблюдения на различных уровнях полога елового леса. Сделана также попытка применить для изучения испаряемости компенсационные почвенные и водные испарители с площадью испаряющей поверхности 1 м^2 [22].

Установлено, что испаряемость под пологом леса составляет только $15\text{—}30\%$ ее значений на полевой площадке [22, 24, 27] и мало различается в насаждениях различного состава, но существенно зависит от погодных условий (табл. 4.3). В 1969 г. преобладала прохладная пасмурная погода и средняя за лето испаряемость под пологом насаждений составила $23\text{—}28\%$ измерен-

Таблица 4.3

Испаряемость в насаждениях различного породного состава, % испаряемости для открытой местности
Истринский опорный пункт, ЭП-1—ЭП-3 (см. табл. 2.1, 2.2)

82

Месяц	Насаждение															Средняя
	Лиственное					Смешанное					Еловое					
	1968 г.	1969 г.	1976 г.	1977 г.	Среднее	1968 г.	1969 г.	1976 г.	1977 г.	Среднее	1968 г.	1969 г.	1976 г.	1977 г.	Среднее	
Апрель	45,3	24,7	28,3	30,0	32,1	36,0	20,9	21,8*	26,0	26,1	37,3	20,2	21,8	26,0**	26,3	28,1
Май	31,7	41,1	33,4	36,0	35,6	31,7	41,1	22,1	25,0	30,0	30,5	41,5	22,1	25,0	29,8	31,8
Июнь	17,5	22,7	10,2	31,7	20,5	27,2	28,5	7,4	10,4	18,3	27,2	27,5	7,4	10,4	18,1	19,0
Июль	9,5	21,0	8,5	27,2	16,5	14,2	28,4	6,6	7,3	14,1	17,5	28,2	6,6	7,3	14,9	15,2
Август	12,3	15,0	8,1	14,2	12,4	19,3	21,5	6,5	10,7	14,5	15,8	21,2	6,5	10,7	13,6	13,5
Сентябрь	—	13,8	15,9	19,3	16,3	—	20,7	14,4	16,5	17,2	—	22,2	14,4	16,5	17,7	17,0
Октябрь	—	23,7	—	—	23,7	—	33,0	—	—	33,0	—	39,2	—	—	39,2	32,0
Среднее	21,9	23,4	18,0	24,4	21,9	24,4	28,2	14,0	16,1	20,7	24,4	28,2	14,0	16,1	20,7	21,1

* Принята равной испаряемости в еловом лесу.

** Принята равной испаряемости в смешанном лесу.

ной в поле. 1977 год характеризовался радиационным типом погоды, и испаряемость не превышала 15—16 % ее значений в поле; при этом весной и осенью в период безлистного состояния полога испаряемость имела повышенные значения.

Ночью испаряемость за период с 19 до 7 ч составляла не более 15—20 % дневных значений. В абсолютном выражении весной испаряемость на открытых местах достигала 2,5—3 мм/сут, в лесу не превышала 1,2 мм/сут. Если учесть, что осенью и весной

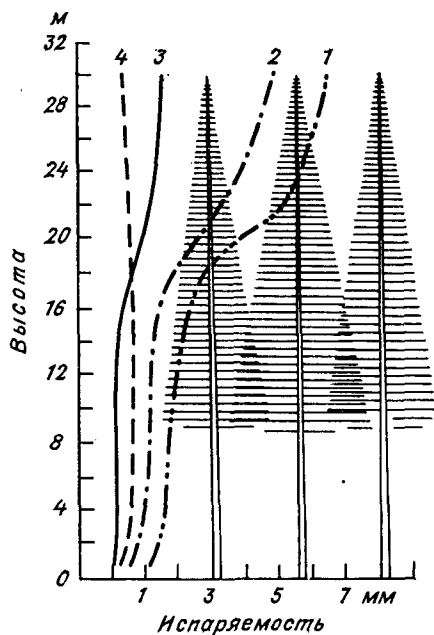


Рис. 4.4. Вертикальные профили испаряемости в пологе елового леса. Истринский опорный пункт.

Периоды: 1 — за сутки; 2 — с 12 до 18 ч; 3 — с 8 до 12 ч; 4 — с 18 до 8 ч.

в безлистном состоянии насаждения почти не перехватывают атмосферные осадки, то положительная гидрологическая роль листопадных фитоценозов в этот период становится особенно явной.

Наряду с испаряемостью под пологом леса большой интерес для познания закономерностей отдельных процессов влагооборота (испарение перехваченных кронами осадков, биофизическая активность различных частей кронного пространства, потенциальные возможности для расходования влаги на транспирацию и т. п.) представляет изменение испаряемости на разных уровнях полога насаждений. Исследования такого плана были выполнены в еловом насаждении с помощью микроиспарителей на Истринском опорном пункте [27]. Приборы располагались в гирляндах на высотах 1,5; 3,0; 6,0; 9,0; 12,0; 15,0; 18,0 и 21,0 м от поверхности земли. Испаряемость на верхней границе крон (высота около 25—27 м) была условно принята близкой к испаряемости на высоте 1,5 м открытой площадки.

Исследования показали, что между сомкнутостью крон по вертикали и испаряемостью существует довольно тесная зависимость (рис. 4.4). Полог по высоте возможно разделить на три части по характеру влияния на испаряемость. Наибольшая из частей приходится на подпологовое пространство и нижнюю часть крон (в нашем случае от поверхности почвы до высоты 17—18 м). Здесь испаряемость имеет минимальные значения, постепенно увеличи-

вающиеся снизу вверх. В среднем для всего участка увеличение испаряемости на 1 м по высоте полога составляет 1,5%. По отношению к открытому месту испаряемость здесь составляет 20—30%.

Наиболее высокий градиент испаряемости характерен для средней части полога (отрезок около 3 м). Этот отрезок является переходным от сомкнутой кроны к более рассредоточенной части полога. Возрастание испаряемости на 1 м кронового пространства здесь составляет около 9%, что примерно в 6 раз больше, чем в нижней, и в 3 раза больше, чем в вышележащих частях полога.

В верхней трети полога, где сомкнутость крон закономерно снижается до нулевой, аналогичным образом изменяется и испаряемость: на нижней границе она составляет около 70% испаряемости на открытом месте, а на верхней — характеризует потенциально возможное испарение на открытых местах.

Распространено мнение, что малое испарение под пологом леса является показателем защитной роли полога и доказательством экономного расходования влаги лесными фитоценозами. Приведенные материалы свидетельствуют, насколько далеки от истины такие умозаключения. Малое испарение в нижней части полога как раз и есть результат больших его значений в верхней части полога. Здесь происходит наиболее интенсивная трансформация метеорологических элементов, обуславливающих испарение. Последнему способствуют большая поверхность крон, хорошая освещенность, интенсивная циркуляция воздуха, сочетающиеся с большой вертикальной протяженностью кронового пространства. Именно эту часть полога можно и необходимо использовать как показатель возможного испарения. Нижняя часть полога не характеризует процесс испарения, как и других средообразующих функций насаждений. Поэтому использование получаемых здесь значений испарения недопустимо распространять на фитоценоз в целом.

Судя по близким значениям испаряемости под пологом насаждений различного состава, есть основания считать, что в облиственном состоянии закономерности испарения также существенно не различаются и в кроновом пространстве этих насаждений.

4.3.2. Испарение

В подпологовое испарение обычно включают потери влаги, обуславливаемые физическим испарением и транспирацией живого почвенного покрова. Для лесных фитоценозов подпологовое испарение составляет лишь часть, как правило, меньшую, суммарного испарения.

Подпологовое испарение стабильнее, чем задержание осадков кронами, которое практически всегда, в том числе и в холодный период года, возрастает пропорционально количеству осадков.

Подпологовое испарение является функцией трех основных факторов: метеорологического (микrokлиматического) режима, влажности и физических свойств почв, характера живого или мертвого напочвенного покрова. Оно возрастает пропорционально количеству осадков лишь в определенных границах. Большое количество осадков, как и дефицит влаги, обычно ведет к уменьшению подпологового испарения. Эти же факторы ограничивают возможности моделирования данного процесса и обуславливают трудности его изучения.

Впервые испарение под пологом леса обстоятельно изучено Н. Ф. Созыкиным [156] и А. А. Лучшевым [87]. Их работы представляют особый интерес, поскольку они выполнены с большой повторностью (до 25-кратной на каждый опыт) и характерной для названных исследователей тщательностью эксперимента и глубиной анализа полученных данных.

По наблюдениям в сосновых лесах Московской области (Серпуховский опорный пункт Всесоюзного научно-исследовательского института лесного хозяйства) Созыкиным [156] показана положительная гидрологическая роль лесной подстилки. С ее поверхности испарилось меньше влаги, чем с обнаженной почвы. В первом случае за период с 18 июня по 31 октября испарилось 43,8 мм, во втором — 51,3 мм. Сходные результаты получил Лучшев [87] в еловых лесах на суглинистых почвах (Истринский опорный пункт). Здесь за период с мая по октябрь испарение с подстилки составило 55,4 мм, а за этот же период в поле (залежь) равнялось 208 мм.

По наблюдениям П. П. Рогового [143] в Белоруссии, испарение под пологом еловых и елово-грабовых лесов, произрастающих на супесчаных и суглинистых почвах, составило только 33,2 мм. В условиях северной тайги (Архангельская область), согласно А. А. Молчанову [103], под пологом сомкнутого сосново-березового насаждения испарение с подстилки за май — сентябрь было равно 46,8 мм. В зоне смешанных лесов (Московская область) испарение с мертвой подстилки за эти же месяцы изменялось в пределах 53,5—70,0 мм (в среднем 62,7 мм). Относительно небольшое испарение было характерно также для покрова из зеленых мхов. В условиях севера оно составляло 47,3—46,0 мм, а в зоне смешанных лесов 83,8 мм. Близкими значениями испарения в зоне смешанных лесов характеризовался лишайниковый покров — 79,1 мм.

При наличии травяного покрова испарение под пологом сосновых лесов на песчаных почвах колеблется от 116 мм в сосняках-черничниках до 143—205 мм в сосняках со злаковым покровом (вейник, перловник).

Согласно С. Ф. Федорову [176], в условиях Новгородской области (ВФ ГГИ) в среднем за 8—18-летний период наблюдений в мае — сентябре под пологом елового леса со злаково-осокового

покрова испарилось 185 мм влаги, с папоротника — 182 мм, с зарослей малины — 167 мм, с черники — 95 мм.

Значения такого же порядка приводит О. В. Шахова [182] для Ярославской области. Здесь за май — сентябрь испарение под пологом березовых и смешанных лесов изменялось от 122 мм при злаково-разнотравном покрове до 164—172 мм при таволговом, таволгово-долгомощном и долгомощном покровах.

Заметно отличающиеся значения испарения под пологом леса приводит В. В. Протопопов [131], который, как и О. В. Шахова, работал в северных лесах (Вологодская область). Наблюдения выполнены в довольно влажном типе леса — ельнике травяно-зеленомощном в течение четырех вегетационных сезонов. По его данным за июнь — сентябрь испарение с площадок, занятых травами или зелеными мхами, менялось в пределах 42,0—74,3 мм. Испарение с подстилки за этот же период составило только 27,8 мм. Невелики были колебания испарения и по отдельным годам. Эти значения испарения более чем в 2 раза меньше, чем у Шаховой [183]. Введение поправки на испарение в мае, даже равной испарению за июнь (около 10—15 мм), существенно не изменяет отмеченных выше соотношений. Причины таких различий в результатах исследований объяснить трудно.

Сравнительно небольшие значения испарения получены Протопоповым [131] и в кедровых лесах Сибири (щитовниково-зеленомощный тип леса). В зависимости от вида травяного покрова здесь оно колебалось от 86,8 до 131 мм за июнь — сентябрь. Испарение с мертвой подстилки составило 48,8 мм.

Таким образом, данные по подпологовому испарению довольно разноречивы. Нам представляется, что значения испарения за вегетационный период более 100—120 мм являются завышенными. Об этом, кроме приведенных выше данных многих исследователей, свидетельствуют результаты изучения испаряемости в насаждениях. Наши 2-летние непрерывные наблюдения на Истринском опорном пункте показали, что испаряемость за 6 месяцев (апрель — сентябрь) не превышала 72,8—93,5 мм (табл. 4.4). Только в лизиметрах с неограниченным увлажнением испаряемость достигла за полгода 130,2 мм.

Трудно объяснить также большие различия доли подпологового испарения в суммарном. Так, по Федорову [176], в условиях средней тайги (Новгородская область) подпологовое испарение составило 31 % суммарного, что превышало задержание осадков кронами елового древостоя (26 %). По отдельным годам (1955—1973) подпологовое испарение составляло 23—40 %. Такого же порядка значения приводит В. В. Осипов [120] для Ярославской области. Согласно Молчанову [103, 104], подпологовое испарение изменяется от 12 до 53 % суммарного. Более высокий процент испарения обычно относится к влажным типам леса (сфагновые, долгомощные).

Таблица 4.4

Испаряемость с почвенного покрова и водной поверхности
по микроиспарителям, мм
Истринский опорный пункт

Период наблюдений	Открытый участок (луг)			Смешанный лес		Лиственный лес (микроиспарители)	Еловый лес (микроиспарители)
	луговой травостой	пар	микроиспарители	почва с травой	микроиспарители		
1977 г.							
8 IV—30 IV	34,1	36,1	58,0	9,6*	15,5	17,1	
Май	81,6	88,4	116,6	25,0*	30,5	32,9	
Июнь	93,6	65,7	110,6	32,9	11,5	14,8	
Июль	98,5	73,0	85,5	34,9	6,3	9,1	
Август	52,8	56,6	77,6	19,4	8,3	8,2	
1/IX—25 IX	29,6*	27,7*	37,5	8,4*	6,2	5,7	
Всего	390,2	347,5	485,8	130,2	78,3	87,8	
%			100	26,8	16,1	18,1	
1976 г.							
8/IV—30 IV			95,3			27,0	20,8
Май			102,2			34,1	26,2
Июнь			97,8			10,0	7,2
Июль			93,3			8,0	6,2
Август			82,2			6,7	5,4
1/IX—25 IX			48,4			7,7	7,0
Всего			519,2			93,5	72,8
%			100			18,0	14,0

* Значение получено интерполированием.

По нашим данным, подпологовое испарение в насаждениях с сомкнутостью крон 0,7—0,8 составляет в среднем около 20 %, суммарного испарения, достигая лишь в отдельные годы 25—30 %. В среднем оно всегда меньше, чем задержание осадков кронами еловых лесов. Только в лиственных лесах подпологовое испарение может превышать задержание осадков кронами. В районах недостаточного увлажнения доля подпологового испарения заметно уменьшается. В Бузулукском бору (сомкнутость крон 0,5—0,6) оно составило в среднем за 22 года только 12 % (задержание осадков кронами 30 %).

В целом, однако, имеющиеся данные показывают, что живой напочвенный покров (видовой состав, разнообразие, мощность и др.) оказывает существенное влияние на подпологовое испарение и степень колебания его значений. Вместе с тем было бы неправильным связывать различия испарения с отдельных видов покрова только с данными факторами, поскольку сам покров явля-

ется результатом различий увлажненности, почв, освещенности и других условий, которые могут изменять испарение не в меньшей, а, скорее, в большей степени, чем растения различной видовой принадлежности. Влияние покрова на испарение может быть правильно оценено только при постановке экспериментов с соблюдением принципа единственного различия. Опыты такого порядка были выполнены Созыкиным [156]. Испарение с различных поверхностей он изучал в сходных условиях неограниченного увлажнения при одинаковых значениях факторов среды (на открытых местах). Этими опытами показано, что по сравнению с обнаженной почвой подстилка снижает испарение на 13 %, моховой покров — на 39—69 %; злаковый покров испаряет на 13—34 % больше, чем поверхность почвы.

В какой-то мере методически оправданно сравнение испарения в естественных условиях с испарением с покрова сфагновых мхов, поскольку последние всегда приурочены к местам с практически неограниченным увлажнением, характеризуются равномерной (сплошной) сомкнутостью растений, произрастающих под пологом сходных по структуре низкопродуктивных насаждений. Однако и применительно к этому типу покрова данные по испарению довольно разноречивы.

Исследования Федорова [176] дают основание заключить, что покров сфагнума характеризуется экономным расходом влаги; это согласуется с приведенными выше данными «чистых» опытов Созыкина. Испарение здесь ниже (115 мм), чем с покрова, представленного злаками, осоками или папоротниками (180—185 мм). Такое соотношение наблюдалось Федоровым в течение 9 лет параллельных наблюдений. В то же время, по Шаховой [182], испарение со сфагнума имело максимальные (176,1 мм) значения и существенно превышало испарение со злаково-разнотравного покрова (122,5 мм). Ближе всего испарение со сфагнума, по исследованиям Шаховой, было к испарению с покрова из кукушкина льна.

Максимальное испарение с покрова, представленного сфагновыми мхами, зарегистрировал Молчанов [103]. В условиях зоны смешанных лесов под пологом сосняков IV класса бонитета полнотой 1,0 испарение составило 205,5—249,5 мм (в среднем 227,5 мм).

Не исключено, что отмеченные различия в испарении в значительной мере связаны с методическими погрешностями измерений. Важнейшая из них, как отмечалось в п. 2.2,— большая пространственная изменчивость проникновения осадков сквозь полог и невозможность измерения количества их, попадающего в отдельные испарители. К сожалению, эта особенность обычно не отмечается исследователями. Между тем осадкомеры, устанавливаемые даже в непосредственной близости от испарителей, характеризуются «своими» показаниями. Существенны также другие погреш-

ности измерений. Но если последние можно снимать увеличением тщательности и повторности наблюдений, то первую уменьшить практически невозможно.

Учитывая отмеченные трудности и недостатки, в своих исследованиях мы ограничивались в основном выяснением отдельных закономерностей процессов, важных для оценки гидрологической роли насаждений. При балансовых расчетах подпологовое испарение рассматривалось в сумме с транспирацией. Только для наиболее важных в гидрологическом отношении переходных периодов года, когда транспирация отсутствует или незначительна, использовались различные методические подходы для вычленения доли подпологового испарения. Задача в это время облегчалась тем, что испарение было близко к испаряемости.

Выше отмечено, что испарение имеет минимальные значения в насаждениях, где поверхность земли представлена мертвой подстилкой, а также покровом из лишайников и зеленых мхов. Оптимальной, по-видимому, будет такая подстилка, при которой заметно проявляется ее изолирующая роль, но в то же время поглощение осадков является минимальным. Для выяснения параметров такой подстилки мы провели изучение испарения с подстилок различного состава и мощности при одинаковых значениях метеорологических элементов.

Подстилки, взятые без нарушения сложения, помещались на поверхность почвы на открытом пространстве. Затем производилось увлажнение подстилки и почвы до НВ. Наблюдения за испарением, выполненные в период с 22 по 27 августа, показали (табл. 4.5), что состав подстилок не оказывает существенного влияния на его значения и интенсивность и что уменьшение толщины подстилки до 1 и даже 0,5 см не влияет заметно на испарение; при такой толщине подстилка уменьшает испарение с почвы на 65—70 %, а при толщине более 2 см — до 70—78 %.

Существенно различается испарение с поверхности почв различного механического состава. Даже в условиях увлажнения,

Таблица 4.5

Испарение с оголенной почвы и с поверхности подстилок различного состава и мощности

Загорский лесхоз

Характеристика		Взрыхленная почва	Подстилка				
			еловая		сосновая	березовая	
Толщина подстилки, см			0,5	2,0	3,5	1,0	1,5
Испарение г		90,6	30,3	20,0	28,6	28,6	26,3
%		100	33,4	22,1	31,5	31,5	29,0

близкого к неограниченному, при высоких значениях метеорологических элементов испарение с песчаной почвы было заметно меньше его значений с суглинистой почвы. За три месяца (июль — сентябрь) параллельных наблюдений с горизонта А песчаной почвы, содержащей около 1 % гумуса и 6—7 % физической глины, испарилось на 13 % влаги меньше, чем с поверхности суглинистой почвы. С горизонта С песчаных почвогрунтов, где фракция физической глины составляла 3—4 %, испарение было меньше, чем с суглинистых, на 34 % [22]. Подобные явления выражены в не- сравненно большей степени при отсутствии капиллярного подтока влаги в зону испарения. В таких условиях испарение с поверхности песков бывает близко к испаряемости только в течение короткого промежутка времени после обильного увлажнения, например атмосферными осадками [19]. По мере подсыхания песка испарение быстро уменьшается и в первые сутки после увлажнения обычно не превышает 35—40 % испаряемости, во вторые сутки 8—10 %, в пятые-шестые сутки — 2—3 % и в дальнейшем изменяется не- существенно. Эта закономерность неоднократно использовалась для расчета испарения в районах недостаточного увлажнения [19, 76] и имеет важное значение для объяснения причин экономного рас- ходования влаги фитоценозами, произрастающими на песках.

Имеющиеся данные свидетельствуют, что отдельные элементы структуры насаждений (состав, возраст, густота в определенных границах) изменяют подпоговое испарение в сравнительно не- больших пределах, конечно, при условии относительного сходства напочвенного покрова.

По исследованиям в Чехословакии, при годовых осадках 1200 мм испарение под пологом мертвопокровных высокополно- тных насаждений ели и бука составляло за вегетационный период 85,6 и 82,1 мм соответственно [203]. На территории ГДР испарение под пологом 23- и 83-летних сосновых насаждений на песчаных почвах равнялось 99 и 119 мм [213]. Существенно большее влияние состава насаждений на испарение отмечено болгарскими исследо- вателями [115] в лесах горных районов. Под пологом средневоз- растного соснового насаждения оно достигало 112,9 мм при 55,5 мм в еловом насаждении такого же возраста.

Небольшие значения испарения получены нами в степных сос- ных лесах, где оно лимитируется дефицитом влаги, мертвой под- стилкой и песчаным субстратом. В среднем за 22-летний период в условиях Бузулукского бора испарение составило 54 мм при 30— 40 мм в засушливые годы. Лишь в экстремально влажные годы оно достигало 95 мм [19].

Отсутствие существенных различий испарения в зависимости от состава и густоты насаждений связано с их сходной способностью изменять метеорологический режим в определенных границах глу- бины и сомкнутости полога. Поэтому уменьшение густоты насаж- дений благоприятно в гидрологическом плане, так как обычно не

Таблица 4.6.

Изменение основных метеорологических элементов под пологом смешанных средневозрастных насаждений в результате 30%-ного изреживания
Истринский опорный пункт, 1967 г.

Насаждение	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Освещенность, лк	Солнечная радиация, % радиации на открытом месте	Температура почвы в слое 0—20 см, °С	Испаряемость, % испаряемости на открытом месте	Скорость ветра, м/с
Контрольное	20,5	44	470	5,5	12,5	18	^ 1
Изреженное	21,0	40	1320	9,0	12,7	25	^ 1
Отклонение	0,5	—4	850	3,5	0,2	6	—

влечет за собой адекватного повышения испарения, поскольку такие элементы микроклимата, как скорость ветра, влажность воздуха, температура, практически не изменяются (табл. 4.6). Несмотря на увеличение освещенности в разреженных древостоях, проникновение прямой солнечной радиации также существенно не возрастает, поскольку в течение большей части дня просветы в пологе притеняются остающимися деревьями.

Иные закономерности имеют место, когда параллельно с изменением структуры насаждений происходят изменения в почвенном покрове. Об этом, в частности, свидетельствуют наши опыты с изреживанием молодых насаждений в Загорском лесхозе в 1979 г. Изучалось влияние на подпологовое испарение густоты молодых (20-летних) хвойных (еловые, сосновые) и лиственных (березовые) насаждений (табл. 4.7). Хвойные насаждения были представлены культурами с первоначальной густотой 10 тыс. саженцев на 1 га, березовые имели естественное происхождение. Насаждения произрастали в одном и том же типе леса (ельник сложный). Почвы суглинистые, среднеподзолистые, грунтовые воды залегали глубже 10 м. Хвойные насаждения созданы по выравненному фону почв на площадях, ранее занятых сельскохозяйственными угодьями, а березняк возник в результате самосева.

В каждом насаждении выделялось две секции. На одной из них древостой имел сомкнутость крон, близкую к полной (1,0), на второй изреживался рубками ухода (в культурах сосны и ели вырубкой каждого второго ряда, в березняке — равномерной выборкой) до сомкнутости крон 0,4 в сосняке, 0,5 в ельнике и 0,7 в березняке. После изреживания существенно увеличивалось разрастание травянистых растений под пологом березняка и особенно в сосновых культурах, где после интенсивных прочисток имели место явления ветровала и снеголома.

Таблица 4.7.

Испарение с поверхности почвы и травяного покрова под пологом 20-летних насаждений в зависимости от их состава и густоты Загорский лесхоз, 1979 г.

Насаждение	Сомкнутость	Испарение за период, мм		
		30/V — 26/VI, 31/VII — 21/VIII (измеренное)	27/VI — 30/VII, 22/VIII — 30/IX (рассчитанное)	всего
Березовое	0,9	49,2	41,9	91,1
	0,7	62,7	53,7	116,4
Превышение, мм		13,5	11,8	25,3
%		27,4	28,1	27,8
Еловое	1,0	13,4	17,5	30,9
	0,5	28,1	28,3	56,4
Превышение, мм		15,0	10,8	25,5
%		109,7	61,7	82,5
Сосновое	1,0	23,0	18,3	41,3
	0,4	68,1	74,8	135,9
Превышение, мм		45,1	49,2	94,6
%		196,0	308,7	229,0

В связи с отмечавшейся выше большой пространственной изменчивостью осадков, проникающих сквозь полог, и невозможностью их учета непосредственно в местах установки испарителей испарение под пологом было определено только для периодов без осадков или с небольшим их количеством. Такие условия имели место с 30 мая по 26 июня и с 31 июля по 21 августа (всего 50 сут). Испарение за периоды с осадками рассчитано исходя из соотношения его с испарением в условиях поля. Здесь пространственная изменчивость осадков не имела места, и наблюдения были непрерывными.

Из данных табл. 4.7 видно, что до изреживания в сомкнутых насаждениях испарение было наибольшим в березняке (91,1 мм), где испаряющая поверхность представлена почвой и травяным покровом, и минимальным в мертвопокровном ельнике (30,9 мм). В сосняке с редким травяным покровом (покрытие почвы около 10 %) испарение составило 41,3 мм.

После изреживания в сосняке, когда мертвый покров сменился злаковым, испарение увеличилось до 135,9 мм, или на 94,6 мм. В березовом и еловом насаждениях превышение было примерно одинаковым (25,3 и 25,5 мм), но в первом из них покров до и после изреживания оставался травяным, поэтому оно достигло 116,4 мм, а во втором на фоне мертвого покрова появилось разнотравье и испарение составило 56,4 мм.

Степень изменения испарения в зависимости от напочвенного покрова при сходной густоте насаждений, как и при сходстве покрова, но при различной густоте, иллюстрируют данные табл. 4.8.

В целом, несмотря на существенные, часто необъяснимые раз-

личия в значениях испарения, полученные отдельными исследователями, в настоящее время в отношении подпологового испарения можно сделать следующие выводы:

1) кроме метеорологических факторов испарение в сильной степени зависит от наличия травяного или мохового покрова и состояния испаряющей поверхности. Минимальные значения испарения регистрируются с покрова, представленного лесной подстилкой. При наличии травяного покрова испарение увеличивается в 2—3 раза. Экономному расходованию влаги способствует также покров из зеленых мхов. Однако долгомошный и сфагновый покров обуславливает более высокое испарение, чем покров из зеленых мхов;

2) при сходном напочвенном покрове испарение под пологом хвойных и лиственных насаждений, по имеющимся (пока ограниченным) данным, заметно не различается. Хвойная и лиственная подстилка оказывает одинаковое влияние на испарение. Подстилка даже небольшой мощности уменьшает испарение;

3) изреживание насаждений до сомкнутости крон 0,5—0,6 не вызывает существенного увеличения испарения, если не происходит заметного изменения напочвенного покрова. При разрастании травянистых растений в изреженных насаждениях подпологовое испарение заметно увеличивается. Поэтому уменьшение густоты насаждений примерно до 50 % сомкнутости полога с гидрологической точки зрения можно считать оправданным, если при этом не наблюдается других отрицательных явлений.

Таблица 4.8.

Испарение с различных поверхностей под пологом 20-летних насаждений
Загорский лесхоз, 30 мая — 26 июня, 31 июля — 21 августа 1979 г.

Насаждение	Сомкну- тость крон	Испаряющая поверхность	Масса воздуш- но-сухих трав в при- боре, г	Испаре- ние, мм	Превышение испарения отно- сительно испарения с подстилки, мм
Сосновое	1,0	Подстилка	—	28,7	28,2
		Разнотравие со зла- ками	2,7	56,9	
Еловое	0,4	Подстилка со зла- ками	3,7	65,5	29,7
		Злаки	10,5	95,2	
	1,0	Подстилка	—	13,4	
Березовое	0,5	Подстилка	—	23,4	—3,3
		Зеленые мхи	—	20,1	
		Подстилка с разно- травием	0,9	38,6	
Березовое	0,9	Подстилка	—	21,0	47,0
		Злаки	4,5	68,0	
	0,7	Подстилка	—	23,2	
		Разнотравие со зла- ками	7,9	79,6	56,4



Гидрологические процессы и влагооборот в почвогрунтах

Основным показателем гидрологической роли почвогрунтов является их способность поглощать влагу и затем аккумулировать ее в поровом пространстве или переводить в почвенный либо грунтовый сток. Эти свойства в свою очередь зависят от ряда факторов. Важнейшими из них являются запасы и мощность подстилки, водно-физические свойства почвогрунтов, криогенные процессы, степень и глубина освоения субстрата корневыми системами растений и др.

5.1. Гидрологическая роль лесной подстилки

Выше отмечалось, что наиболее полно положительные гидрологические свойства подстилки реализуются при ее определенной (оптимальной) мощности. В этой связи, воздействуя на насаждения посредством соответствующих лесоводственных и агротехнических мероприятий, можно в какой-то мере целенаправленно изменять гидрологическую роль подстилки и фитоценозов в целом. Рассмотрим данные о запасах подстилки как основном факторе, влияющем на ее водоудерживающую способность.

Запасы подстилки всегда выше в хвойных лесах, чем в лиственных. При одинаковом породном составе запасы подстилки обычно увеличиваются в местах, для которых характерно избыточное увлажнение или крайне острый дефицит влаги. Оптимальное увлажнение, сочетающееся с хорошим прогреванием почв, способствует более интенсивной минерализации опада и меньшему накоплению подстилок. В зависимости от названных и ряда других факторов (продуктивность насаждений, их возраст, густота, наличие подлеска и т. п.) запасы подстилки различаются в несколько раз.

В хвойных лесах запасы подстилки наиболее часто лежат в пределах 8—30 т/га (абсолютно сухое вещество). В лиственных насаждениях они в несколько раз меньше (5—7 т/га), а в смешанных лесах зависят от доли участия в составе насаждения хвойных и лиственных пород.

Согласно Н. Ф. Созыкину [156], запасы подстилки под пологом елового леса (Истринский опорный пункт) колебались от 16,5 до 66,5 т/га. Высокие запасы подстилки были зарегистрированы А. А. Молчановым [104] в Архангельской области. В сосняках долгомошных они составили 45,7 т/га, а в сосняках сфагновых достигали даже 150 т/га. В других типах леса (лишайниково-мшистый, брусничный, черничный) запасы подстилки равнялись соответственно 16,6, 21,4 и 35,7 т/га. В аналогичных типах леса в Московской области запасы подстилки оказались на 10—15 % меньше.

Довольно высокие запасы подстилки Молчанов [104] приводит и для лиственных насаждений, произрастающих в лесостепной зоне. В Телермановском лесничестве (Воронежская область) под насаждениями ясеня они составляли 4,9—6,3 т/га, под осинниками 2,9—7,4 т/га и под насаждениями дуба 7,9—10,9 т/га.

Большие запасы подстилки отмечаются в Костромской области [124]. В средневозрастных насаждениях кисличных типов леса они равнялись: в березовом насаждении 13,9 т/га, в сосновом — 32,8 т/га, в еловом — 45,9 т/га.

На объектах Истринского опорного пункта запасы подстилки в еловых и елово-лиственных насаждениях также нередко превышали 40 т/га, в лиственных насаждениях они не выходили за пределы 10—11 т/га (табл. 5.1).

Представленные выше значения запасов подстилки определены в насаждениях, хотя и произрастающих в сходных условиях, но различающихся по возрасту, сомкнутости крон, пространственному положению. В этой связи существенный интерес представляют результаты учета в 1977 г. подстилки в одновозрастных (40-

Таблица 5.1

Запасы подстилки в насаждениях различного состава, произрастающих на суглинистых почвогрунтах в кисличных типах леса
Истринский опорный пункт

Насаждение	Возраст, лет	Сомкнутость крон	Число объектов	Подстилка		
				запас, т/га (абсолютно сухое вещество)		мощность, см
				средний	минимум—максимум	
Еловое	30—90	0,7—1,0	4	43,1	37,2—46,8	2,5—3,3
Еловое с участием березы, осины до 20 %	35—70	0,7—0,8	2	37,8	30,4—45,3	2,8—3,0
Елово-лиственное	60—70	0,7	3	36,8	44,6—48,3	2,4—2,9
Лиственное с участием ели до 20 %	50—60	0,7	2	20,6	13,2—28,0	1,0—1,4
Лиственное	30—60	0,7—0,8	3	9,1	7,3—11,1	1,0—1,1

Таблица 5.2

Запасы подстилки в одновозрастных культурах хвойных пород и в естественном насаждении березы
Московская область, Пушкинское лесничество

Насаждение	Возраст, лет	Сомкнутость крон	Масса подстилки, т/га (абсолютно сухое вещество)
Еловое	40	1,0	34,3
Сосновое	40	0,9	26,6
Лиственничное	40	0,9	14,4
Березовое	50	0,8	3,1

летних) лесных культурах I класса бонитета одинаковой густоты, созданных по выровненному почвенному фону (после сельскохозяйственного использования) (табл. 5.2).

Мощная подстилка, обладая высокой влагоемкостью, способна поглощать и удерживать большое количество влаги. По данным Созыкина [156], при полном насыщении влагой подстилка еловых лесов может перехватить 10—15 и даже 20 мм влаги. Задержание влаги моховым покровом еще больше — до 20—25 мм. Такого же порядка данные приводит А. В. Письмеров и др. [124]. В ельнике-кисличнике подстилка с запасом 50,5 т/га задержала 28,8 мм влаги, подстилка соснового леса (запас 32,8 т/га) — 23,7 мм, подстилка березового леса (запас 13,9 т/га) — 15,6 мм. Еще более высокая влагоемкость подстилок, по данным А. Ф. Полякова [130], характерна для смешанных горных лесов Крыма. Он считает, что она способна поглощать до 28 мм осадков. Этот показатель вводится затем в формулу водорегулирующей емкости лесных насаждений.

Влагоемкость подстилки обычно определяется путем помещения ее образцов в воду [104, 124, 156]. При этом подстилка набухает очень медленно и постепенно увеличивает массу даже после 20-часового намачивания [156]. Подобные методы нашли широкое применение в исследованиях.

Наши наблюдения показали, что в природных условиях разовое поглощение влаги подстилкой никогда не достигает приведенных выше значений (до 20—30 мм). Это связано с двумя причинами. Во-первых, подстилка всегда содержит какой-то исходный запас влаги, даже в крайне сухие периоды она не иссушается ниже воздушно-сухого состояния. В исследованиях же расчет обычно производится по отношению к ее абсолютно сухому состоянию. Во-вторых, при искусственном смачивании в подстилке остается больше влаги, чем в полевых условиях. Это связано с зависанием влаги на границе раздела подстилка — воздух в силу действия капиллярных сил и менисковых давлений. Такие процессы подробно рассмотрены А. А. Роде [144] на примере минеральных горизонтов почв.

В естественных условиях подстилка в большей степени обезвоживается также в силу градиента увлажнения, обусловленного меньшим содержанием влаги в почве, чем в подстилке, после выпадения осадков.

Принимается обычно, что максимальное количество влаги задерживает сухая подстилка. Однако и это положение требует существенных уточнений. Сухая подстилка очень медленно набухает, поэтому при дождях, даже продолжительных, дефицит влаги в ней восполняется только частично. Кроме этого, сухость нередко выступает как фактор меньшего задержания влаги вследствие гидрофобности подстилки. Влага осадков при этом нередко концентрируется в отрицательных формах микрорельефа и обуславливает локальное увлажнение субстрата. Такие явления особенно типичны для районов недостаточного увлажнения [19]. В этих условиях задержание влаги подстилкой мы определяли как погружением в воду, так и после интенсивного увлажнения осадками, в том числе сразу же после схода снежного покрова. Поглощение воды рассчитывалось на 1 кг воздушно-сухой подстилки (табл. 5.3).

Видно, что влагоемкость подстилки, определенная путем искусственного насыщения ее влагой, близка к тем значениям, которые приводятся в литературе: 0,2—0,3 мм/г, что в пересчете на 40—50 т подстилки составляет 12—15 мм влаги. Однако при наблюдении в натуральных условиях предельное содержание влаги в подстилке после весеннего влагонакопления не превышало 5—6 мм (табл. 5.4). Такое задержание можно рассматривать как реальное для воднобалансовых расчетов.

В степных борах (Средний Дон) в сильно пересохшей гидрофобной подстилке оставались сухие участки после неоднократных

Таблица 5.3

Задержание влаги подстилкой (по отношению к воздушно-сухому веществу), определенное путем 10-часового насыщения образцов водой
Загорский лесхоз

Насаждение	Возраст, лет	Число пробных площадей	Подстилка				
			запас, т/га	масса, кг/м ²	задержание влаги		
					л/кг	м ³ /га	мм
Еловое	50	1	25,0	2,50	3,14	78,5	7,8
	20	1	13,5	1,35	1,90	25,6	2,6
Сосновое	20	1	8,3	0,83	1,31	20,3	2,0
	20	1	14,3	1,43	1,37	19,6	2,0
Березовое	20	1	13,1	1,31	3,18	41,6	4,2
	20	1	5,6	0,56	1,82	10,2	1,0
Березово-осиновое	50	1	12,3	1,23	2,77	34,1	3,4

Таблица 5.4

Влагоемкость лесной подстилки, определенная в натуральных условиях после схода снега
Истринский опорный пункт

Насаждение	Возраст, лет	Подстилка			
		мощность, см	запас, т/га	влагоемкость, мм	
Еловое	90	2,0	20,7	3,7	
	80	3,3	37,2	4,9	
	50	2,5	46,8	5,4	
	35	2,5	40,7	5,3	
	30	2,6	46,9	3,0	
Смешанное:	8Е2Б	70	2,8	30,4	5,2
	4Е2Б2Д	70	2,6	48,3	4,4
	40с4Б2Е	70	2,4	44,6	5,6
	40с4Е2Б	60	2,9	47,4	5,8
	9Б1Е	60	1,4	28,0	3,2
	7Б2Е10с	50	1,0	13,2	1,9
	Лиственненное	60	1,0	11,1	1,2
30		1,1	7,3	1,0	
20		0,7	8,8	1,1	

дождей с суммой осадков 20—30 мм. Даже после 30-часового намачивания подстилки путем погружения ее в воду влага иногда не проникала внутрь образцов. В натуральных условиях задержание влаги подстилкой тем значительнее, чем больше осадков и продолжительнее их выпадение. В зависимости от этих факторов одни и те же образцы подстилки задерживали от 3,7 до 7,1 мм влаги [19].

Таким образом, натурные исследования позволяют заключить, что подстилка сформировавшихся хвойных насаждений с запасами до 40—50 т/га способна поглощать не более 5—8 мм влаги атмосферных осадков. Под лиственными насаждениями НВ подстилки не выходит за пределы 3—4 мм.

Имеющиеся в литературе данные о поглощении подстилкой до 15—20 мм и более влаги получены в условиях, сильно отличающихся от естественных, и, кроме того, рассчитаны по отношению к массе абсолютно сухого вещества, что не отражает реальной способности подстилки удерживать влагу. К сожалению, подобные материалы обычно используются для характеристики отдельных гидрологических свойств насаждений. В частности, утверждается, что подстилка может перехватывать осадки в количестве, равном ее влагоемкости, определенной в лабораторных условиях. Для гидрологических расчетов эти материалы нуждаются в существенной корректировке применительно к реальным условиям.

В лиственных и смешанных лесах в силу меньших запасов подстилки создаются условия для большего проникновения влаги в глубинные горизонты почвогрунтов и ухода ее за пределы биологического звена круговорота.

Роль подстилки в испарении влаги с почвы рассматривалась в п. 4.3.2.

5.2. Гидрологическая роль почвогрунтов

5.2.1. Водно-физические свойства почвогрунтов

Влияние леса на гидрологические свойства суглинистых, в разной степени оподзоленных почв лесной зоны ограничивается в основном их верхним 0,5-метровым слоем [157, 159]. При этом наиболее существенно оно сказывается в верхних, «надыллювиальных» горизонтах. Здесь больше скважность, значительнее водопроницаемость и заметно ниже плотность почв. Именно с этим слоем связана основная водорегулирующая их роль.

По данным Созыкина [157], суглинистые дерново-подзолистые почвы под еловым лесом (Истринский опорный пункт) имели примерно в 3 раза большую действующую скважность, чем такие же почвы на полях с севооборотом, и поэтому обладали дополнительной водорегулирующей емкостью порядка 30—40 мм. Только при полном насыщении влагой и образовании верховодки на иллювиальном горизонте водорегулирующая емкость почв заметно снижается. После этого, как показал А. И. Субботин [159], влага, поступающая на почву, расходуется в основном на образование поверхностного стока. Такие условия в лесных почвах создаются не часто и имеют место, как правило, либо в период весеннего половодья, либо при дождях высокой интенсивности и большой продолжительности.

С продвижением на север, по мере уменьшения мощности корнеобитаемой зоны, сокращается и мощность слоя почвы, обладающего дополнительной водорегулирующей емкостью. В южных районах (особенно в лесостепной и степной зонах), а также на песчаных почвах влияние леса прослеживается на большую глубину, захватывая и грунты, хотя степень такого воздействия по всему профилю менее значительна. Получаемые в подобных условиях результаты исследований иногда необоснованно переносятся на более северные районы с их специфическим термическим и водным режимом. Это, как будет показано ниже, приводит к существенным ошибкам в оценке гидрологической роли лесов.

В целом лесные почвы характеризуются значительной водопоглощающей способностью. Согласно Созыкину [157] и Субботину [159], в условиях Подмосковья водопроницаемость лесных суглинистых почв в 2—3 раза превышала водопроницаемость аналогич-

ных почв в поле. Сходные результаты получены индийскими исследователями [215], работавшими на иловатых суглинках в предгорьях Гималаев. Здесь почвы, занятые хвойными лесами, имели примерно в 2 раза большую водопроницаемость, чем почвы, находящиеся под полевыми культурами.

Соотнесение водопроницаемости лесных почв с интенсивностью выпадающих осадков либо с водоотдачей из снега свидетельствует, что практически всегда имеются условия для поглощения влаги, поступающей на поверхность [157, 159]. Даже в промерзшем состоянии впитывающая способность суглинистых дерново-подзолистых почв под лесом оказывается соизмеримой с интенсивностью водоотдачи из снега в периоды весеннего половодья. Такой вывод, в частности, был сделан С. Ф. Федоровым [176] по результатам многолетних исследований в Новгородской области.

Водно-физические свойства почв существенно различаются также в зависимости от произрастающих на них насаждений. Лиственные породы оказывают, как правило, положительное влияние на гидрологические свойства почв. Такое воздействие обуславливается как спецификой биологических и химических процессов, так и чисто физическим влиянием. Здесь почвы полнее осваиваются корневыми системами [114, 142], в них накапливается больше гумуса, больше землеройных животных и продуктов их жизнедеятельности, в частности в десятки раз больше численность дождевых червей [64, 142, 187].

На объектах наших исследований наиболее существенное воздействие на почву зарегистрировано под смешанными елово-лиственными насаждениями (табл. 5.5). Практически на всех объектах почвы под их пологом имеют более низкую плотность, чем под однопородными как лиственными, так и хвойными (еловыми) лесами. При этом не замечено существенного изменения этого по-

Таблица 5.5

Плотность верхнего 10-сантиметрового слоя дерново-среднеподзолистых суглинистых почв в насаждениях различного состава
Московская область

Насаждение, объект	Число объектов	Возраст древостоя, лет	Сомкнутость крон	Плотность, г/см ³	
				средняя	крайние значения
Еловое	4	30—50	0,8—1,0	1,00	0,94—1,04
Еловое с примесью березы до 20 %	4	35—80	0,6—0,8	1,04	1,00—1,09
Елово-лиственное	3	50—70	0,7	0,90	0,84—0,98
Лиственное	4	30—60	0,6—0,7	1,04	1,00—1,08
Вырубка со злаково-осоковым травостоем	2			1,25	1,18—1,31
Вырубка с подростом ели	1			0,98	

Таблица 5.6

Плотность почв в 20-летних насаждениях различного состава, созданных на старопахотных землях Загорский лесхоз, почва дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая

Насаждение	Генетический горизонт	Глубина, см	Плотность почвы, г/см ³
Березовое	A ₁ A ₂	5—10	1,14
	B	40—45	1,54
Еловое	A ₁ A ₂	5—10	1,31
	B	40—45	1,58
Сосновое	A ₁ A ₂	5—10	1,21

казателя при снижении сомкнутости крон от полной до 0,6—0,7. На участках, где было сохранено естественное возобновление ели, плотность почв также имеет значения, характерные для взрослых насаждений. В то же время на вырубках, в травяном покрове которых преобладают злаки и осоки, наблюдается существенное уплотнение почв.

В лесных культурах 20-летнего возраста, созданных на площадях, вышедших из-под сельскохозяйственного пользования, плотность верхнего 15-сантиметрового слоя почв (1,02—1,12 г/см³) была близка к ее значениям под сформировавшимися взрослыми насаждениями естественного происхождения (1,14 г/см³).

Наблюдения подтвердили имеющиеся в литературе данные о том, что под различными насаждениями и видами угодий водно-физические свойства почв различаются только в верхнем гумусово-аккумулятивном и гумусово-элювиальном горизонтах. Иллювиальные же горизонты имеют сходные свойства в разных насаждениях (табл. 5.6). Это показывает, что гидрологические свойства почв определяются в основном влагоемкостью лесной подстилки и горизонтов A₁ и A₂. В этой связи возникает вопрос об интерпретации имеющихся в литературе многочисленных данных о высоких значениях фильтрации и инфильтрации в почвах — порядка десятков и даже сотен миллиметров в 1 ч. Это в большинстве своем не что иное, как растекание влаги в пределах гумусовых горизонтов, связанное с заполнением всех пор водой вплоть до образования верховодки. В значительной мере она обусловлена также наличием замкнутых микрозападин, являющихся аккумуляторами влаги [155].

Особенно выделяются повышенной водопроницаемостью почвы под лиственными и смешанными насаждениями в наиболее важный в гидрологическом отношении весенний период. Это связано с меньшим их промерзанием. Нередки годы (см. п. 5.2.2.), когда почва под лиственными насаждениями остается талой, а под хвойными промерзает на значительную глубину. Водопроницаемость почв в промерзшем состоянии уменьшается в несколько раз. На

фоне меньшего промерзания почв в лиственных и смешанных насаждениях условия для поглощения почвой влаги и последующей ее фильтрации благоприятнее, чем в хвойных лесах, особенно в весенний период.

Учитывая большую гидрологическую роль почв, их иногда рассматривают как важнейшее и определяющее звено влагооборота водосборов. Именно здесь, согласно М. И. Львовичу [92] и Г. В. Назарову [113], формируются основные различия стока, свойственные лесным и полевым фитоценозам. Нам представляется, однако, что при таком подходе применительно к лесным водосборам недооцениваются гидрологические воздействия самого лесного полога, которые, хотя прямо и не связаны с почвами, оказывают большое, а в ряде случаев и решающее влияние на их гидрологическую роль. К таким воздействиям относится снижение интенсивности поступления влаги, уменьшение промерзания, гашение ударной силы капель дождя, защитная роль подстилки и т. п. Именно по этой причине, будучи лишенными лесного полога, почвы быстро теряют свои водорегулирующие свойства, что, в частности, имеет место на гарях и вырубках, где усиленное питание подземных вод сменяется заболачиванием, возрастает поверхностная составляющая стока.

Вместе с тем почвы открытых (полевых) водосборов, находясь в непосредственном контакте с атмосферными факторами, оказывают, надо полагать, несколько большее прямое воздействие на гидрологические процессы. В этой связи различны и пути регулирования влагооборота (составляющих стока) полевых и лесных водосборов: *в полях — в основном через почву (вспашка, щелевание, рыхление и т. п.), в лесах — через сам фитоценоз (изменение состава, продуктивности, густоты и т. п.)*.

Специфика влияния отдельных насаждений на почву обуславливается также различиями микроклимата в насаждениях, особенностями температурного режима почв и протекающими в них криогенными процессами.

5.2.2. Промерзание почвогрунтов и факторы, его обуславливающие

Промерзание почвогрунтов в лесах в значительной мере обуславливается метеорологическим режимом в подпологовом пространстве. Общие закономерности влияния лесов на микроклимат отражены в ряде сводок по данному вопросу [70, 105, 131, 165] и др. Выявлены особенности метеорологического режима насаждений для отдельных регионов, в том числе в связи с проведением различных лесохозяйственных мероприятий [131, 165]. Вместе с тем сведения о микроклиматической роли насаждений различной структуры на фоне погодных условий отдельных лет, сезонов и более коротких периодов пока еще недостаточны для обобщаю-

щих выводов. Особенно ограничены материалы по влиянию лесов на метеорологический режим в холодный период года. Эти вопросы, а также некоторые зависимости между отдельными метеорологическими элементами на открытых территориях и в насаждениях различного состава кратко рассматриваются ниже.

Основное воздействие леса на элементы микроклимата связано с поглощением либо трансформацией пологом солнечной радиации, а также с замедлением циркуляции воздуха вблизи земной поверхности. По нашим данным [24], весной под пологом елового леса проникает в среднем не более 5—7 %, смешанного елово-лиственного леса — 14 % и лиственного насаждения — 32 % суммарной солнечной радиации. Летом в период полного облиствления полога эти показатели еще меньше — соответственно 4, 5 и 6 %.

Температура воздуха и почвы, а также другие элементы микроклимата являются производными радиационного режима. В летний период средние и максимальные значения температуры воздуха под пологом леса обычно ниже (до 1,5—2 °С), чем на открытых пространствах. В то же время минимальная температура воздуха в лесу на несколько десятых долей градуса ниже, чем на открытых местах [103, 131, 165].

Самые большие различия температуры воздуха в лесу и поле наблюдаются обычно ночью и рано утром. В это время в лесу (Восточная Сибирь) может быть теплее, чем в поле, на 2—4 °С [53]. В лесу меньше вертикальный градиент температуры воздуха. Если на открытых местах (вырубка), по данным работы [53], разница значений температуры на высоте 5 и 150 см от поверхности почвы составляла 3 °С, то под пологом леса она равнялась только 0,3—0,5 °С.

Характеристику температурного режима насаждений различного состава приводим по осредненным данным 11-летнего периода непрерывных метеорологических наблюдений на Истринском опорном пункте (табл. 5.7). Из данных таблицы видно, что при средней за 1964—1974 гг. температуре воздуха на открытой территории 4,3 °С (полевая метеорологическая площадка), в лиственном и елово-лиственном лесах она составляет 3,8 °С, а в еловом 3,6 °С. При этом в зимние месяцы отклонения температуры в лесу в сторону ее понижения не превышают, как правило, 0,3—0,4 °С (в отдельные сроки они положительны). Весной, в связи с более ранним сходом снега в поле, охлаждающее влияние леса заметно увеличивается (до 0,5—0,7 °С). Вместе с тем после схода снега (конец апреля — май) температура воздуха в насаждениях и на открытых местах вновь сближается (разница менее 0,2—0,3 °С).

В летний период средняя за ряд лет температура оказалась ниже, чем в поле, на 1,2 °С под пологом елового леса и 0,9—1,1 °С под пологом лиственного и елово-лиственного насаждений. При

Таблица 5.7

Средние месячные значения температуры воздуха в лесу и на открытом месте, °С

Истринский опорный пункт, ЭП-1—ЭП-3 (см. табл. 2.1, 2.2), 1964—1974 гг.

Месяц	Откры- тое место (1)	Листвен- ный лес (2)	Разность (2) — (1)	Смешан- ный лес (3)	Разность (3) — (1)	Еловый лес (4)	Разность (4) — (1)
Октябрь	5,3	4,8	—0,5	4,8	—0,5	4,8	—0,5
Ноябрь	—1,6	—1,9	—0,3	—1,9	—0,3	—1,9	—0,3
Декабрь	—5,8	—6,1	—0,3	—5,9	—0,1	—6,1	—0,3
Январь	—11,6	—11,7	—0,1	—11,7	—0,1	—12,0	—0,4
Февраль	—8,8	—9,1	—0,3	—8,9	—0,1	—9,2	—0,4
Март	—3,2	—3,3	—0,1	—3,3	—0,1	—3,7	—0,5
Апрель	4,8	4,3	—0,5	4,4	—0,4	4,1	—0,7
Май	11,6	11,4	—0,2	11,3	—0,3	10,9	—0,7
Июнь	15,7	15,2	—0,5	15,2	—0,5	14,9	—0,8
Июль	17,7	16,7	—1,0	16,8	—0,9	16,5	—1,2
Август	16,5	15,4	—1,1	15,4	—1,1	15,3	—1,2
Сентябрь	10,8	10,2	—0,6	9,9	—0,9	10,0	—0,8
Год	4,3	3,8	—0,5	3,8	—0,5	3,6	—0,7
Абсолютный минимум	—34,7	—32,3	—2,4	—32,6	2,1	—32,5	2,5
Абсолютный максимум	35,0	32,9	—2,1	32,0	—3,0	32,0	—3,0

прочих равных условиях различия температуры в лесу и поле выражены значительно в дни с солнечной погодой и особенно сильно при резких сменах погодных явлений, когда под пологом леса в силу замедленной циркуляции воздуха и экранирующей роли полога наблюдается четко выраженная инерционность хода метеорологических элементов. В такие периоды в отдельные сроки наблюдений различия температуры воздуха под пологом елового леса и в поле достигали 9 °С (июль 1965 г.). Под лиственными и смешанными насаждениями подобные различия не превышали 7,5 °С.

Относительная влажность воздуха летом в лесу выше, чем в поле, на 10—17 % [24]. Это обусловлено в основном более низкой температурой в лесу. Абсолютная влажность в лесу и поле различается на 0,8—2,6 гПа. Различия возрастают по мере увеличения сомкнутости крон и достигают максимума в двухъярусном елово-лиственном насаждении с хорошо развитым подлеском. Под пологом чистого елового леса, где подлесок отсутствует, усиливается циркуляция воздуха и влажность оказывается несколько ниже, чем в других древостоях. Имеет значение также неравномерная сомкнутость крон в данном насаждении.

Имеющиеся материалы по температурному режиму лесных почв ограничиваются обычно данными кратковременных наблюдений. Сведения о влиянии структуры насаждений на этот показатель практически отсутствуют. В связи с этим нами предпринята

попытка охарактеризовать температурный режим почв как по осредненным данным за 1967—1974 гг. (Истринский опорный пункт), так и применительно к отдельным наиболее контрастным по погодным условиям годам [26].

Температурный режим почвогрунтов, кроме непосредственного воздействия на жизнедеятельность растений, оказывает существенное влияние на отдельные гидрологические процессы. С ним связано промерзание, или криогенные явления, термоградиентное передвижение влаги и ее испарение. Более низкая температура лесных почвогрунтов выступает как фактор охлаждения почвенных и грунтовых вод. В этом отношении почвогрунты можно рассматривать как обширную охлаждающую систему, от воздействия которой в прямой зависимости находится качество воды — ее химический состав и бактериальная насыщенность. Пониженная температура лесных почвогрунтов снижает растворимость минеральных и органических веществ и предотвращает их вымывание с водосборов.

Анализ температурного режима почвогрунтов позволяет также объяснить некоторые явления, связанные со сроками установления снежного покрова, ходом снеготаяния и формированием микроклимата приземного слоя воздуха. Наконец, температура почвогрунтов является важнейшим фактором жизнедеятельности и распространения корней, с которыми в свою очередь связаны многие гидрологические процессы.

Основные особенности температурного режима почвогрунтов рассмотрим на примере спелого елового леса (ЭП-3) и луга (залежь, ЭП-4). В качестве контрастных взяты 1967 и 1969 гг. Первый из них характеризовался относительно засушливым летом (температура воздуха за май — сентябрь была выше средней за 1967—1974 гг. на 1,5 °С, а количество осадков — ниже нормы на 13 %). Зимой температура воздуха была на 1,1 °С ниже средней. Благодаря хорошему прогреванию почв летом и значительной высоте снежного покрова (46 см в еловом лесу, 82 см на залежи) проникновение отрицательных значений температуры в почвогрунты как в лесу, так и в поле не наблюдалось.

1969 г. характеризовался как слабо обеспеченный теплом, но влажный. Низкие значения температуры зимой при относительно невысоком снежном покрове (48 см на залежи и 37 см в лесу) обусловили повсеместно сравнительно глубокое промерзание почвогрунтов (79 см на залежи и 139 см в еловом лесу).

В среднем за период наблюдений в верхнем корнеобитаемом слое (на глубине 20 см) годовая температура почвы под еловым лесом была ниже, чем в поле, на 1,1 °С. С глубиной эти различия увеличивались и на глубине 320 см составили 2,1 °С. При этом зимой различия температуры сравниваемых почвогрунтов в верхнем 1,5—2-метровом слое не выходили, как правило, за пределы десятых долей градуса, в то время как летом они достигали 8—

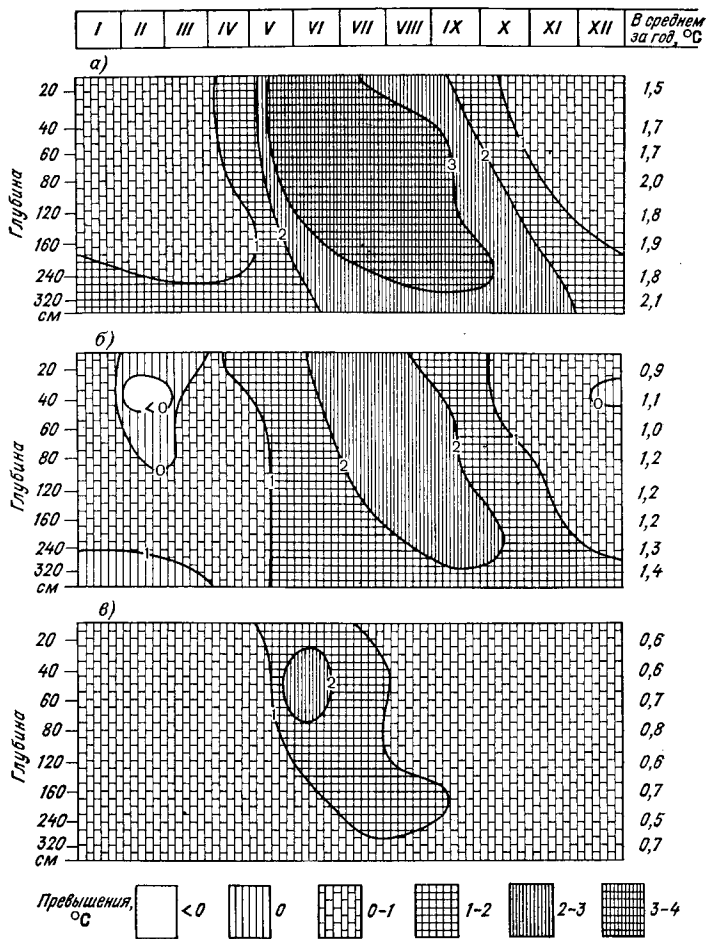


Рис. 5.1. Превышение средней месячной температуры почвогрунтов (°С) в поле (залежь) над ее значениями в еловом (а) и лиственном (б), а также в лиственном лесу над ее значениями в еловом лесу (в). Истринский опорный пункт, 1967—1974 гг.

9 °С в верхнем 5—10-сантиметровом слое и 3—4 °С в нижележащих горизонтах до глубины 2 м (рис. 5.1). Глубже 2 м различия температуры в лесу и поле, как отмечалось выше, в среднем за год имеют максимальные значения (1,9—2,1 °С), но по сезонам года колебания температуры здесь выражены слабее, чем в выше-расположенных горизонтах.

Необходимо отметить, что основные специфические особенности температурного режима лесных и полевых почв формируются

в ранневесенний период. Именно в это время различия температуры между лесом и полем в верхних горизонтах почвы возрастают с десятых долей градуса до 5—8 °С. Эти различия с некоторым опозданием отмечаются затем в более глубоких слоях почвогрунтов. Они здесь постепенно уменьшаются, но все же сохраняются значительными до конца вегетационного периода. Ход температуры на сравниваемых объектах тесно связан с глубиной промерзания почв, сроками схода снежного покрова и другими факторами (табл. 5.8).

В годы с глубоким промерзанием почв, особенно сочетающимся со значительным запаздыванием схода снега в лесу (1969 г.), различия температуры почв в лесу и поле достигают максимума (6—8 °С). В этих условиях полное оттаивание почв под темнохвойным лесом наблюдалось только в начале июня, а устойчивое повышение температуры почв в лесу наступило на 32 дня позже, чем в поле. Максимальная интенсивность прогревания почвы под лесом при этом не превышала 4,3 °С в месяц, в то время как в поле она достигала 8,3 °С. К концу мая почва в поле прогрелась на глубину 320 см, а под лесом — только на 160 см.

При мягкой многоснежной зиме (1967 г.) и незначительных различиях в сроках схода снежного покрова (3 сут) максимальные различия температуры почв под лесом и залежью уменьшались до 3,5—5,7 °С. При этом промерзание почв не отмечалось, а устойчивое повышение температуры почвы под лесом наступило уже в апреле и лишь на 15 сут позже, чем в поле. Характерно, что если весной различия температуры сравниваемых почв обуславливались в основном запаздыванием в прогревании лесных почв, то летом эти различия уменьшались за счет более интенсивного прогревания этих же лесных почв.

Температурный режим лесных почв заметно различается в зависимости от состава насаждений (табл. 5.9). В соответствии с большим проникновением солнечной радиации под полог лиственных насаждений в них практически на всех глубинах почвогрунты имеют повышенную температуру. В верхних горизонтах различия наиболее значительны в начале лета. В апреле до распускания листьев температура поверхности почвы в лиственном насаждении оказалась выше, чем в еловом лесу, на 1,9 °С. В более глубоких слоях максимальные различия температуры наблюдаются позже и в среднем за 12-летний период наблюдений, как правило, не выходили за пределы 1 °С.

Температурный режим почвогрунтов имеет также существенное значение как фактор жизнедеятельности корневых систем растений. По имеющимся данным [118], интенсивный рост корней древесных пород наблюдается при температуре выше 9—10 °С. Под лесом продолжительность периодов с такой температурой значительно уменьшается по сравнению с травянистой растительностью, как и глубины, до которых регистрируются ее значения. В сред-

Таблица 5.8

Характеристика факторов температурного режима почв и грунтов в условиях елового леса и залежи в поле

Истринский опорный пункт

Показатель	Среднее за 1967—1974 гг.		Засушливый 1967 г.		Прохладный и влажный 1969 г.	
	залежь	лес	залежь	лес	залежь	лес
Средняя температура воздуха, °С:						
год	4,3	3,6	4,8	4,2	2,6	2,3
теплый период	11,7	10,3	13,2	12,2	11,1	10,6
холодный период	—6,0	—6,9	—7,1	—7,2	—9,4	—9,7
Годовая амплитуда температуры воздуха, °С	26,6		36,6		37,8	
Дата установления снежного покрова	1/XII	26/XI	1/XII	17/XII	12/XI	12/XI
Максимальная высота снежного покрова, см	53	41	82	46	48	37
Плотность снега, г/см ³	0,28	0,25	0,25	0,22	0,23	0,23
Дата схода снежного покрова	7/IV	17/IV	13/IV	16/IV	13/IV	20/IV
Глубина промерзания почвогрунтов, см	51	72	Почва талая		79	139
Сроки оттаивания почвы	15/IV	8/V	Почва талая		7/IV	7/VI
Осенние запасы влаги в 1,5-метровом слое почвогрунтов, мм	416	378	Нет данных		446	410
Начало устойчивого повышения температуры почвогрунтов в весенне-летний период на глубинах, см:						
20	21/IV	8/V	12/IV	27/IV	29/IV	1/VI
60	21/IV	11/V	14/IV	13/IV	2/V	28/V
120	25/IV	11/V	16/IV	1/V	3/V	29/V
320	16/V	3/VI	1/V	21/V	25/V	19/VI
Средняя интенсивность прогревания почв в апреле — июне (°С/мес) на глубинах, см:						
20			6,4	4,7	3,1	3,9
60			3,4	4,6	2,5	3,5
120			2,3	3,2	1,8	1,4
320			0,5	0,8	0,3	0,6
Начало устойчивого понижения температуры почвы в осенне-зимний период на глубинах, см:						
20	7/XI	6/XI	24/XI	3/XI	6/XI	7/XII
60	24/X	30/X	3/XI	4/XI	29/XI	29/XI
120	8/XI	8/XI	7/XI	6/XI	3/XII	5/XII
320	27/X	21/X	28/XI	13/XI	3/XII	5/XII

Показатель	Среднее за 1967—1974 гг.		Засушливый 1967 г.		Прохладный и влажный 1969 г.	
	залежь	лес	залежь	лес	залежь	лес
Превышение средней годовой температуры почвы на глубине 20 см над температурой воздуха в поле, °С	2,3	0,7	2,4	0,9	3,4	1,7
То же над температурой воздуха в лесу, °С		2,4		1,5		2,0
Сумма значений температуры выше 10 °С на глубинах, см:						
20	1712	1098	2000	1172	1458	1053
60	1541	1083	1950	920	1400	427
120	1214	200	1582	457	1061	0
Число суток с температурой выше 10 °С на глубинах, см						
20	123	89	147	98	103	74
60	122	66	148	95	107	56
120	103	19	140	44	90	0
Годовая амплитуда колебаний температуры почвы (°С) на глубинах, см:						
поверхность	42,5	30,0	52,5	34,3	44,8	36,7
20	15,6	13,6	16,6	13,2	16,3	14,8
320	5,2	4,4	5,4	4,8	4,9	4,5

Таблица 5.9

Средние месячные значения температуры почвогрунтов в еловом (1) и лиственном (2) насаждениях за период 1967—1974 гг., °С
Истринский опорный пункт

Глубина, см	I		IV		VII		X	
	1	2	1	2	1	2	1	2
0	-9,2	-9,0	3,3	5,2	17,9	17,5	4,4	5,2
20	-0,1	-0,4	0,8	1,1	12,3	13,3	5,5	5,8
40	0,8	1,0	0,6	1,0	11,0	12,1	6,3	6,6
60	1,2	1,3	0,7	1,1	10,3	11,7	6,7	6,9
120	2,4	2,7	1,2	1,6	8,4	9,2	7,3	7,8
240	4,5	4,6	2,7	2,9	5,7	6,5	7,5	7,9
320	4,8	5,4	3,0	3,6	4,7	5,5	7,0	7,6

нем переход температуры через 10 °С под лесом наступает обычно на 25—35 сут позже и заканчивается на 5—10 сут раньше, чем под травянистой растительностью. В этой связи продолжительность периодов активной жизнедеятельности корней заметно

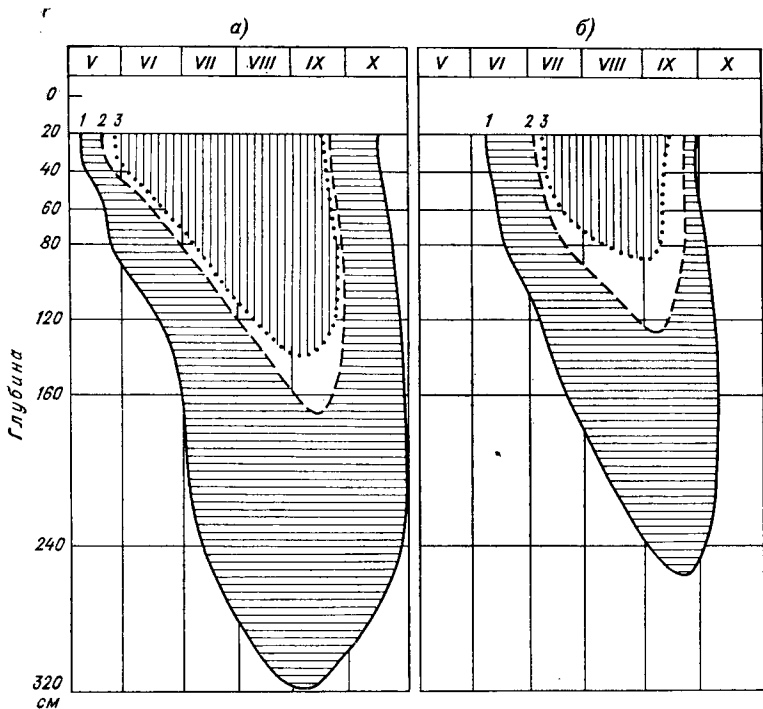


Рис. 5.2. Изолинии активной температуры (выше 10°C) в почвогрунтах под разными видами растительности. Истринский опорный пункт.

а — 1967 г. (сухой и теплый), *б* — 1969 г. (влажный и прохладный); 1 — травянистая растительность (залежь), 2 — лиственный лес, 3 — еловый лес.

уменьшается: на глубине 20 см — на 35—40 сут, на глубине 80 см — на 50—55 сут, а глубже 120 см активная для роста корней температура вообще не регистрируется. В то же время под травянистой растительностью в поле продолжительность периода с активной температурой на глубине 240 см достигает 70—75 сут.

В зависимости от состава насаждений существенно различается обеспеченность почвогрунтов активной температурой. Так, в 1967 г. суммы суточных значений активной температуры под еловым лесом на глубинах 20—60 см достигали 828—1030 $^{\circ}\text{C}$, а во влажном 1969 г. не превышали 465—993 $^{\circ}\text{C}$. При этом в 1967 г. они под лесом регистрировались до глубины 120 см, где сумма их составляла 457 $^{\circ}\text{C}$ при продолжительности 44 дня, а в 1969 г. проникновение активной температуры ограничивалось глубиной 80 см при сумме на этой глубине, равной только 108 $^{\circ}\text{C}$, и продолжительности 9 сут (рис. 5.2). Под травянистой растительностью (залежь) суммы значений активной температуры почвогрунтов, как

Таблица 5.10

Суммы суточных значений активной температуры почвогрунтов в различных видах угодий, средние за 1968—1970 гг., °С
Истринский опорный пункт

Глубина, см	Залежь	Лес		
		лиственный	смешанный	еловый
0	1170	1020	1036	891
5	2622	1475	1329	1153
10	2212	1314	1224	1071
15	2121	1269	1186	1027
20	1596	1159	1040	718
40	1454	990	924	666
60	1435	909	841	512
80	1415	776	550	207
120	1233	260	198	105
160	1060	0	0	0
240	577	0	0	0
320	0	0	0	0

и глубины их проникновения, по годам различались в меньшей степени. В еловом лесу этот показатель практически на всех глубинах был на 200—300 °С меньше, чем в лиственном насаждении (табл. 5.10).

Смешанные насаждения по температурному режиму почвогрунтов в общем стоят несколько ближе к лиственным, чем к чисто хвойным (еловым) лесам.

В целом приведенные материалы позволяют считать, что неблагоприятный термический режим почвогрунтов наряду с другими отрицательными условиями (избыточное увлажнение, высокая плотность иллювиальных горизонтов) в лесной зоне выступает в качестве фактора, ограничивающего мощность корнеобитаемого слоя. При этом в лиственных и смешанных лесах термические условия несколько лучше для распространения и роста корней, чем в темнохвойных насаждениях.

С температурой почв тесно связано промерзание почвогрунтов — один из основных факторов влагооборота на водосборах и отдельных фитоценозов в холодный и особенно в весенний период года.

Промерзание в лесах и на открытых участках имеет неодинаковое гидрологическое значение. Так, А. И. Субботин [159] пришел к выводу, что в лесу (основные наблюдения проводились в лиственных насаждениях) весной практически всегда наблюдается инфильтрация влаги в почву вне зависимости от глубины ее промерзания. В то же время в поле инфильтрация имеет место только при слабом промерзании.

Основные закономерности промерзания лесных почв рассмотрены в работах М. И. Сахарова [152], А. А. Молчанова [103, 104, 105], А. И. Субботина [159] и др. По их мнению, в лесах почвы обычно промерзают на меньшую глубину, чем на открытых пространствах. Однако другие исследования показали, что эта закономерность бесспорна только применительно к листовым, светлохвойным и смешанным хвойно-лиственным насаждениям [23]. Что касается почв еловых лесов, то их промерзание в сравнении с почвами в поле неоднозначно. В ряде случаев либо не наблюдаются заметных различий в промерзании почв под еловыми лесами и на открытых местах, либо под лесами отмечается более сильное промерзание [23, 154]. По данным В. Д. Зеликова [50], максимальное промерзание почв имеет место в молодняках. Наши наблюдения (1979 г.) в Загорском лесхозе подтвердили эту закономерность. В 60-летнем еловом насаждении почва промерзала на глубину 37 см, в 20-летних посадках ели — на 46,7—68,5 см, а в 17-летнем насаждении естественного происхождения — на 51,5 см. В листовых насаждениях 20—30-летнего возраста промерзание прослеживалось не глубже 8—14 см, а под 20-летними сосняками составляло 37,5—46,6 см. В посадках хвойных пород промерзание во всех случаях было заметно большим (на 5—10 см) под сомкнутыми кронами в рядах, чем в междурядьях.

Вместе с тем приводятся данные о том, что под всеми лесами, в том числе и под густыми ельниками, почвы промерзают на меньшую глубину, чем в поле. При этом различия в промерзании очень существенны. Так, по данным В. В. Осипова [120], в условиях Ярославской области в поле промерзание колебалось по годам от 26 до 125 см, в листовом лесу — от 0 до 20 см, а в еловом — от 9 до 45 см. Согласно Федорову [176], в Новгородской области в еловом лесу промерзание за ряд лет составило 17 см (колебания от 2 до 54 см), а на пашне — 42 см (8—96 см).

Такие различия соотношений глубины промерзания между еловыми лесами и полем, на наш взгляд, нельзя объяснить ни региональными условиями, ни особенностью структуры насаждений, ни погодными явлениями. Не исключено, что причины такого явления связаны с различиями условий на объектах наблюдений. По-видимому, в ельниках имело место более высокое стояние грунтовых вод, что типично для северных районов, где и зарегистрированы случаи слабого промерзания почв.

Утепляющая роль грунтовых вод неоднократно отмечалась в литературе [104, 105, 159]. А. И. Субботин [159] пришел к выводу, что глубина промерзания зависит не столько от высоты снежного покрова и других факторов, сколько от характера рельефа и близости грунтовой воды к поверхности почвы.

По нашим данным (табл. 5.11) в среднем за 1963—1975 гг. на экспериментальных площадках наибольшая глубина промерзания почвы в конце зимы под еловым лесом составляла 54 см, под

Таблица 5.11

Глубина промерзания почв в лесных насаждениях различного породного состава и в поле, см
Истринский опорный пункт

Объект наблюдений	Годы							
	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Лиственный лес, ЭП-1	38	47	0	11	0	17	63	13
Смешанный лес, ЭП-2	74	82	22	26	0	28	93	19
Еловый лес, ЭП-3	92	85	0	47	0	49	121	29
Луг разнотравный (залежь), ЭП-4	45	47	0	14	0	31	59	17
Поле (пашня)	Нет данных							18

Продолжение

Объект наблюдений	Годы					Средняя	Максимальная
	1971	1972	1973	1974	1975		
Лиственный лес, ЭП-1	19	56	40	13	2	24	63
Смешанный лес, ЭП-2	41	78	54	19	4	42	93
Еловый лес, ЭП-3	70	111	63	24	8	54	121
Луг разнотравный (залежь), ЭП-4	51	78	73	42	2	35	78
Поле (пашня)	82	72		41			

Таблица 5.12

Мощность мерзлого слоя в почве к моменту окончания снеготаяния, см
Истринский опорный пункт

Объект наблюдений	Годы									Средняя
	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	
Лиственный лес, ЭП-1	-0	5	14	0	0	0	0	0	10	3
Смешанный лес, ЭП-2	26	47	42	7	0	8	1	0	37	19
Еловый лес, ЭП-3	59	83	37	12	0	12	12	0	39	28
Залежь, ЭП-4	39	59	49	6	0	0	5	0	13	18
Пашня	71	54	69			Нет данных				

травянистой растительностью (залежь) — 35 см, под лиственным лесом — 24 см и под смешанным лесом — 42 см. За отдельные годы максимальная глубина промерзания равнялась соответственно 121, 78, 63 и 93 см. Глубина промерзания на пашне мало отличалась от ее значений на залежи.

Для гидрологических процессов особенно важное значение имеет соотношение сроков оттаивания почв и окончания снеготаяния. Из данных табл. 5.12 видно, что под лиственным насажде-

нием только в три года (1972, 1973, 1979) из девяти к моменту окончания снеготаяния в почве оставался промерзший слой мощностью от 5 до 14 см, а под еловым лесом только в двух случаях почва полностью оттаивала. Во все другие годы в ельниках сохранялся промерзший слой мощностью от 12 до 83 см. Наличие такого слоя в эти же годы отмечалось и под смешанным насаждением, но мощность его ограничивалась 1—47 см. Под травянистой растительностью в годы с небольшим промерзанием (1975, 1976, 1978) почва также успевала практически полностью оттаять к моменту окончания снеготаяния.

Максимальная глубина промерзания почвы приходится на различные периоды зимы. При глубоком промерзании это, как правило, март — начало апреля, при слабом — уменьшение слоя промерзания обычно регистрируется значительно раньше, иногда в январе — феврале, и происходит снизу за счет утепляющего воздействия глубинных слоев грунтов (рис. 5.3).

Высота снежного покрова является важным, но не решающим фактором промерзания почвы. В отдельные годы промерзание не отмечается или имеет незначительную глубину и при малой высоте снежного покрова. Это наблюдается либо в теплые зимы, либо в тех случаях, когда снежный покров значительной высоты устанавливается до наступления сильных холодов. Прослеживается также зависимость глубины промерзания от степени прогревания почвы в теплый период года. Если почва уходит под снег с большим запасом тепла, отрицательная температура проникает в глубинные горизонты заметно медленнее, что в конечном счете сказывается на максимальной глубине промерзания.

Существенное влияние на промерзание оказывает лесная подстилка. Согласно Сахарову [153], удаление подстилки в 50-летнем осиннике привело к тому, что до установления снежного покрова почва здесь промерзала на глубину до 35 см, в то время как под подстилкой только на 5 см.

Прореживание хвойных насаждений ведет к уменьшению глубины промерзания почв. При 50 %-ном изреживании 20-летних молодняков промерзание уменьшилось примерно на 30 % в ельнике и на 20 % в сосновом насаждении. При прореживании лиственного насаждения промерзание ощутимо не изменилось (табл. 5.13).

Наиболее существенно сказалось на промерзании почв периодическое удаление снежного покрова (по мере его появления). Такие опыты были поставлены зимой 1970-71 г. на Истринском опорном пункте (табл. 5.14). Удаление снега увеличило глубину промерзания почв под залежью с 51 до 123 см, под еловым лесом с 71 до 124 см и под лиственным лесом с 20 до 100 см. Более слабое промерзание почв в лиственном, чем в хвойном лесу, при отсутствии снежного покрова связано, надо полагать, с различиями в степени летнего прогревания почв.

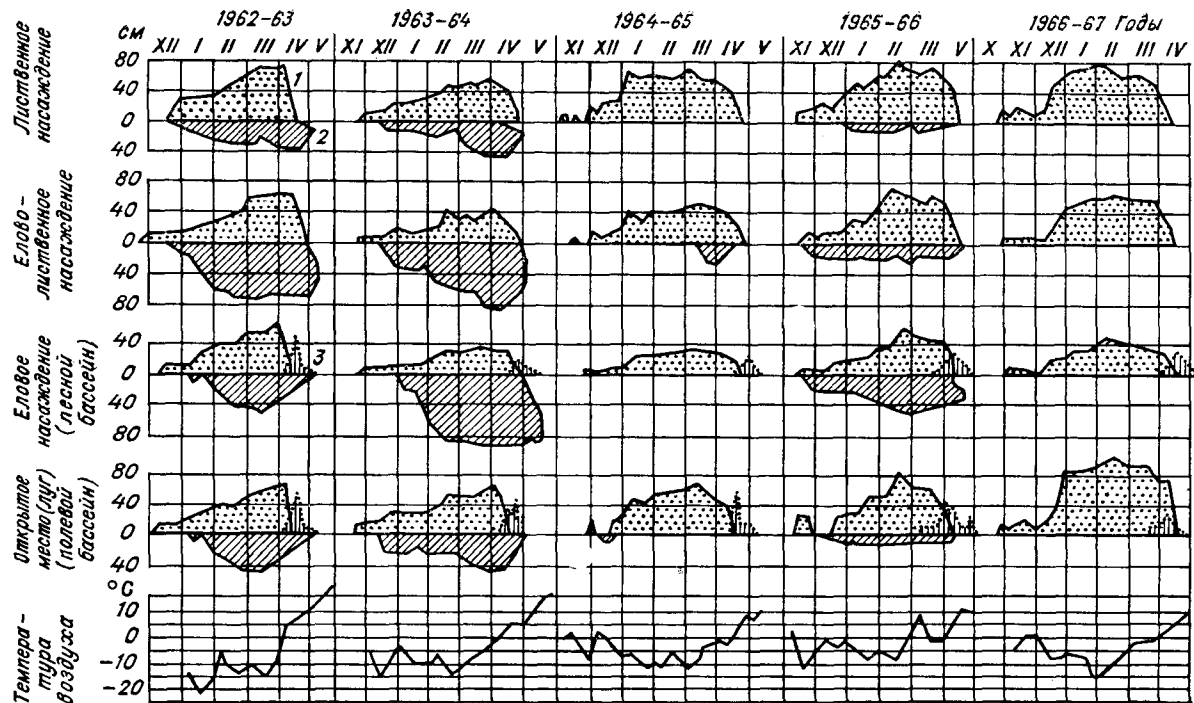


Рис. 5.3. Ход глубин промерзания и оттаивания почв под лесными насаждениями и на открытом месте. Истринский опорный пункт.

1 — высота снежного покрова, см; 2 — глубина промерзания почвы, см; 3 — гидрограф поверхностного стока, мм.

Остановимся на пространственной изменчивости глубины промерзания почвогрунтов. Этот показатель имеет важное значение для оценки точности наблюдений и для уточнения имеющихся представлений о закономерностях фильтрации влаги в почву в весенний период. В 1969 г. на стационарных объектах Истринского опорного пункта наблюдения под еловым лесом проводились по 23 мерзлотомерам, а под лиственным и смешанным насаждениями — по 9—13.

Под еловым лесом при средней глубине промерзания 121 см колебания значений в отдельных точках составляли 66—139 см, в смешанном насаждении — соответственно 93 см (среднее) и 52—125 см, а в лиственном 63 и 37—106 см.

Таблица 5.13

Влияние густоты 20-летних насаждений на промерзание суглинистых почв
Загорский лесхоз, 1979 г.

Насаждение	Сомкнутость крон	Глубина промерзания, см	Высота снежного покрова, см
Березовое	0,9	14	58
	0,6	13	58
Еловое	1,0	66	34
	0,6	45	39
Сосновое	0,9	37	45
	0,5	29	52

В заключение отметим, что и по высоте снежного покрова, и по промерзанию почв лиственные и смешанные насаждения характеризуются как наиболее благоприятные в гидрологическом отношении. В лиственных лесах наибольшей является вероятность наличия участков с талой почвой, служащей в периоды весеннего половодья очагами фильтрации влаги.

Таблица 5.14

Промерзание почв в зависимости от высоты снежного покрова
Истринский опорный пункт, 1970-71 г.

Показатель	Залежь		Лиственный лес		Еловый лес	
	под снегом	без снега	под снегом	без снега	под снегом	без снега
Глубина промерзания, см:						
30/XII	17	14	6	13	18	28
29/I	33	50	5	31	25	54
26/II	43	97	19	82	60	101
26/III	50	123	19	100	Нет данных	
30/IV	12	114	0	43	55	116
Максимальная глубина промерзания, см	51	123	20	100	71	124
Начало оттаивания:						
сверху	18/III	2/IV	26.III	5/IV	26.III	6/IV
снизу	26/III	1/IV	26/III	6/IV	26/III	2/V
Конец оттаивания	24/IV	17/V	20/IV	8/V	24/V	4/VI

5.3. Гидрологическая роль корневых систем

Анализ влагооборота растений и растительных сообществ свидетельствует, что гидрологическая роль их в большей мере зависит от глубины проникновения корневых систем и степени насыщенности ими почвогрунтов. Если пологом растительности обуславливаются потенциальные возможности транспирации, то подземными органами определяются ее фактические значения, степень возможного потребления влаги, просочившейся в почву, и возврата ее в атмосферное звено круговорота. Кроме того, корневым системам принадлежит решающая роль в формировании водорегулирующих свойств насаждений через изменение фильтрационной способности и влагоемкости почвогрунтов.

Вместе с тем корневые системы остаются слабо изученным элементом экосистем. Если по факторам наземного звена влагооборота фитоценозов, в частности их роли в задержании и перераспределении осадков, ежегодно появляются сотни публикаций, то по подземной сфере растений публикации единичны и касаются, как правило, водорегулирующего аспекта их гидрологической роли. Водоохранный аспект гидрологической роли корневых систем (их влияние на испарение и сток влаги) практически не обсуждается, что, на наш взгляд, является пробелом в познании проблемы гидрологической роли растительного покрова и особенно механизмов ее проявления.

Недостаток сведений о корневых системах часто приводит к необоснованным аналогиям и ошибочным выводам. Нередки случаи, когда представления о корневых системах древесных растений, полученные в специфических условиях, например в степи, без достаточных оснований рассматривают как проявление общей закономерности, используют их для обоснования основополагающих выводов и положений. Широкое распространение имеют, в частности, представления о глубине проникновения корней древесных растений в почвогрунты, полученные по материалам исследований в южных районах или на аazonальных (чаще всего песчаных) почвогрунтах. Так, данные Г. Н. Высоцкого и других исследователей для указанных районов, свидетельствующие о глубоком (5—6 м и глубже) укоренении древесных растений, широко используются в научной и учебной литературе, относящейся к другим регионам. Например, в учебнике А. А. Роде и В. Н. Смирнова [145] отмечается, что «...иссушающее действие леса на почвенно-грунтовую толщу распространяется на глубину 16—17 м» (с. 202). Никаких оговорок применительно к отдельным почвенным разностям либо географическим условиям не делается. Из этого неизбежен вывод об однотипности гидрологической роли лесов.

На самом же деле закономерности распространения корней в почвогрунтах намного разнообразнее и сложнее. Даже на относительно однородных песчаных почвогрунтах глубина укоренения

Таблица 5.15

Соотношение потенциально и фактически доступной растениям влаги в песчаных почвогрунтах под насаждениями сосны
Бузулукский бор

Глубина слоя (см), горизонт	Масса ростовых и сохнувших окончаний корней, г/м ²	мм				
		Наименьшая влагоемкость	Влажность завядания	Потенциально доступная растениям влага	Фактически доступная растениям влага	Разница между потенциально и фактически доступной растениям влагой
0—50, АВ	235	49	17	32	32	0
50—100, С	160	41	14	27	24	3
100—150, С	79	40	14	26	20	6
150—200, С	99	41	14	27	17	10
200—250, С	76	41	14	27	9	18
250—300, С	34	41	14	27	7	20
Сумма	683	253	87	166	109	57

растений существенно различается [19, 30, 32] — от нескольких десятков сантиметров до 3—4 м и глубже (более богатые по содержанию гумуса либо минералогического состава почвы). Необходимо учитывать, что потребление влаги из песков лимитируется также неравномерным освоением их корневыми системами, что в свою очередь ведет к очаговости их иссушения. В этой связи наряду с потенциально доступной влагой признано целесообразным выделять в этих почвогрунтах категорию фактически доступной растениям влаги [19], зависящую не только от водно-физических свойств почвогрунтов, но и от степени и равномерности освоения их корнями (табл. 5.15).

Иные закономерности строения корневых систем и потребления ими влаги характерны для почв тяжелого механического состава, типичных для лесной зоны. Здесь корни древесных растений концентрируются в основном в пределах гумусово-аккумулятивного горизонта. Факторами, ограничивающими проникновение корней вглубь, являются уплотненный иллювиальный горизонт и периодически образующаяся в нем избыточная влага в виде верховодки, а также слабое прогревание [26].

Согласно Н. А. Качинскому [65], в дерново-подзолистые почвы глубже 2 м проникает не более 1 % корней. По данным А. Я. Орлова с соавторами [118], полученным в различных типах лесов южнотаежной зоны, основная масса корней (70—80 %) сосредоточивается в пределах верхнего 10—12-сантиметрового слоя почвы, а в полуметровой толще содержится до 95 % корней. Еще более близкое к поверхности расположение корней отмечает А. М. Абражко [1] для еловых лесов южной тайги. Здесь в ельнике-чернич-

нике, произрастающем на сильноподзолистой глееватой пылевато-суглинистой почве, подстилаемой с глубины 40 см супесью, в слое 0—20 см учтено 96,6 % сосущих корней, причем 85,5 % из них приурочено к верхнему 10-сантиметровому слою, в то время как в слое 50—90 см содержится только 0,8 % корней.

Наши исследования на среднесуглинистых дерново-подзолистых почвах (Московская область) также показали, что корни в них сосредоточиваются в верхнем 0—50-сантиметровом слое (табл. 5.16). Единичные корни, проникающие в почву глубже 50 см, вследствие периодического затопления верховодкой недолговечны. Их, как правило, удается обнаружить только в отмершем состоянии. Они не оказывают существенного влияния ни на потребление влаги, ни на водно-физические свойства почв. Иссущение таких почв, как будет показано ниже, ограничивается в основном метровой глубиной и лишь в крайне засушливые годы прослеживается до 1,5 м и даже несколько глубже. В данном случае влага, надо полагать, подтягивается в зону потребления и испарения в основном за счет капиллярных сил или в результате перемещения водяных паров.

Имеются указания на более глубокое укоренение пород, потенциально способных развивать мощную корневую систему. Для дуба такие явления регистрировались Н. Ф. Созыкиным [157]. Выше уже отмечалось, что лиственные породы способствуют более глубокому проникновению в почву корней хвойных деревьев [114, 142]. Прослеживается тенденция несколько большей корнено насыщенности верхних горизонтов почв под лиственными насаждениями.

Таблица 5.16

Насыщенность корнями почвогрунтов под 20—30-летними насаждениями, т/га (воздушно-сухое вещество)

Слой почвогрунтов, см	Насаждения сосны			Насаждение ели-почва суглинистая среднеподзолистая, Московская область
	почва связнопесчаная		почва суглинистая среднеподзолистая, Московская область	
	Средний Дон	Бузулукский бор		
0—10	0,23	4,01	13,1	9,92
10—20	3,01	2,02	5,13	2,90
20—50	1,75	8,58	0,80	0,19
50—100	1,42	1,70		
100—150	0,67	1,27		
150—200	0,99	1,12		
200—250	0,15	0,25		
250—300	0,06	0,19		
300—350		0,10		
Всего	8,28	19,24	19,02	13,01

Недоучет роли почвенных условий в формировании корневых систем иногда приводит к парадоксальным выводам. Например, А. В. Лебедев [80] по результатам исследований в лесах Сибири делает заключение о том, что наибольшее водорегулирующее влияние оказывают лесные насаждения на песчаных почвах (сосна, лиственница), поскольку они развивают здесь глубокую корневую систему. Фактически же водорегулирующая роль лесов на песчаных почвах минимальна¹, так как эти почвы и без того отличаются благоприятными водно-физическими свойствами. Что касается водоохранной роли (воздействие на объем стока), то глубокая корневая система при прочих равных условиях является фактором, его уменьшающим¹, так как обуславливает возврат просочившейся в глубинные горизонты почвогрунтов влаги в биологическое звено влагооборота и изъятие ее из процессов формирования стока.

Существенные ошибки допускаются также в тех случаях, когда упускается из виду биологическая (водопотребляющая) функция корней и гипертрофируется их чисто физическая роль. Такие ошибки¹, как отмечалось в главе 1, свойственны работам В. В. Рахманова [137, 141], в которых он пытается показать, что корневые системы действуют как дрены, по которым влага устремляется на питание грунтовых вод и пополнение водных источников. Здесь допускается как минимум две неточности. Во-первых, древесным породам во всех случаях приписывается глубокое (5—6 м и более) укоренение. Во-вторых, совершенно упускается из виду биологическая сущность корневых систем, заключающаяся не в проведении, а в извлечении влаги из почвы и включении ее в процессы испарения, что и подтверждается наличием прямо пропорциональной зависимости между насыщенностью почв корнями и их иссушением.

А. И. Субботин [159, 161], касаясь роли корневых систем во влагообороте фитоценозов, правильно подчеркивал их иссушающее влияние, но не избежал отмечавшейся выше ошибки о повсеместном глубоком укоренении древесных растений. В результате, проводя исследования на дерново-подзолистых почвах Московской области, где, как показано выше, корни не проникают глубже 0,5—1 м, автор сделал вывод, что осадки, увлажняющие под лесом многометровую толщу почвогрунтов, в течение вегетационного периода включаются в транспирационный процесс и возвращаются в атмосферное звено влагооборота.

Если бы автор располагал данными по корневым системам, он неизбежно должен был бы прийти к выводу о том, что влага, проникающая за пределы 1—1,5 м, в данных условиях необратимо исключается из биологического звена влагооборота и поступает на питание грунтовых вод. Соответствующим образом должен быть

¹ Редактор не разделяет мнение автора.— *Прим. ред.*

основательно уточнен и обобщающий вывод об иссушающей роли лесов.

Существенное значение имеет учет корневых систем при оценке хозяйственных воздействий на фитоценозы либо при моделировании каких-либо гидрологических процессов. Например, повышение продуктивности растительных сообществ при внесении удобрений, применении сортов повышенной урожайности или более глубокой обработки почвы будет иметь разные последствия для водного режима почв и влагооборота водосборов. Увеличение глубины вспашки, применение различных видов доуглубления пахотного слоя, щелевание неизбежно сопровождается большим потреблением влаги растениями и увеличением суммарного испарения.

А. И. Воейков еще в 1888 г., по-видимому, впервые обратил внимание на связь мощности корневых систем и транспирации. Он отмечал, что рост урожайности будет сопровождаться уменьшением водности рек. Это, по его мнению, обуславливается прежде всего углублением пахотного слоя [16]. В то же время повышение урожайности за счет улучшения питательного режима в пахотном слое (без его доуглубления) вызовет несравнимо меньшие сдвиги во влагообороте почв. К сожалению, эти особенности и сейчас обычно недоучитываются при оценке гидрологической роли агротехнических мероприятий.

Воздействие человека на лесные сообщества, в том числе и для целей повышения их продуктивности (внесение удобрений, рубки ухода), обычно не связано с увеличением корнеобитаемой зоны. Поэтому невелики и изменения влагооборота под влиянием этих мероприятий. Сказанное не распространяется, однако, на районы недостаточного увлажнения, где нередко для более полного использования почвенной влаги применяются различные приемы увеличения корнеобитаемой зоны. Так, песчаные почвы при их облесении рыхлятся безотвальными орудиями на глубину до 80—100 см. Испытываются методы доуглубления почвенного слоя на 5—6 м посредством создания скважин-дрен, глубинных взрывов и др. [77]. Такие мероприятия могут иметь существенные гидрологические последствия и должны учитываться при облесительных работах. Они могут привести к прогрессирующему иссушению территорий и истощению запасов грунтовых вод, что в перспективе неблагоприятно скажется на судьбе создаваемых насаждений и питании водных источников.

В целом корневые системы являются одним из важнейших факторов влагооборота фитоценозов и водосборов, недоучет которого ведет к существенным ошибкам при оценке их гидрологической роли. Имеющиеся в настоящее время материалы позволяют свести в определенные комплексы (группы) наиболее типичные закономерности строения корневых систем применительно к условиям увлажнения и почвенно-грунтовым факторам, что нам представляется крайне важным в гидрологическом отношении.

Указанная классификация приводится после рассмотрения особенностей влагооборота, свойственных почвенно-грунтовой толще (см. с. 130).

5.4. Влагооборот в почвенно-грунтовой толще

Почвенную влагу рассматривают как «буфер», смягчающий неравномерность атмосферного увлажнения. Буферная роль почвенных влагозапасов проявляется как в сроки между смежными выпадениями осадков, так и в сезонных и более длительных циклах (рис. 5.4).

Наши исследования показали, что на буферные запасы влаги в почвах легкого механического состава (Бузулукский бор) в отдельные годы приходится до 10—12 % суммарного испарения, что составляет 60—70 мм [19].

В суглинистых почвах лесной зоны, несмотря на более благоприятное атмосферное увлажнение и меньшую мощность корнеобитаемой зоны, доля буферных запасов влаги во влагообороте фитоценозов также значительна и должна учитываться при водно-балансовых расчетах.

Степень использования почвенной влаги можно рассматривать как важнейший фактор, с которым связано основное проявление

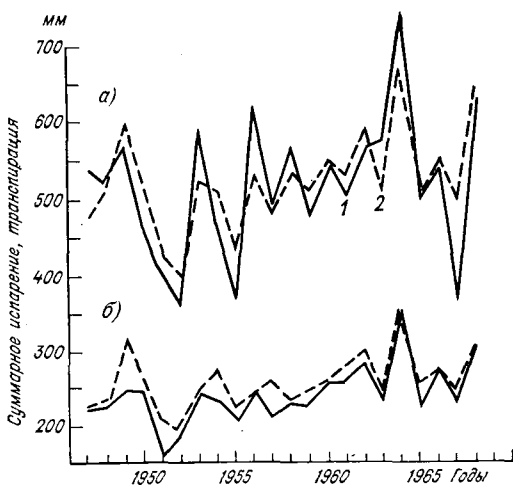


Рис. 5.4. Ход рассчитанных значений суммарного испарения (а) и транспирации для сосновых насаждений (б), обусловливаемых осадками, выпадающими в год наблюдений (1), и скорректированных по изменению запасов влаги в почве (2). Бузулукский бор.

Таблица 5.17

Механический состав, гидрологические константы и содержание гумуса в связнопесчаных почвогрунтах

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций (%) при диаметре частиц, мм				% массы сухого вещества			
		>0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	<0,01	МГ	ВЗ (1,5 МГ)	НВ	гумус
Дерново-степная многоярусная связнопесчаная. Средний Дон									
Эоловый нанос	10—20	6,1	70,2	0,0	2,0	0,44	0,66	4,4	0,21
A _{эол}	25—35	8,7	88,5	0,2	2,4	0,45	0,67	4,4	0,17
C _{эол}	100—110	12,6	85,2	0,3	1,7	0,41	0,61	3,8	0,0
A _{погр}	190—200	7,0	89,5	0,4	3,0	0,59	0,88	2,5	0,19
B _{погр}	210—220	7,5	88,7	0,2	3,4	0,68	1,02	5,2	0,17
C _{погр}	270—275	15,0	83,1	0,0	1,8	0,43	0,64	5,3	0,0
Дерново-боровая связнопесчаная. Бузулукский бор									
A	5—12	23,7	70,3	0,9	4,4	1,62	2,4	7,7	1,2
B	30—40	18,8	72,2	5,7	2,5	1,38	2,1	5,3	0,3
C	140—150	21,8	75,8	0,6	0,9	1,18	1,8	5,0	0,0
C	165—175	25,6	71,9	0,0	1,2	1,21	1,8	5,1	0,0
C	215—225	11,4	84,9	0,4	2,0	1,25	1,9	5,1	0,0
C	265—275	14,2	82,5	0,0	1,9	1,29	1,9	5,1	0,0

Примечание. МГ — максимальная гигроскопичность; A_{эол}, C_{эол} — горизонты, образовавшиеся на эоловом песке; A_{погр}, B_{погр}, C_{погр} — погребенная первоначальная почва.

гидрологической роли лесов — их влияние на объем стока с водосборов. Чем меньше мощность слоя почвы, из которого влага возвращается в атмосферу, тем вероятнее при прочих равных условиях возможность ее ухода за пределы биологического звена влагооборота и включения в процессы стока.

Характеристику почвенного звена влагооборота приведем на примере песчаных (Бузулукский бор, Средний Дон) и суглинистых (Московская область) почвогрунтов, типичных для лесной зоны. Наименьшая влагоемкость песчаных почв только в верхнем 5—10-сантиметровом слое достигает 6—7 %, в более глубоких слоях, представленных средне-мелкозернистыми песками, она колеблется в интервале 4—5 % (табл. 5.17). При средней плотности песчаных почв 1,5—1,6 г/см³ метровый слой их удерживает 70—80 мм капиллярно-подвешенной влаги, из них 50—60 мм доступно растениям (в интервале между НВ и ВЗ). В глубинных горизонтах влагоемкость несколько уменьшается. В целом 3-метровый слой, в котором заканчивается основная масса корней, способен удерживать при НВ 190—210 мм по общей и 140—150 мм по доступной растениям влаге.

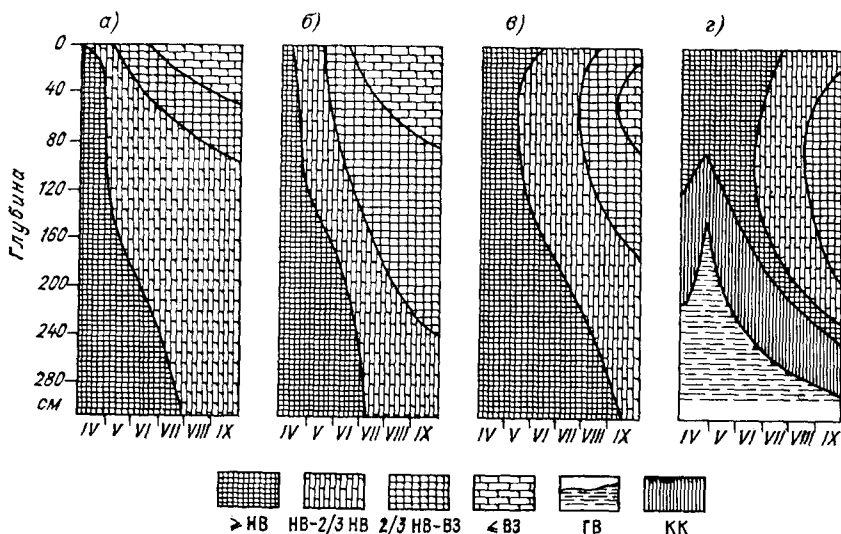


Рис. 5.5. Изменение влажности песчаных почв под сосновыми насаждениями в зависимости от условий увлажнения и мощности корневых систем (схематизированные данные).

а — ленточные боры Прииртышья, годовая сумма осадков 250—300 мм, глубина проникновения корней сосны 150 см; б — сосняки Арчединско-Донского песчаного массива, осадки 350—400 мм, глубина проникновения корней до 300 см; в — Бузулукский бор, осадки 450—500 мм, глубина проникновения корней до 400 см; г — Бузулукский бор, высокое стояние грунтовых вод.
 НВ — наименьшая влагоемкость, ВЗ — влажность завядания; ГВ — уровень грунтовых вод; КК — капиллярная кайма грунтовых вод.

Иссушение почв, сформировавшихся на относительно богатых полиминеральных песках (Бузулукский бор), прослеживается до глубины 3—4 м. В то же время почвы, сформированные на бедных кварцевых песках (Средний Дон, степное Прииртышье), иссушаются на меньшую глубину (2,5—3 м). При этом даже в крайне засушливые годы доступная растениям влага используется полностью только из верхнего 40—60-сантиметрового слоя. Факторами, ограничивающими более полное потребление влаги из глубинных слоев почв, являются неравномерная насыщенность корнями и свойственная пескам малая подвижность подвешенной влаги [19]. В зависимости от конкретного сочетания этих факторов песчаные почвы в более засушливых условиях могут иссушаться в меньшей степени, чем в условиях более благоприятного увлажнения. На участках с высокостоящими грунтовыми водами (они занимают в среднем около 10 % террасовых песков) иссушение почв менее выражено. В данном случае растения основное количество влаги потребляют из грунтовых вод, понижая их уровень (рис. 5.5).

Таблица 5.18

Механический состав суглинистой дерново-подзолистой почвы под еловым лесом [157]

Истринский опорный пункт

Генетический горизонт; глубина взятия образца, см	Содержание фракций(%) при диаметре частиц, мм						
	1,0—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001	<0,01
A ₁ ; 2—5	3,35	14,70	47,95	6,58	8,52	16,70	31,80
A ₁ A ₂ ; 20—28	0,33	31,65	38,19	16,00	8,93	9,74	34,67
B ₁ ; 35—43	0,18	29,68	35,05	6,65	3,78	23,76	34,19
B ₂ ; 55—63	0,11	39,13	22,50	5,38	1,38	31,25	38,02
BC; 100—108	0,52	49,76	14,34	6,02	9,14	28,99	14,15

Дефицит влаги в песчаных почвах (разность между НВ и фактическими значениями влагозапасов) к концу вегетационного периода составляет 50—120 мм. Осенью около 20—30 % такого дефицита обычно восполняется. Основное же пополнение почв влагой осуществляется весной. В это время часть влаги поступает на питание грунтовых вод.

Иные закономерности влагооборота в условиях лесной зоны свойственны суглинистым почвам. Эти почвы содержат 30—40 % и более физической глины (табл. 5.18). При НВ по отдельным горизонтам в пределах 25—37 % (табл. 5.19) такие почвы в верхнем метровом слое удерживают около 405 мм влаги, из них 220—250 мм доступно растениям.

Характерная особенность суглинистых дерново-подзолистых почв — образование верховодки на иллювиальном горизонте в периоды интенсивного влагонакопления. Ранней весной верховодка обычно достигает поверхности почвы. В конце апреля — начале мая она обычно исчезает, но в отдельные влажные годы (например, в 1977) она появляется и летом после выпадения обильных осадков (рис. 5.6). С образованием верховодки свя-

Таблица 5.19

Гидрологические константы суглинистой дерново-подзолистой почвы под лесными насаждениями, использованные при гидрологических расчетах

Истринский опорный пункт

Мощность слоя, см	Плотность, г/см ³	Наименьшая влагоемкость	
		%	мм
0—20	1,35	37	100
20—50	1,50	25	113
0—50	1,42	31	213
50—100	1,54	25	192
100—150	1,48	25	185
0—100	1,48	28	405
0—150	1,48	27	590

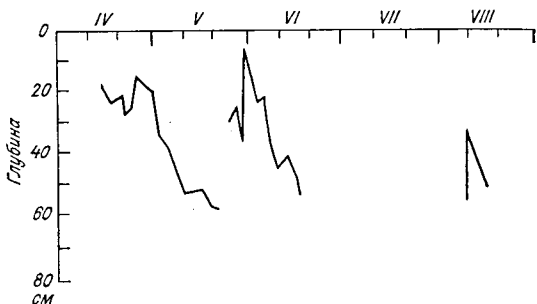


Рис. 5.6. Ход уровней верховодки на лесном водосборе. Истринский опорный пункт, апрель — август 1977 г.

заны основные закономерности режима влажности почв, развитие корневых систем и важнейшие гидрологические процессы (сток, фильтрация влаги и т. п.).

Основное расходование влаги из таких почв как под древесной, так и под травянистой растительностью в соответствии с их загруженностью корневыми системами происходит из верхнего метрового слоя (рис. 5.7). Здесь почва в средние по увлажненности годы иссушается до влажности разрыва капиллярных связей, равной примерно $\frac{2}{3}$ НВ. В более глубоких слоях влажность заметно уменьшается лишь в засушливые годы, но и в этих случаях глубина иссушения не выходит за пределы 1,5-метрового слоя. К моменту установления снежного покрова (октябрь — ноябрь) почва увлажняется до НВ (полное восстановление дефицита влаги) лишь в отдельные годы. Окончательное восстановление этого дефицита приходится на весенний период.

Сходные закономерности режима влажности суглинистых дерново-подзолистых почв отмечены в ряде работ О. И. Крестовского с соавторами. Констатируется, что на преобладающей территории лесной зоны летнее иссушение почв под лесом ограничивается глубиной 1 м, а в северной тайге — даже 0,5 м. В южных районах (лесостепь, степь) глубина иссушения заметно увеличивается [14].

Хотя характер растительности (лесная, полевая), как и состав насаждений, не оказывает практически влияния на глубину иссушения таких почв, однако сезонный режим влагозапасов существенно различается под отдельными фитоценозами. Как видно из рис. 5.8 и 5.9, в весенний и раннелетний периоды потери влаги из почвы наиболее значительны под травянистой растительностью вследствие более раннего схода снега и начала вегетации. Максимальны такие различия под еловым лесом и полем. Они регистрируются обычно в июне — июле и при малом количестве осадков. В дальнейшем эти различия заметно сглаживаются, а поздней

осенью и зимней влагозапасы, как правило, становятся максимальными под травянистой растительностью.

По нашим данным, в среднем за 14-летний период наблюдений дефицит влаги в почвах к концу осени под еловым насаждением составил 88 мм, под смешанным — 72 мм и под лиственным — 57 мм, а за 8-летний период соответственно — 71, 51 и 37 мм при 26 мм под полевыми культурами (табл. 5.20). По исследованиям В. Н. Дьякова [47], в Карпатах осенние запасы влаги в метровом слое почвы равнялись 208 мм под буковыми насаждениями, 172 мм под еловыми и 161 мм под смешанными. Таким образом, влагооборот в почвенном звене, как и в пологе леса, наиболее интенсивен в еловом лесу и свидетельствует об его иссушающей роли.

Таблица 5.20

Осенний запас влаги в метровом слое почвы, мм
Истринский опорный пункт

Год	Дата	Лес			Поле
		лиственный	смешанный	еловый	
1962	9/XI	352	369	331	—
1963	22/X	324	287	280	—
1964	19/IX	249	252	230	—
1965	9/X	315	299	300	—
1966	20/X	332	334	304	—
1967	20/XI	362	299	290	—
1968	28/X	330	343	325	368
1969	30/X	364	328	287	376
1970	24/XI	398	391	390	431
1971	4/XI	428	410	409	405
1972	14/XI	359	368	326	382
1973	21/XI	444	432	359	444
1974	3/X	304	288	268	269
1975	3/XI	315	269	306	317
1968—1975	4/XI	368	354	334	374
1962—1975	3/XI	348	333	317	—
Запас при НВ		405	405	405	400
Средний дефицит влаги:					
1968—1975	—	37	51	71	62
1962—1975	—	57	72	88	—

На эти специфические особенности режима влажности дерново-подзолистых почв следует обратить серьезное внимание. Известно, что в литературу прочно вошли представления, сформированные в конце XIX столетия А. В. Вермишевым, А. А. Измаильским, Г. Я. Близиным, Г. Ф. Морозовым, Г. Н. Высоцким, о том, что под лесом почва влажнее, а подпочва (грунт) суше, чем в поле. Здесь мы встречаемся с еще одним случаем придания всеобщности закономерностям, установленным в неспецифических для лесной растительности условиях произрастания.

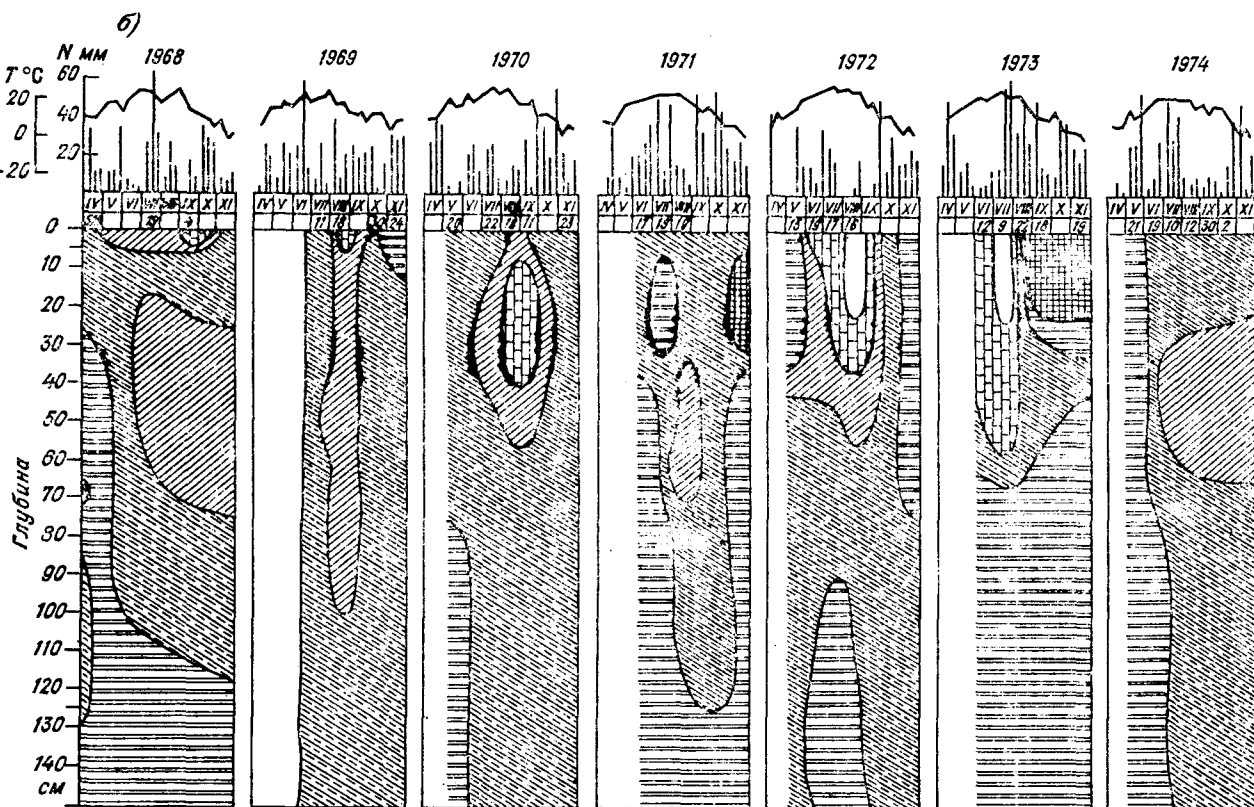
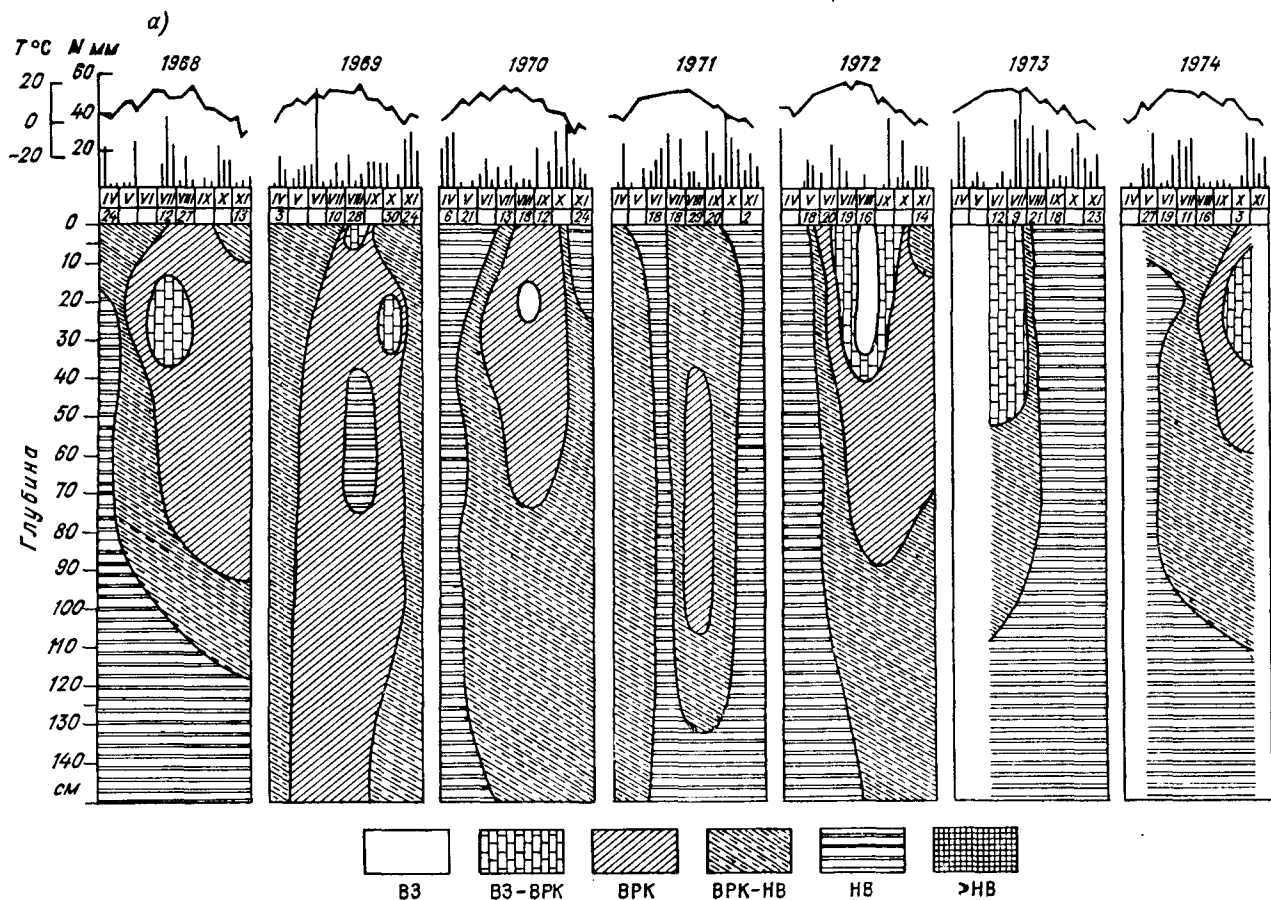


Рис. 5.7. Хронозонплеты влажности почвогрунтов (по категориям влажности). Истринский опорный пункт, 1968—1974 гг.

a — еловое насаждение, *б* — луговой участок (задежь); ВЗ — влажность завядания, ВРК — влажность разрыва капиллярных связей (% НВ), НВ — наименьшая влагоемкость, *T* — температура воздуха, *N* — осадки.

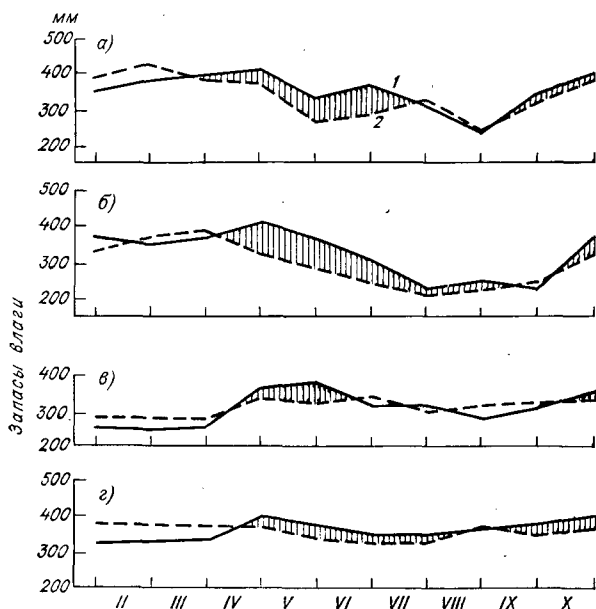


Рис. 5.8. Изменение влагозапасов в метровом слое почвы под лиственным насаждением (1) и на пашне (2). Подмосковная воднобалансовая станция [164]. а, б — сухие (1971, 1972) годы; в, г — влажные (1956, 1962) годы.

На типичных для лесной зоны суглинистых или глинистых почвах такие закономерности не имеют места или проявляются лишь в незначительной степени. На эту особенность в свое время обращал внимание Созыкин [156], проводивший исследования на Истринском опорном пункте. Однако эта работа, к сожалению, осталась незамеченной. Между тем она крайне интересна как полученными выводами, так и примененными оригинальными методами обработки и анализа данных. За основу оценки режима влажности почв Созыкин принял интенсивность влагооборота, определяемую соотношением всех элементов прихода и расхода влаги в определенном слое почвы. Было показано, что в верхних слоях почвы режим влажности характеризуется максимальной динамичностью, интенсивность влагооборота наиболее высока и иссушение почвы проявляется наиболее заметно. Этого нельзя сказать о глубинных слоях, влажность которых уже с 1,5 м держится на уровне, близком к НВ. Из этого Созыкин делает обоснованный вывод о том, что лес мало затрагивает грунтовые запасы влаги и как бы удовлетворяется количеством осадков, удерживаемых верхними горизонтами почвы с весны и от летних дождей. Иссушение грунта как

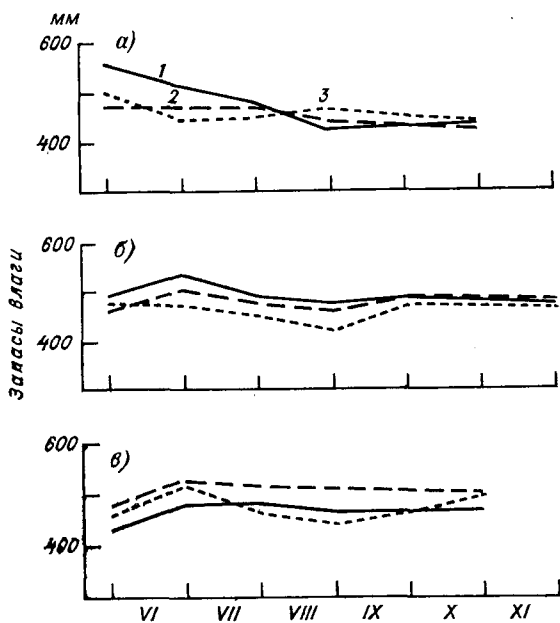


Рис. 5.9. Изменение влагозапасов в 1,5-метровом слое почвы в лиственном лесу (1), на пашне (2) и в еловом лесу (3). Истринский опорный пункт. а — сухой (1975) год, б — средневлажный (1976) год, в — влажный (1978) год.

подтверждение иссушающей роли леса не имеет места, и поэтому автор считает, что водоохранную роль лесов непременно необходимо рассматривать в зональном разрезе с учетом всех особенностей водного режима.

Такие особенности режима влажности лесных и полевых почв обуславливаются прежде всего тем, что в этих условиях древесная растительность не имеет возможности реализовать свои потенциальные потребности в росте и развитии корневых систем. Сказанное, однако, не дает оснований для вывода о сходстве гидрологической роли этих фитоценозов. Различия существенны и обуславливаются несходством других элементов влагооборота и прежде всего испарения в холодный и переходные периоды года.

В целом результаты сопряженных эколого-гидрологических исследований позволяют выделить следующие типы влагообеспеченности и глубины укоренения растений в зависимости от условий атмосферного и грунтового увлажнения:

1 — почвы и грунты с неограниченной мощностью корнеобитаемой зоны. Чаще всего они характерны для районов недостаточного увлажнения с глубокими (глубже 5—6 м) грунтовыми водами, не содержат вредных солей и уплотненных прослоек. На таких почво-

грунтах наиболее полно реализуются потенциальные биологические свойства растений по глубине и мощности развития корневых систем. Судя по литературным данным, укoreнение глубокое — до 5—6 м и более. При прочих равных условиях наиболее благоприятны для роста корневых систем почвогрунты облегченного механического состава (лёссовидные, супесчаные, легкосуглинистые), но не песчаные. Влагообеспеченность — от оптимальной (условия или периоды благоприятного увлажнения) до острого дефицита влаги (при засухах в районах недостаточного увлажнения);

2 — почвы и грунты с ограниченной мощностью корнеобитаемой зоны;

2а — территории с высокостоящими грунтовыми водами. Глубина проникновения корней определяется уровнем грунтовых вод и мощностью капиллярной каймы над ними (зависит от механического состава и сложения почвогрунтов). Часто имеет место двухъярусное расположение корней с максимумами в гумусовых горизонтах и в пределах капиллярной каймы. Наиболее характерна оптимальная влагообеспеченность (неограниченное увлажнение). Произрастающие здесь фитоценозы могут использоваться для изучения потенциальной транспирационной способности. Вместе с тем при длительных засухах, сопровождающихся резким снижением уровней грунтовых вод, возможен крайне острый дефицит влаги и гибель растений; в периоды экстремально влажных лет растения страдают от избыточного увлажнения (затопление корней);

2б — территории с глубокими грунтовыми водами. Мощность корнеобитаемой зоны мала и ограничивается физическими либо химическими свойствами почвообразующих пород (подстиление уплотненной породой, наличие новообразований типа железистых, содержание вредных солей и т. п.). В северных районах (лесная зона) таким фактором часто является плотный иллювиальный горизонт и периодически образующаяся на нем избыточная влага в виде верховодки. Верхняя граница таких горизонтов (слоев), как правило, обуславливает предельное укoreнение растений. Влагообеспеченность растений наиболее сильно зависит от условий атмосферного увлажнения. В южных аридных районах такие условия обычно непригодны для произрастания древесной растительности. В северных (гумидных) районах — это территория с наибольшей изменчивостью влагообеспеченности растений: по сезонам года и в зависимости от атмосферного увлажнения влагообеспеченность меняется от оптимальной (часто избыточной за счет верховодки) до дефицита влаги даже в северных районах лесной зоны.

Существенные оговорки требуются для песчаных почв. При ограниченной мощности корнеобитаемой зоны (высокостоящие грунтовые воды, подстиление плотными породами) влагообеспечен-

ность характеризуется закономерностями, описанными в п. 5.3. На мощных песчаных отложениях размеры корневых систем сильно колеблются в зависимости от свойств субстрата (минералогический состав, содержание гумуса, карбонатов и др). На более богатых разностях растения развивают обычно мощную корневую систему — до глубины 3—4 м (тип 1). На бедных кварцевых песках мощность корнеобитаемой зоны уменьшается, иногда резко, вплоть до ограниченной (тип 2б). Основным фактором, препятствующим росту корней, является однородность строения профиля и способность к уплотнению слежавшихся песков. Для такого вида уплотнения удачно применен термин «жесткость поровой структуры» [201]. Больше всего уплотнению подвержены мономинеральные кварцевые пески. Факторами, снижающими уплотнение, является содержание пылевой фракции, присутствие других минералов или карбоната кальция, длительное произрастание древесной растительности, обуславливающей постепенное нарушение моногенности породы, в том числе за счет органических остатков и новообразований в виде тонких железистых прослоек типа «псевдофибр» [19]. В природе встречается многообразное сочетание указанных факторов, что делает порой трудносравнимыми в экологическом и гидрологическом отношении сходные на первый взгляд песчаные почвы. В целом минералогически более богатые пески (массивы, лежащие восточнее Волги) благоприятнее для проникновения корней, чем пески западной минералогической провинции, состоящие в основном из кварца. Именно здесь поэтому получили широкое применение методы глубокого рыхления песков как фактора, способствующего укоренению растений.

Соответственно названным типам увлажнения производится анализ влагооборота фитоценозов.

5.5. Расход влаги из почвы на транспирацию

Транспирация — наиболее сложный и многофакторный процесс расходования влаги растительными сообществами. В отличие от других элементов влагооборота (задержание и испарение осадков пологом растительности, испарение с поверхности почвы), интенсивность которых зависит в основном от количества осадков и метеорологических условий, транспирация обуславливается, кроме того, физиологическими и почвенными факторами. С этими особенностями связаны трудности ее изучения, а также большое колебание значений, часто неадекватное изменению условий внешней среды. По этой же причине рассматриваем транспирацию в данном разделе работы после знакомства с почвенно-гидрологическими факторами, ее обуславливающими.

Широкое распространение получили два метода определения транспирации. В одном из них она оценивается по потере массы срезанными ветками или отдельными листьями [56], во втором — регистрируется как неизвестный член формулы водного баланса.

Рассмотрим некоторые закономерности процесса транспирации на примере исследований, выполненных в сосновых лесах, произрастающих в районах недостаточного увлажнения (Средний Дон, Бузулукский бор). На Среднем Дону транспирация измерялась методом Л. А. Иванова — на срезанных ветках. Наблюдения проводились ежемесячно в течение 3—5 сут. Время экспонирования срезанной ветки составляло 3 мин. Запасы транспирационной массы (хвои) учитывались по модельным деревьям. Более подробно методика изложена в работе [19].

В Бузулукском бору транспирация рассчитывалась воднобалансовым методом по 22-летнему ряду наблюдений. За потенциально возможную принималась транспирация, которая регистрировалась в наиболее благоприятные по увлажненности годы. В условиях увлажнения атмосферными осадками расход влаги на транспирацию этими насаждениями колебался в пределах 117—306 мм [19].

Для выяснения предельных значений, до которых может снижаться транспирация сосновыми насаждениями, были поставлены опыты с искусственным изменением увлажнения. С этой целью в течение ряда лет исключался доступ атмосферных осадков в почву. В таких условиях насаждения, сохраняя жизнедеятельность, расходовали на транспирацию только 40—60 мм влаги за вегетационный период [30].

Следует отметить, что существенное снижение транспирации, во всяком случае на $\frac{1}{3}$ максимальных значений, не сказывается отрицательно на жизнедеятельности растений и не ведет к снижению их продуктивности. Регулирование транспирации в определенных границах является, надо полагать, наследственно обусловленным процессом. Об этом свидетельствует, в частности, большое колебание значений сопротивления растений транспирации, рассчитываемого как отношение испарения с единицы поверхности листа к испарению с равновеликой площади свободной водной поверхности.

5.5.1. Различия транспирации в зависимости от породного состава и возраста насаждений

Интенсивность транспирации у лиственных пород обычно в несколько раз больше, чем у хвойных деревьев. Так, дневная транспирация 1 г листьев березы составила 8,1 г, бука — 3,9 г, сосны — 2 г и ели — 1,4 г [84].

На Среднем Дону, в условиях неограниченного увлажнения, среднесуточная интенсивность транспирации для березы пушистой

Таблица 5.21

Транспирация насаждениями из различных древесных пород 40—50-летнего возраста [219]

Порода	Листовая масса, кг/га	Транспирация, мм	
		средняя за сутки	за вегетационный период (120 сут)
Береза	4 940	4,0	430—480
Ель	31 000	3,7	390—450
Бук	7 900	3,1	320—370
Сосна	12 500	2,1	240—300

равнялась 207—560 мг/ч на 1 г сырых листьев, а для сосны обыкновенной она не выходила за пределы 78—200 мг/ч [17].

Из этих данных видно, что интенсивность транспирации изменяется в больших пределах. Соответственно изменяются и транспирационные коэффициенты (расход воды на единицу прироста органического вещества) или коэффициенты транспирационной активности (расход воды на 1 т листьев или хвои) в различные часы, дни и месяцы года в зависимости от метеорологических условий и особенно влагообеспеченности. Использование этих коэффициентов для оценки транспирации фитоценозами возможно только применительно к условиям неограниченного увлажнения и то лишь в сравнительном плане для одних и тех же лет и условий местопроизрастания. Во всех других случаях велика вероятность крупных погрешностей и даже абсурдных выводов.¹

С недоучетом реальных условий транспирации и переоценкой ее потенциально возможных значений связана разноречивость данных относительно расхода влаги на транспирацию насаждениями из различных древесных пород. Так, согласно Польштеру [219], минимальное количество влаги на транспирацию расходуют сосновые насаждения (240—300 мм) и максимальное — березовые леса (430—480 мм). Еловые и буковые насаждения занимают промежуточное положение (табл. 5.21).

В. В. Протопопов с соавторами [132] годовую транспирацию для сосны в условиях Сибири (Красноярская и Ачинская лесостепь) определяли равной 175—253 мм, а для березы 292—319 мм. Вместе с тем другие материалы свидетельствуют о большей транспирации для хвойных лесов [166].

¹ Заключение автора справедливо в случаях расчета сезонных сумм транспирации по часовым значениям коэффициентов транспирационной активности и не относится к определению сезонных и годовых, в том числе и средних многолетних значений транспирации древостоев, по средним многолетним сезонным значениям коэффициентов транспирационной активности, как это рекомендуется в работах А. А. Молчанова, Г. Ф. Хильми и С. Ф. Федорова. — *Прим. ред.*

Сосна практически во всех случаях рассматривается как порода, экономно расходующая влагу. Не только транспирация, но и суммарное испарение в сосновых лесах обычно оценивается как минимальное. Следует, однако, отметить, что эти положения относятся, надо полагать, к типичным для сосны бедным песчаным местообитаниям, где небольшое расходование влаги является следствием не только биологических свойств данной породы, но и условий местообитания. На богатых местообитаниях сосна по транспирации и суммарному испарению может не уступать еловым насаждениям. Такие случаи нами регистрировались в Загорском лесхозе, где сосна и ель произрастают в культурах, созданных на суглинистых почвах, находившихся ранее на сельскохозяйственных угодьях.

В 20-летнем возрасте сосновое насаждение в этих условиях расходовало на транспирацию 231 мм влаги, еловое — 198 мм, березовое — 233 мм. Деревья сосны как быстрорастущей в молодом возрасте породы имели примерно в 1,5—2 раза большие размеры. С возрастом такие различия, надо полагать, сгладятся или даже будут иметь противоположную направленность [169].

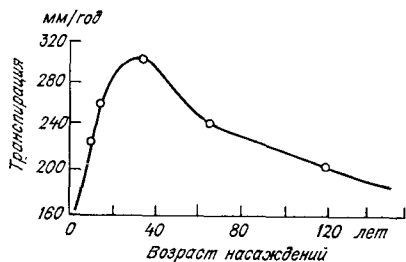
Изучение водного баланса еловых и буковых лесов выполнено в ФРГ [192, 194]. Еловые насаждения здесь расходовали на транспирацию и испарение с почвы на 34 мм влаги больше, чем буковые леса, произрастающие в одинаковых с ними условиях. С учетом задержания осадков кронами такие различия увеличились до 135 мм.

По 3-летним наблюдениям Кантора [203], транспирация для средневозрастного елового насаждения в условиях Чехословакии составила 199,7 мм, а букового — 179,5 мм. В условиях ФРГ транспирация для буковых насаждений определена равной 88 %, а для сосновых — 56 % транспирации ельников [210]. Сообщается также, что для этого же района транспирация в хвойных (еловых) лесах составляет 260—350 мм, а в лиственных (буковых) — только 250 мм [198].

Таким образом, согласно литературным материалам, транспирация более значительна то в хвойных, то в лиственных лесах. С этим фактом нередко связывают суммарное испарение с фитоценозов и в целом их гидрологическую роль.

Результаты наших наблюдений (см. главу 6) свидетельствуют, что более значительная транспирация при прочих равных условиях наблюдается в лиственных лесах, но при меньшем суммарном испарении в них. Такие явления вполне закономерны и вытекают из тесной зависимости транспирации от условий почвенного увлажнения. Последние же всегда благоприятнее в лиственных лесах в силу большего проникновения под полог атмосферных осадков. Это превышение настолько значительно (около 160 мм), что за счет его обеспечивается и большая транспирация, и дополнительное поступление влаги на сток. Другими словами, и транспи-

Рис. 5.10. Зависимость транспирации насаждениями сосны от возраста деревьев [103].



рация, и сток обуславливаются одним и тем же фактором — поступлением влаги и ее содержанием в почве — и адекватно реагируют на его значения.

В общих чертах ход транспирации (рис. 5.10) в зависимости от возраста насаждений рассмотрен Молчановым [103]. Такого же порядка значения получены Лютцке и Симоном [213] в ГДР; 28-летний сосняк транспирировал здесь 310 мм, а 83-летний — только 248 мм.

Однако применительно к отдельным древесным породам, а в их пределах — к условиям местопроизрастания, ход кривой может существенно изменяться. В частности, в еловых насаждениях, характеризующихся медленным ростом в молодом возрасте, максимальный расход влаги на транспирацию наблюдается в более позднем (40—60-летнем) возрасте. Транспирация кедровыми древостоями (Томская область) равнялась 86 мм в 28-летнем возрасте, 193 мм — в 170-летнем и 169 мм — в 220-летнем. В древостоях из мягколиственных пород (береза, осина), отличающихся быстрым ростом и небольшой продолжительностью жизни, транспирация достигает максимальных значений уже к 10—15-летнему возрасту. В насаждениях низкой продуктивности максимум транспирации наступает позже, а возрастная ее динамика выражена менее [59].

Данные о возрастной динамике транспирации в лиственных насаждениях практически отсутствуют. Есть основание полагать, что здесь оно характеризуется более плавным ходом.

5.5.2. Зонально-географические особенности транспирации насаждениями

Транспирация существенно различается в отдельных географических районах. Несмотря на большую разноречивость материалов по данному вопросу (табл. 5.22) анализ их все же позволяет выявить некоторые общие закономерности.

Прежде всего прослеживается изменение транспирации в широтном направлении. Для сосновых лесов в таежной зоне она составляет 103—176 мм, в зоне смешанных лесов увеличивается до 119—374 мм, а в лесостепной и степной зонах вновь снижается до 127—230 мм. Снижение транспирации в северных районах связано

Таблица 5.22

Структура испарения в лесных насаждениях, % осадков и суммарного испарения

138

Природная зона	Порода	Задержание пологом, %		Испарение с почвы и напочвенного покрова, %		Транспирация, %		Суммарное испарение, мм	Число литературных источников
		среднее	крайние значения	среднее	крайние значения	среднее	крайние значения		
Средняя тайга	Сосна	$\frac{19}{35}$	$\frac{16-28}{28-50}$	$\frac{12}{21}$	$\frac{11-13}{19-24}$	$\frac{29}{44}$	$\frac{17-32}{31-54}$	255	6
		$\frac{23}{40}$	$\frac{20-26}{26-49}$	$\frac{15}{18}$	$\frac{12-19}{14-23}$	$\frac{30}{42}$	$\frac{22-36}{31-56}$		
Смешанные леса	Сосна	$\frac{23}{28}$	$\frac{15-31}{21-38}$	$\frac{22}{25}$	$\frac{9-34}{10-42}$	$\frac{39}{47}$	$\frac{30-51}{37-56}$	444	11
		$\frac{22}{30}$	$\frac{18-26}{22-35}$	$\frac{11}{17}$	$\frac{10-13}{12-24}$	$\frac{40}{53}$	$\frac{27-49}{44-61}$		
Лесостепь	Дуб, ясень	$\frac{11}{15}$	$\frac{16-18}{7-23}$	$\frac{15}{18}$	$\frac{4-19}{15-26}$	$\frac{56}{67}$	$\frac{33-70}{54-80}$	414	26

Примечания: 1. Таблица составлена по данным разных авторов, приведенным в работе [104].
 2. В числителе дроби данные указаны по отношению к осадкам, в знаменателе — к суммарному испарению.

с недостатком тепла и малой продолжительностью вегетационного периода, в южных — в основном с недостатком влаги. Для еловых насаждений в таежной зоне транспирация равна 101—280 мм, в зоне смешанных лесов 120—430 мм.

По мере продвижения с севера на юг увеличивается доля транспирации в суммарном испарении. Максимум она достигает (70—80 %) в лесостепной и степной зонах (см. табл. 5.22). При прочих равных условиях доля транспирации в суммарном испарении наиболее велика в лиственных лесах, далее следуют сосновые насаждения, за ними еловые леса.

Специфичны закономерности транспирации в крайних южных и юго-восточных районах страны. В молодом возрасте фитоценозы здесь характеризуются исключительно интенсивным ростом и соответственно быстрым увеличением транспирации. Наши исследования показали [19], что в насаждениях сосны (Средний Дон, Бузулукский бор) максимальный расход влаги на транспирацию обычно наблюдается уже в 10—12-летнем возрасте. При этом он может существенно превышать расход влаги, характерный для более северных районов в возрасте кульминации прироста. Однако такое состояние является непродолжительным и сменяется довольно интенсивным уменьшением транспирации в результате ослабления насаждений и их последующего изреживания. Заметно ниже здесь и продолжительность существования самих фитоценозов, что еще более усиливает перепад потребностей во влаге на протяжении их жизни.

В целом транспирация является основным элементом влагооборота насаждений. Только в сформировавшихся темнохвойных лесах перехват осадков кронами нередко превышает транспирацию насаждений (см. п. 7.1).

Метеорологические факторы (количество солнечной радиации, температура и влажность воздуха, ветровой режим) имеют определенные границы оптимального влияния на интенсивность транспирации. Как при малых, так и при больших значениях названных факторов транспирация снижается. При прочих равных условиях наиболее сильное влияние на нее оказывает влагообеспеченность. Недостаток влаги обычно выступает как фактор, нивелирующий транспирацию фитоценозами при всех значениях метеорологических факторов.

Если учесть, что разные факторы обычно действуют в комплексе и неоднозначно, становятся понятными причины той разнозначности данных по транспирации для отдельных фитоценозов, которые имеются в литературе (см. п. 5.5.1). Сравнение этих данных, например, в зависимости от породного состава насаждений в отрыве от условий, в которых они были получены, часто теряет смысл. Более оправданным является сравнительный анализ транспирации в том случае, если объекты отвечают принципу единственного различия.

Транспирацию нередко рассматривают как довольно устойчивый элемент баланса влаги, мало различающийся в отдельных фитоценозах. Закономерности такого порядка наиболее полно проявляются, надо полагать, в условиях неограниченного увлажнения. В этих случаях различия интенсивности транспирации отдельных пород сглаживаются в транспирационном расходе насаждений запасами листовой массы. Она закономерно выше у тех пород, которые имеют более низкую интенсивность транспирации и, наоборот, высока у пород с замедленным обменом веществ. В общих чертах интенсивность транспирации у ели, сосны и березы можно выразить соотношением 1 : 1, 5 : 4 (150, 220, 600 мг/ч), запасы же листовой массы в фитоценозах имеют обратную последовательность — 4 : 2 : 1 (30, 16, 8 т/га).

Нивелирующим фактором транспирации выступает также дефицит влаги в почве. При его наличии несколько большая транспирация свойственна тем фитоценозам, которые расходуют меньше влаги на физическое испарение либо поверхностный сток и находятся в связи с этим в лучших условиях влагообеспеченности.

Рассмотрение транспирации в связи с почвенно-грунтовыми и другими условиями позволяет сделать некоторые выводы относительно возможных путей и способов регулирования влагооборота насаждений. Они свидетельствуют, что любые мероприятия по уменьшению суммарного испарения (изреживание насаждений, замена их породного состава и т. п.) будут тем результативнее, чем меньше мощность корнеобитаемого слоя и дефицит влаги в почве. Такие условия наиболее характерны в целом для северных и горных районов.

В то же время ограничивается возможность уменьшения испарения с помощью подобных мероприятий в районах недостаточного увлажнения, для которых характерен большой дефицит влаги в почве при мощной корнеобитаемой зоне. В этих условиях дополнительно поступающая в почву влага включается в процесс транспирации, и суммарное испарение практически не изменяется. Другими словами, происходит лишь перераспределение значений влагооборота между отдельными элементами испарения с насаждений. За счет этого решается задача улучшения влагообеспеченности фитоценозов, являющаяся первоочередной в данных условиях.

5.6. Поверхностный и почвенный сток

Различные аспекты формирования поверхностного и почвенного стока в разных ландшафтных, географических и почвенно-грунтовых условиях рассмотрены в ряде обобщающих работ [104, 107, 139, 140, 159 и др.]. Так как поверхностный сток является результирующим показателем практически всех элементов и

факторов влагооборота (перехват осадков кронами, водно-физические свойства, глубина и степень промерзания почв, интенсивность снеготаяния и т. п.), он рассматривается как одно из важнейших проявлений гидрологической роли лесов. С уменьшением поверхностной составляющей стока обычно связывают водорегулирующие, а иногда и в целом водоохранно-защитные свойства лесов.

В наших расчетах поверхностная составляющая стока не исползуется в качестве самостоятельного элемента водного баланса, поскольку мы располагаем только данными по водосборам различной лесистости, где интегрируются влияния насаждений различной структуры. Влияние структуры лесов на поверхностный и почвенный сток рассматривается в основном по литературным данным. В этой связи коснемся лишь основных особенностей этой составляющей стока, важной для оценки гидрологических свойств насаждений.

Влияние леса на поверхностный сток неоднозначно и зависит от почвенно-грунтовых условий, особенностей увлажнения, структуры самих насаждений и других факторов. В южных районах, например в лесостепной и степной зонах, леса способны перевести в почвенное звено влагооборота практически все выпадающие осадки.

Согласно Субботину [159], в южной части лесной зоны коэффициент весеннего поверхностного стока в лесах равен 0,25—0,30, а на полях 0,60—0,70. В средней части лесной зоны он близок к 0,50 в насаждениях и равен 0,60—0,70 на полях. В северной тайге и лесотундре коэффициент стока достигает 0,60—0,70 в лесах и 0,80—0,90 на полях, в Подмосковье близок к 0,25 и 0,75 соответственно.

Появлению стока в лесу обычно предшествует насыщение почвы влагой и образование верховодки. После этого водорегулирующая роль лесных фитоценозов заметно уменьшается. Осадки, выпадающие на почву, насыщенную влагой, в лесу стекают с коэффициентом стока, большим, чем на открытых пространствах (рис. 5.11). По исследованиям Субботина [159], в таких условиях формируется в среднем 20—25 % поверхностного стока в южных и до 35—40 % в северных районах лесной зоны. В отдельные годы сток в лесу формируется только за счет почвенной составляющей. По этой же причине на заболоченных площадях поверхностный сток под лесами мало отличается от его значений на открытых пространствах. Так, по данным В. В. Осипова [120], в условиях Ярославской области на водосборах с высокостоящими грунтовыми водами коэффициент весеннего стока в лесу равнялся 0,38—0,83.

Исследования на Истринском опорном пункте позволяют рассмотреть поверхностный (включая и почвенный) сток в зависимости от лесистости и других факторов в многолетнем плане (за 1950—1975 гг.). Наблюдения проводились на элементарных вод,

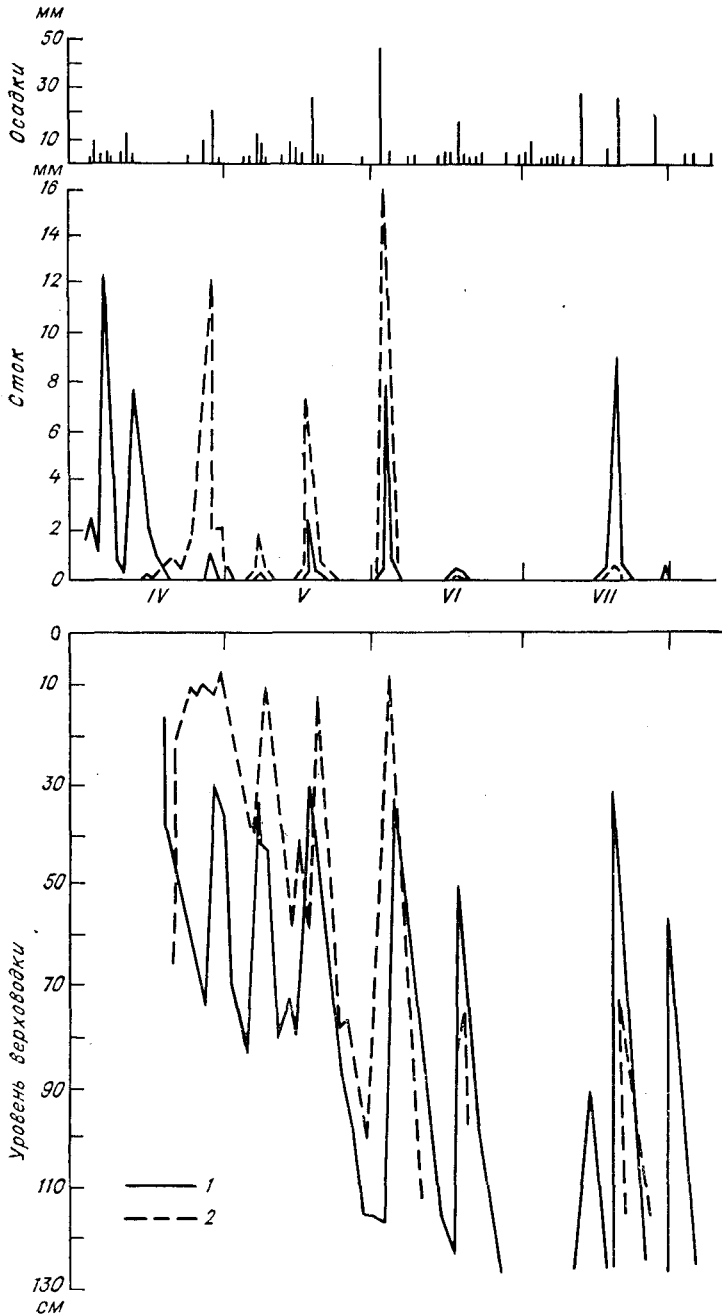


Рис. 5.11. Гидрографы дождевого поверхностного стока и ход уровней верховодки. Истринский опорный пункт, 1977 г.
1 — поле, 2 — лес.

сборах (см. табл. 2.1, 2.2). Лога имеют неглубокий врез и дренируют только поверхностную и почвенную составляющие стока в периоды половодий. Метеорологические и гидрологические наблюдения, необходимые для расчета характеристик стока (количество осадков, влажность почв, их промерзание, снеготаяние и др.), проводились в пределах бассейнов применительно к основным типам насаждений (большой частью на экспериментальных площадках).

Как и в других районах с дерново-подзолистыми почвами тяжелого механического состава, началу стока в лесу предшествует образование верховодки, водоупором для которой является иллювиальный горизонт. В поле сток может начинаться и без образования верховодки, обычно при сильном промерзании почв.

Из данных табл. 5.23 видно, что в среднем за период наблюдений коэффициент весеннего стока в лесном бассейне равнялся 0,23, в полевом бассейне он был в 2,5 раза больше (0,59), а в полулесном, как и следовало ожидать, имел промежуточные значения — 0,39 (за 1962—1975 гг.). В зависимости от условий отдельных лет и прежде всего от количества осадков и промерзания почв коэффициенты стока в лесном бассейне отклонялись от среднего в 2—4 раза и изменялись в пределах 0,05—0,51. В полевом бассейне такие отклонения от среднего были несколько меньше (в 2—3 раза) и значения коэффициента колебались от 0,20 до 0,91.

Важно отметить довольно тесное совпадение значений стока с бассейна лесистостью 57 % (близка к средней для района работ) и стока р. Истры. Это свидетельствует, во-первых, о высокой репрезентативности объектов наблюдений и, во-вторых, о возможности использования наблюдений на малых логах для прогноза весеннего стока в речных бассейнах [159].

Специфическими особенностями отличается сток в лесном бассейне № 1. Здесь он в 2,3 раза больше, чем в лесном бассейне № 2 (табл. 5.24). Это связано прежде всего с меньшей водорегулирующей способностью почв, обусловливаемой их пониженной водовместимостью и близостью иллювиального слоя.

Наряду с метеорологическими и почвенно-грунтовыми факторами различия поверхностного стока с лесных площадей в какой-то мере обуславливаются породным составом и другими элементами структуры самих насаждений. По наблюдениям Молчанова [108], в подзоне хвойно-широколиственных лесов (Московская область) при прочих равных условиях поверхностный сток имел наиболее высокие значения в еловом лесу. Коэффициент стока здесь был равен 0,32 на глинистых почвах, 0,26 — на суглинистых и 0,09 — на супесчаных. Заметно меньшие коэффициенты стока были в смешанном насаждении (соответственно 0,26, 0,16 и 0,09) и минимальные — в сосновом (0,12, 0,07 и 0,01).

В других условиях такая закономерность не подтверждается. Так, исследования, выполненные А. А. Молчановым и В. Н. Серо-

Таблица 5.23

Основные характеристики весеннего (поверхностного и почвенного) стока
Истринский опорный пункт

Год	Снегозапасы и осадки периода стока, мм			Слой стока, мм			Инфильтрация влаги в почву, мм			Коэффициент стока			Максимальный модуль стока, л/(с·га)		
	Лесистость, %														
	13	90	57	13	90	57	13	90	57	13	90	57	13	90	57
1950	118	130	136	107	21	27	11	109	109	0,91	0,16	0,56	4,90	0,47	—
1951	143	105	122	113	49	68	30	56	54	0,79	0,47	0,28	5,19	2,46	3,14
1953	125	139	137	113	20	47	12	119	90	0,90	0,14	0,34	13,60	0,80	4,23
1956	192	184	—	107	18	—	85	166	—	0,56	0,10	—	5,52	0,93	—
1957	200	180	—	158	72	—	42	108	—	0,79	0,40	—	7,99	2,03	—
1958	241	232	—	156	99	—	85	133	—	0,65	0,48	—	4,10	2,46	—
1959	141	118	—	108	40	—	33	78	—	0,77	0,34	—	5,97	1,02	—
1960	180	152	—	88	30	—	92	122	—	0,48	0,19	—	7,15	0,67	—
1961	150	144	—	99	40	—	51	104	—	0,66	0,27	0,36	5,32	1,32	—
1962	198	152	168	95	23	57	103	129	111	0,48	0,15	0,34	5,42	0,72	2,73
1963	134	106	118	113	41	80	21	65	38	0,84	0,39	0,66	7,01	1,36	4,95
1964	113	114	108	60	11	32	53	103	76	0,52	0,10	0,30	5,10	0,51	1,70
1965	152	132	142	37	7	23	115	125	119	0,24	0,05	0,16	4,88	0,55	2,06
1966	218	215	221	175	109	141	43	106	180	0,80	0,51	0,64	4,38	1,88	2,45
1967	147	150	140	99	48	42	48	102	68	0,70	0,32	0,51	4,01	1,19	2,76
1968	170	180	203	79	20	61	91	160	142	0,47	0,11	0,30	6,50	0,57	5,72
1969	143	131	139	57	15	42	86	116	97	0,40	0,12	0,30	6,38	0,55	2,42
1970	250	250	234	170	98	118	80	117	116	0,68	0,45	0,50	7,10	1,52	4,33
1971	139	128	133	59	11	31	80	117	102	0,42	0,09	0,23	3,30	0,26	1,42
1972	123	107	113	80	28	46	43	79	67	0,65	0,26	0,41	4,22	0,95	2,19
1973	186	127	187	69	9	23	117	119	164	0,37	0,07	0,18	2,88	0,55	1,42
1974	140	130	125	46	10	19	94	120	106	0,30	0,07	0,15	4,20	0,12	1,47
1975	122	93	97	25	14	22	97	79	75	0,20	0,15	0,23	2,43	0,85	1,70
1950—															
1975	162	148	—	96	35	—	66	110	—	0,59	0,23	—	5,54	1,03	—
1962—															
1975	160	141	152	83	32	55	77	109	97	0,50	0,20	0,35	4,84	0,83	2,66

Таблица 5.24

Весенний (поверхностный и почвенный) сток с лесных бассейнов со сходной лесистостью и с полевого бассейна

Истринский опорный пункт

Характеристика	Бассейн № 1 (лесистость 95%)			Бассейн № 2 (лесистость 90%)			Бассейн № 3 (лесистость 13%)		
	1973 г.	1974 г.	1975 г.	1973 г.	1974 г.	1975 г.	1973 г.	1974 г.	1975 г.
Коэффициент Максимальный модуль стока, л/(с·га)	0,19 1,17	0,27 0,48	0,23 2,7	0,06 1,14	0,07 0,12	0,16 3,39	0,37 2,88	0,30 2,2	0,27 5,44
Слой стока, мм	28	36	54	9	10	38	69	46	58

Таблица 5.25

Коэффициент поверхностного дождевого стока в зависимости от породного состава насаждений и крутизны склонов [107]

Горные леса Болгарии

Объект наблюдений	Крутизна склонов				Средний
	10°	20°	30°	40°	
Пашня	0,82	0,90	0,95	—	0,89
Лес:					
сосновый	0,17	0,25	0,33	0,48	0,31
еловый	0,03	0,05	0,08	0,34	0,12
буковый	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04

фимовым [107] в горных лесах Болгарии показали, что максимальный сток имел место под сосновыми насаждениями, а минимальный — под буковыми. Под еловым насаждением сток был ближе к его значениям под лиственным насаждением, чем под сосновым (табл. 5.25).

Нет оснований считать, что сосновые насаждения имеют более низкие, как и более высокие, водорегулирующие свойства. Они, по-видимому, существенно не различаются в хвойных насаждениях. Повышенный сток в приведенных опытах, надо полагать, обусловливался не столько самими сосновыми насаждениями, сколько приуроченностью их к специфическим (сухим или заболоченным) местообитаниям, которые не всегда учитываются.

Более значительное положительное воздействие лиственных древесных пород на поглощение влаги в лесах Урала наблюдали В. А. Мельчанов и В. Н. Данилик [98]. По их данным, на водосбо-

рах с преобладанием хвойных пород (ель, пихта) коэффициент поверхностного стока равнялся 0,26—0,28, а на водосборе с равным участием хвойных и лиственных пород — 0,14.

Кюхнерт [211] отмечает, что в условиях Австрии поверхностный сток в хвойных лесах равен 6—7 %, а в смешанных не превышает 5 % выпадающих осадков. И. П. Коваль и Н. А. Битюков [67] пришли к выводу, что в лесах Черноморского побережья Кавказа буквые насаждения оказывают самое сильное влияние на сток. Они больше переводят влаги в подземный сток, улучшают питание водных источников.

Меньший поверхностный сток под буковыми, чем под еловыми, насаждениями наблюдал О. В. Чубатый [179] в горных лесах Карпат. В буковых лесах коэффициент стока по отдельным годам изменялся от 0,07 до 0,61, а в еловых — от 0,36 до 0,80. Более значительное водорегулирующее воздействие насаждений из мягколиственных пород отмечалось также С. Ф. Федоровым [176] на стоковых площадках ВФ ГГИ. Вместе с тем, по исследованиям В. Н. Дьякова [47], в горных лесах Карпат коэффициент поверхностного стока в еловых насаждениях составил 0,065, в елово-буквых — 0,24 и в буковых 0,22.

Р. В. Опритова [117], анализируя сток на парных речных бассейнах в условиях Южного Сихотэ-Алиня, пришла к выводу, что наибольшая зарегулированность его также достигается в тех случаях, когда на водосборах преобладают хвойные леса. Однако метод парных речных бассейнов, в которых сочетается большое количество факторов, вряд ли можно рассматривать в качестве надежного средства для вычленения гидрологической роли отдельных элементов структуры насаждений.

Кантор [203], проводя исследования на парных воднобалансовых площадках в горных лесах Чехословакии, не обнаружил существенных различий поверхностного стока в буковом и еловом насаждениях. В первом из них он был равен 1,5 %, а во втором — 0,9 выпавших осадков.

В целом имеющиеся данные дают основание сделать вывод, что почвы лиственных и смешанных лесов обладают заметно большей способностью поглощать влагу, чем почвы хвойных лесов. Кроме прямых наблюдений за стоком это подтверждается материалами, характеризующими фильтрационные свойства и промерзаемость почв (см. п. 5.2). В этой связи нет оснований отождествлять повышенное проникновение осадков под полог лиственных насаждений с возможностью увеличения поверхностного стока, что имеет место в отдельных публикациях [41, 125].

Материалы, характеризующие зависимость поверхностного стока от других элементов структуры насаждений (возраст, сомкнутость крон), пока крайне ограничены. В Болгарии также исследования выполнены Раевым и Димитровым [133]. Они свидетельствуют, что поверхностный сток, как и водно-физические свойства

почв, наиболее заметно изменяется в период интенсивного роста насаждений. Так, в еловых насаждениях с 10- до 70-летнего возраста коэффициент поверхностного стока на каждые 10 лет возраста уменьшался в среднем на 4,3 %, а в возрасте от 80 до 140 лет — только на 1,3 %. За период жизни насаждения от 12 до 130 лет коэффициент стока уменьшился с 0,392 до 0,031 (табл. 5.26).

Таблица 5.26

Зависимость поверхностного стока от возраста еловых насаждений [133]

Горные леса Болгарии

Возраст, лет	12	25	48	71	93	115	130
Коэффициент стока	0,392	0,281	0,205	0,121	0,074	0,050	0,031

При изреживании еловых древостоев [115] имело место увеличение поверхностного стока. Особенно заметно сток увеличивался после снижения сомкнутости крон до 0,7—0,6 (табл. 5.27).

Таблица 5.27

Зависимость поверхностного стока от сомкнутости крон еловых насаждений (115)

Горные леса Болгарии

Сомкнутость крон	1,0—0,9	0,9—0,8	0,7—0,6	0,5—0,4	0,3—0,1	Выруб- ка
Сток, мм	5,7	1,9	7,0	11,0	15,4	16,7
Коэффициент стока	0,094	0,031	0,117	0,184	0,257	0,279

В целом имеющиеся материалы свидетельствуют, что поверхностный сток, как и другие элементы водного баланса лесов, существенно зависят от структуры насаждений и могут целенаправленно изменяться при воздействии на ее параметры.

5.7. Влияние лесов на питание и расход грунтовых вод

Грунтовые воды и обусловливаемый ими подземный сток — существенное и в то же время наиболее трудно определяемое звено влагооборота. Глубина стояния грунтовых вод под лесами и открытыми пространствами рассматривается в качестве важнейшего показателя их гидрологической роли. Вокруг этого вопроса возникали и продолжают возникать наиболее острые дискуссии. П. П. Отоцкий, Г. Н. Высоцкий и другие исследователи в более низком стоянии грунтовых вод под лесами видели иссушающую роль данного типа растительного покрова [34, 36, 121 и др.]. Более поздними исследованиями эта точка зрения либо не подтверждалась, либо разделялась частично, либо полностью отвергалась.

Имеющиеся в настоящее время материалы дают основание считать, что неоднозначность влияния лесов на грунтовые воды следует рассматривать как закономерное явление. Противоречие же

во взглядах часто связаны с недоучетом факторов, от которых зависит поведение грунтовых вод и с несовершенством методов исследований, что не позволяет вскрывать причинность явлений.

Как известно, Отоцкий и Высоцкий свои выводы о понижении уровней грунтовых вод под лесами, как и по другим вопросам гидрологии леса, основывали на результатах наблюдений в районах недостаточного увлажнения (тип 1 влагообеспеченности и укоренения растений, см. п. 5.4). В этих условиях сокращение питания грунтовых вод является следствием более глубокого иссушения почв и грунтов, в результате чего промывной или периодически промывной тип водного режима, свойственный открытым пространствам, сменяется непромывным типом с образованием «мертвого» горизонта под лесами. Древесная растительность, кроме этого, в силу мощной корневой системы и большей продолжительности вегетационного периода, интенсивнее, чем травянистая, отсасывает (десугирует) грунтовые воды и еще больше понижает их уровень. Такие явления наиболее четко выражены в засушливые годы. Во влажные периоды, как было показано более поздними исследованиями [100, 147, 148], возможно повышение уровня грунтовых вод под лесами, поскольку насаждения, обеспечивая более интенсивное поглощение влаги, в то же время при благоприятной влагообеспеченности во многом теряют преимущества в ее потреблении перед травянистой растительностью.

В целом можно заключить, что в районах недостаточного увлажнения и на почвах с неограниченной мощностью корнеобитаемой зоны под лесными насаждениями, занимающими более или менее значительную площадь, закономерным является понижение уровней грунтовых вод. В то же время при частичной облесенности возможно такое сочетание лесных и открытых площадей, при котором благодаря снегозадержанию и поглощению поверхностного стока, поступающего с сопредельных открытых пространств, будет устойчивым дополнительное питание грунтовых вод. Именно на использовании закономерностей влагооборота, свойственных частично облесенным площадям, основываются предложения по оптимальной водоохранной лесистости (см. п. 8.2).

Закономерности взаимоотношения лесов и грунтовых вод, свойственные типу 1 влагообеспеченности и укоренения растений (но при промывном водном режиме почв) и типу 2а (неограниченное увлажнение за счет грунтовых вод), рассмотрим на примере песчаных почв аридных районов (со свойственными им чертами специфики); тип 2б — на примере исследований в лесной зоне. Глубина укоренения древесных растений на глубоководных песках (тип 1) равна 3—4 м, травянистых — не более 1 м, на суглинистых почвах лесной зоны она практически не различается (0,5—0,7 м).

Песчаные образования обычно занимают речные террасы, сложенные аллювиальными отложениями различного возраста. Ис-

следования показали, что даже в этих весьма однородных почвогрунтах поведение грунтовых вод характеризуется значительным разнообразием в зависимости от многих факторов. Так, при залежании грунтовых вод в тонкозернистых или глинистых песках режим их заметно различается по элементам рельефа. В понижениях больше размах колебаний. Весной здесь нередко отмечается куполообразное повышение уровней (водоналивная линза) как следствие интенсивного питания талыми водами и поверхностным стоком. К концу лета ход уровней обратный — в понижениях образуется депрессионная воронка (вследствие интенсивного расходования влаги на транспирацию и испарение), под возвышенными местами ход уровней более спокойный. Такой тип режима мы наблюдали в третичных песках Северного Казахстана.

Поведение грунтовых вод, кроме этого, в большой мере зависит от степени их связи с дренирующими системами. По этому признаку в Бузулукском бору оказалось целесообразным выделить три типа режима грунтовых вод [149]: прибрежный — на расстоянии до 1,5—2 км от дренирующей реки (здесь поведение грунтовых вод в большой мере определяется колебаниями уровней воды в реке); водораздельный, или террасовый, — поведение определяется в основном факторами автохтонного (местного) порядка и переходный — сочетающий в себе черты прибрежного и водораздельного типов (рис. 5.12).

В годовом ходе, согласно Высоцкому, четко выделяется весенний инфильтрационный подъем уровней (от нескольких сантиметров до 1—1,5 м), летнее десукционное опускание с несколько меньшим размахом колебаний, осеннее выравнивание уровней (в местах интенсивного летнего потребления, например в понижениях рельефа, уровень в этот период повышается, а под возвышенными положениями — понижается). Зимой обычно наблюдается понижение уровней, обусловленное расходом влаги на сток в дренирующую сеть (рис. 5.12).

Наряду с сезонными колебаниями довольно четко выделяются погодичные, многолетние, а при определенном сочетании факторов и условий — суточные изменения уровней грунтовых вод. Многолетние колебания имеют различную продолжительность. Так, в Бузулукском бору довольно четко выделяются 3—5-летние и более длительные циклы (рис. 5.12). За период непрерывных наблюдений с начала XX столетия при маломеняющихся осадках уровень грунтовых вод имеет тенденцию к снижению (рис. 5.13), что в значительной мере, надо полагать, связано с понижением базиса эрозии (врезанием русла дренирующей реки). На фоне общего снижения наблюдаются циклы более высокого и более низкого стояния уровней грунтовых вод.

Специфичным оказалось поведение грунтовых вод в моренных отложениях. Такие условия характерны для объектов Истринского опорного пункта, Загорского лесхоза и других районов лесной

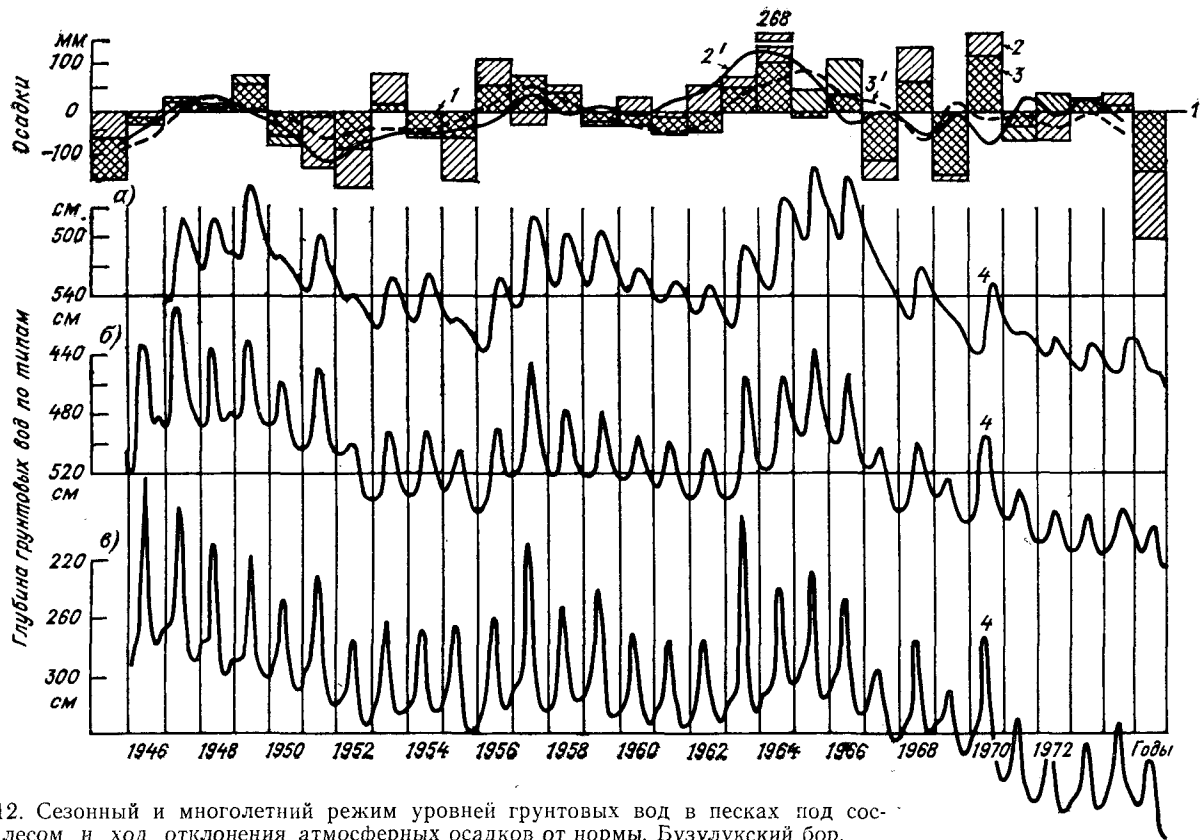


Рис. 5.12. Сезонный и многолетний режим уровней грунтовых вод в песках под сосновым лесом и ход отклонения атмосферных осадков от нормы. Бузулукский бор.

Типы грунтовых вод: *а* — террасовый, *б* — переходный, *в* — прибрежный; *1* — норма осадков (523 мм за гидрологический год и 294 мм за холодный период), принятая за нуль; *2* — отклонения от нормогодовых сумм осадков (*2'* — скользящая средняя по 5-летиям); *3* — отклонения от нормы осадков холодного периода (*3'* — скользящая средняя по 5-летиям); *4* — уровень грунтовых вод.

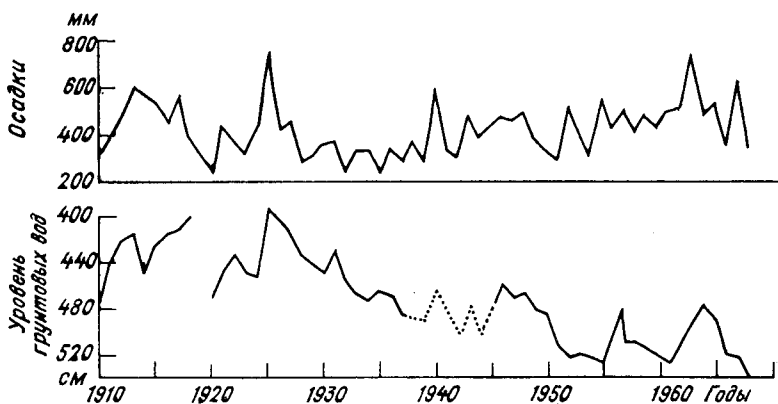


Рис. 5.13. Совмещенный график хода средних годовых уровней грунтовых вод в песках и суммы атмосферных осадков за гидрологические годы. Бузулукский бор.

зоны (тип 2б). Здесь не удалось выявить какие-либо закономерности в режиме грунтовых вод. Отдельные скважины вскрывали их уровень на различной глубине, не согласующейся с отметками рельефа. Более того, режим уровня грунтовых вод в скважинах оказался строго индивидуальным, размах его сезонных колебаний менялся от нескольких сантиметров до 2—3 м (табл. 5.28). Повидимому, здесь имеют место изолированные линзы грунтовых вод, напоминающие гидрографическую сеть поверхностных вод [159].

Еще более неоднозначен ответ на вопрос относительно методов изучения баланса грунтовых вод, а следовательно и влияния на них растительного покрова. Имеющиеся материалы свидетельствуют, что наблюдения за режимом уровней могут использоваться для расчета баланса далеко не во всех случаях, точность получаемых значений недостаточна. Можно назвать несколько причин, которые затрудняют расчет баланса грунтовых вод по результатам наблюдений за их уровнями. Это прежде всего отсутствие обоснованных критериев для определения водоотдачи водоносных пород. При большой глубине не удается с достаточной точностью определить их плотность и порозность. Уже сам факт, что одни исследователи водоотдачу определяют через разность запасов влаги между полной (ПВ) и наименьшей (НВ) влагоемкостью за вычетом объема заземленного воздуха [144, 145], а другие — между полной и капиллярной влагоемкостью [159], свидетельствует о значительной субъективности получаемых данных. Неясно также, что принимать за капиллярную влагоемкость, поскольку известно, что она изменяется в пределах капиллярной каймы: на границе с грунтовыми водами близка к ПВ, а на верхней границе каймы —

Таблица 5.28

Глубина грунтовых вод в скважинах, м от поверхности почвы
Истринский опорный пункт, 1976—1977 гг.

№ скважины	Местоположение скважины	Глубина грунтовых вод, м												Амплитуда колебаний
		16/XII	14/I	16/II	18/III	18/IV	18/V	17/VI	18/VII	17/VIII	19/IX	20/X	19/XI	
5	Поле, приводораздельный склон	12,51	12,4	12,49	12,6	12,53	12,57	12,45	12,32	12,33	12,34	12,3	12,4	0,03
6	Поле, тальвег	11,94	11,95	11,96	12,1	12,04	11,94	11,81	11,71	11,71	11,62	11,72	11,02	1,08
7	Поле, приводораздельный склон	12,03	11,93	11,86	12,1	12,1	11,73	11,22	10,85	10,78	10,77	10,97	11,67	1,33
8	Лес, приводораздельный склон	7,83	7,73	5,01	5,21	4,86	7,09	6,56	6,71	7,49	7,33	4,61	4,75	3,22
9	То же	6,83	6,97	7,08	7,59	6,78	6,37	6,22	6,3	6,43	6,57	6,65	6,76	1,37
10	Поляна, заболоченный луг	17,43	17,41	17,1	17,13	17,03	17,11	16,99	16,99	16,89	16,96	16,95	16,87	0,56
11	Вырубка, приводораздельный склон	13,71	13,67	13,76	13,84	13,66	13,7	13,55	13,49	13,42	13,37	13,33	13,42	0,51
15	Поле, заболоченное понижение	6,1	6,07	6,23	6,43	6,27	5,56	5,39	5,41	5,51	5,7	5,89	5,32	1,11

к НВ. Крайне слабо изученным и трудно учитываемым остается вопрос относительно объемов пор водоносных горизонтов, занятых так называемым заземленным воздухом.

Для пористых грунтов (песчаные, щебнистые) вычленение влияния растительного покрова и других факторов на грунтовые воды практически исключается. В этих условиях каждой скважиной интегрируется воздействие питания и расхода грунтовых вод, обусловливаемого различными факторами, в том числе и различными типами или видами растительного покрова в пределах значительной территории. С такими явлениями мы встречались при исследованиях в Бузулукском бору и на Среднем Дону. Здесь режим грунтовых вод под лесными насаждениями и смежными травянистыми фитоценозами оказался сходным вследствие интенсивного водообмена в пористых грунтах. По результатам изучения режима уровней грунтовых вод представилось возможным определить с определенной долей условности лишь интегральный баланс, обусловливаемый различными фитоценозами и условиями рельефа. Поскольку исследования в Бузулукском бору проводились в пределах обширного лесного массива, этот баланс отнесен в основном к лесной территории. Вычленение влияния отдельных фитоценозов на грунтовые воды произведено по результатам анализа влагозапасов в зоне аэрации с учетом количества осадков, достигающих поверхности почвы.

Показано [19], что при залегании грунтовых вод на глубине 4—5 м расход их на транспирацию под сосновыми средневозрастными насаждениями на 30—40 мм больше, чем в аналогичных условиях под естественной травянистой растительностью. Более того, в силу различий в потреблении влаги из почвы грунтовые воды под лесами недополучали примерно такое же количество инфильтрационной влаги. Различия баланса грунтовых вод обусловливались в основном более мощной корневой системой древесных растений (3—4 м против 1—1,5 м под травянистой растительностью — тип влагообеспеченности 1 при промывном режиме почв). Сами потребности растений во влаге практически не сказывались на ее потреблении, поскольку и в том и другом случае они удовлетворялись далеко не в полной мере. Именно поэтому в местоположениях, где грунтовые воды были одинаково доступны древесной и травянистой растительности (тип влагообеспеченности 2а), различия их баланса практически стирались, или характерная высоководным местообитаниям мезофитная древесно-кустарниковая растительность расходовала влагу, в том числе и грунтовых вод, в несколько большем объеме, чем сосновые насаждения.

Значительные трудности встретились при вычленении доли грунтовых вод, расходуемой на сток. Оказалось, что в одних и тех же грунтах она зависит не только от глубины стояния уровня. Причины такого явления недостаточно ясны. В их числе можно назвать влияние режима уровней в дренирующих реках, а также

различия в подтоке (подпоре) влаги, поступающей грунтовыми потоком с сопредельных водораздельных пространств. В этой связи расход грунтовых вод на сток определялся нами не по отношению к глубине их стояния, снимаемой с графика, как это обычно принимается в исследованиях [144, 176], а путем анализа кривой хода за каждый конкретный год. На сток при этом относилось снижение уровней, наблюдаемое в холодный период (при отсутствии транспирации) каждого конкретного года. Подробнее методика такого анализа описана в работе [19].

Для почв тяжелого механического состава (Истринский опорный пункт, Загорский лесхоз и др.) изучение баланса грунтовых вод оказалось возможным только с помощью анализа влагооборота в почвенно-грунтовой толще. В этих условиях при залегании грунтовых вод на значительной глубине (как правило, ниже 10 м) потребление их растениями практически не имело места или было незначительным (тип влагообеспеченности 2б). Поэтому решалась задача только оценки питания грунтовых вод (см. п. 2.2). Было показано, что в характерных для данных условий почвогрунтах однородного сложения после увлажнения довольно быстро устанавливается влажность, соответствующая НВ, а летнее иссушение не выходит за пределы 1—1,5-метровой толщи. В таком случае питание грунтовых вод P определялось по формуле $P = N - E - S_{\text{пов}} \pm \Delta W$, где N — сумма осадков за анализируемый период, E — суммарное испарение, $S_{\text{пов}}$ — поверхностный сток, ΔW — изменение влагозапасов в почве относительно НВ.

По этой формуле расчет проводился для весеннего периода, когда наблюдалось основное питание грунтовых вод, а транспирация принималась равной нулю или была незначительной.

Для определения возможного питания грунтовых вод в теплый период года анализ влагооборота проводился по месяцам. В те месяцы, когда количество осадков было меньше потенциально возможного суммарного испарения, определенного по формуле [72] $E = K \Sigma d$, где d — средний суточный дефицит влажности воздуха, принималось, что питание грунтовых вод отсутствовало (хотя не исключено, что в отдельных случаях на фоне слабого иссушения почв оно и имело несущественные значения). При преобладании осадков над испаряемостью на питание относилась та их доля, которая оставалась за вычетом суммы этого испарения, расхода на восполнение дефицита влаги в почве и на поверхностный сток (см. п. 6.2). Такой способ нам представляется наиболее обоснованным и доступным.

Только этим методом удалось определить различия в питании грунтовых вод под насаждениями различного породного состава, свойственные типу 2б влагообеспеченности и укоренения растений. Они оказались существенными. Здесь прослеживаются в общем те же закономерности, которые характерны и для других элементов влагооборота.

Наибольшее питание грунтовых вод имело место под лиственными насаждениями и небольшими открытыми пространствами (поляны, окна, просеки и т. п.) как в результате повышенного проникновения осадков (особенно снега), так и вследствие минимального иссушения почвогрунтов и слабого их промерзания. В среднем за 8 лет наблюдений на экспериментальных площадках Истринского опорного пункта (табл. 5.29) под лиственными насаждениями на питание грунтовых вод поступило 210 мм осадков в год (колебания по годам от 68 до 369 мм), а в еловом лесу высокой продуктивности и сомкнутости — только 96 мм (от нуля до 236 мм). Здесь питание в среднем было близким к его значениям на полевом участке с различным севооборотом, где оно составило 102 мм/год при колебаниях также от нуля до 309 мм. В смешанном насаждении эти показатели, естественно, занимают промежуточное положение между показателями для хвойного и лиственного леса.

Уменьшение до определенных значений густоты хвойных насаждений (сомкнутость крон 0,5—0,6), а также чередование насаждений с небольшими открытыми пространствами типа полян-скон способствует большему питанию грунтовых вод. В этой связи в средних реальных условиях питание грунтовых вод под лесами всегда выше, чем на открытых пространствах.

Важно иметь в виду, что влияние одних и тех же фитоценозов на грунтовые воды не остается постоянным во времени. В этом отношении довольно четко различаются периоды различного увлажнения. Если под травянистыми фитоценозами различия в питании грунтовых вод в какой-то мере нивелируются, поверхностным стоком, то в лесах (даже в аридных районах) во влажные годы идет более интенсивное пополнение грунтовых вод и повышение их уровней. В засушливые годы более вероятно обратное соотношение — истощение грунтовых вод под лесами и понижение их уровней вследствие наличия более мощной корневой

Таблица 5.29

Питание грунтовых вод под лесными насаждениями различного состава и на полевом участке, мм/год

Истринский опорный пункт

Объект наблюдений	Годы								Среднее
	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	
Лиственное насаждение	154	68	295	233	192	369	280	86	210
Еловое насаждение	37	—	80	145	106	236	163	2	96
Поле	—	24	213	83	76	309	137	25	102

системы. Поэтому при кратковременных наблюдениях значительна вероятность ошибочных выводов из-за недоучета многообразия факторов, обуславливающих поведение грунтовых вод. Дискуссии по влиянию лесов на грунтовые воды в ряде случаев связаны с недоучетом этих факторов и процессов.

Таковы основные закономерности поведения грунтовых вод. Они свидетельствуют, что питание и расход их зависят от многих факторов и поэтому требуется дифференцированный подход к их изучению. Наряду с определением режима уровней важно учитывать влагооборот в почвенно-грунтовой толще. Только комплексное изучение баланса в различных звеньях экосистем позволяет выявить влияние на грунтовые воды фитоценологических факторов. Как показывают результаты исследований, *это влияние настолько велико, что, воздействуя на растительный покров, в том числе на структуру насаждений, можно в значительной мере регулировать питание грунтовых вод и обуславливаемый ими наиболее ценный сток подземной составляющей.*

В первом приближении можно сделать следующие обобщения относительно влияния различных растительных сообществ на грунтовые воды:

а) на почвах с неограниченной мощностью корнеобитаемой зоны (различной для древесной и травянистой растительности) и при лимитируемом увлажнении (тип влагообеспеченности 1) лесные насаждения вне зависимости от породного состава (хвойные лишь в большей степени) способствуют истощению запасов грунтовых вод (в основном за счет более мощных корневых систем); в таких же условиях, но при устойчивом промывном типе водного режима почв влияние лесов зависит от соотношения обуславливаемого ими дополнительного поступления влаги на фильтрацию (снегонакопление, уменьшение поверхностного стока) и ее последующего, более интенсивного расходования из почвы на испарение;

б) на почвах с нелимитируемым увлажнением (тип 2а) эти соотношения также неоднозначны, но здесь они определяются в основном надземным звеном фитоценозов (листопадность, продуктивность, густота) — густые темнохвойные леса обуславливают, как правило, истощение грунтовых вод (например, разболачивание зарастающих лесом вырубок), значение лиственных лесов близко к нейтральному или в некоторой степени положительно;

в) на почвах с ограниченной (одинаковой для всех фитоценозов) мощностью корнеобитаемой зоны в условиях промывного типа водного режима (2б) и глубокого залегания грунтовых вод лиственные насаждения практически всегда способствуют влагонакоплению, густые хвойные — истощению влаги, роль смешанных лесов близка к нейтральной (см. выше). Практически во всех случаях положительное влияние лесов на пополнение грунтовых вод усиливается при увеличении количества выпадающих осадков и уменьшении мощности корнеобитаемой зоны.



Водный баланс лесов и открытых пространств, их влияние на испарение и сток

Наличие материалов по отдельным элементам влагооборота позволяет перейти к рассмотрению основного вопроса гидрологии лесов — их влияния на суммарный сток. Этот вопрос обычно решается путем сравнения водного баланса или отдельных его элементов (испарение, сток) на лесных и безлесных площадях (водосборах). Такой подход нельзя считать методически обоснованным, поскольку, как показано выше, различия влагооборота отдельных насаждений нередко более существенны, чем подобные различия, свойственные «обезличенным» лесам и открытым пространствам [21, 28].

В этой связи перед тем, как рассмотреть гидрологическую роль лесов и открытых пространств, проведем сравнительный анализ водного баланса отдельных насаждений в зависимости от их породного состава, возраста, густоты и других особенностей структуры. Такой дифференцированный подход является, кроме этого, теоретической основой для решения конкретных водохозяйственных задач с помощью различного рода мероприятий, проводимых на водосборах.

6.1. Гидрологические особенности отдельных периодов года

Большинство выводов и положений относительно гидрологической роли фитоценозов основывается на результатах воднобалансовых исследований, относящихся к вегетационному (теплому) периоду года (обычно май — сентябрь), когда наиболее интенсивны процессы влагооборота. Регулярные воднобалансовые наблюдения обычно начинаются после установления относительно стабильной влажности почв в пределах НВ и менее. На тяжелых по механическому составу дерново-подзолистых почвах лесной зоны такие условия создаются в мае (в отдельные годы даже в июне). Осенью в качестве лимитирующего выступает названный фактор, а также начало заморозков и крайне незначительный расход влаги на

испарение. Холодный период обычно меньше интересует исследователей, поскольку испарение в это время невелико.

В тех случаях, когда по балансу представляются годовые данные, обычно ограничиваются введением в них лишь некоторых поправок на испарение в холодный период года, полагая, что летний сезон, являясь определяющим для влагооборота, обуславливает и основные различия стока, свойственные отдельным фитоценозам и угодиям.

С. Ф. Федоров [176], как отмечалось выше, провел длительные круглогодичные воднобалансовые наблюдения (1952—1972 гг.). Однако подытоживая результаты исследований, он сделал вывод, что в холодный и переходные сезоны года испарение в лесу и в поле примерно одинаково и близко к испаряемости. К подобному выводу пришел и В. В. Осипов [120]. Он отметил, что в условиях Ярославской области испарение за октябрь—начало мая в среднем за 4 года наблюдений (1964—1967) равнялось 65 мм с полевого водосбора и 71 мм с лесного (на последнем преобладают в основном лиственные леса). Согласно А. А. Молчанову [103], за ноябрь—апрель, по данным 2 лет наблюдений, испарение под пологом соснового леса оказалось абсолютно одинаковым (28,3 мм) не только по годам, но и по месяцам, что мало вероятно и трудно объяснимо. Испарение в поле за эти же 2 года, как и под пологом леса, также не различалось и составляло 72,2 мм. Вместе с тем только за холодный период испарение (с учетом задержания осадков кронами) различие испарения в отдельных насаждениях было существенным: 45 мм в березовом лесу, 60—65 мм в сосновых насаждениях и 68—97 мм в еловых древостоях. В сумме холодный и переходные периоды автор не рассматривает и каких-либо выводов относительно их роли применительно к отдельным фитоценозам не делает.

Вместе с тем существенное внимание холодному и переходным периодам года уделяют гидрологи, занимающиеся выяснением закономерностей формирования весенних половодий [14, 72—74, 159, 164], но эти интересные материалы для суждений о влиянии фитоценозов на суммарное испарение и сток в годовом и более длительных циклах обычно не используются.

Однако имеющиеся данные свидетельствуют о методической обусловленности дифференцированного подхода к анализу влагооборота фитоценозов применительно к отдельным периодам года (теплый, переходные, холодный). Каждому из этих периодов присущи свои закономерности поступления и расходования влаги. Эти закономерности в ряде случаев настолько значимы, что выступают в качестве определяющих при оценке гидрологической роли фитоценозов.

Прежде всего по периодам года в фитоценозах четко различается соотношение физических и физиологических процессов, обуславливающих испарение. С физическими воздействиями связаны

перехват осадков пологом и их последующее испарение (расходная функция) и противоположная ему экранирующая роль полога, обуславливающая уменьшение испарения с почвы (защитная функция). В качестве физиологического процесса выступает транспирация, опосредованная через влагообеспеченность почв (во всех случаях расходная функция).

С этих позиций очень наглядна положительная роль листопадных (лиственных) лесов в холодный и переходные периоды года. В это время здесь создаются исключительно благоприятные условия для накопления и сохранения влаги, поскольку испаряющая функция (задержание осадков пологом) крайне незначительна и нередко компенсируется конденсационными явлениями, а защитная проявляется практически в полной мере, несмотря на безлистное состояние полога (см. ниже). Поэтому в невегетационный период фитоценозы из лиственных пород выступают как весьма совершенная система, своего рода «ловушка» для атмосферных осадков, особенно твердых: они относительно полно проникают под полог, последний же в свою очередь предотвращает их испарение.

В хвойных лесах процессы влагооборота являются более сложными — наряду с защитной здесь в полной мере проявляется перехватывающая (по отношению к осадкам) и в какой-то мере транспирационная функция полога.

Полевые фитоценозы в невегетационные периоды вообще «не работают» как система, испарение здесь происходит с открытой поверхности почвы или воды и, как правило, близко к испаряемости, поскольку влага не выступает в качестве лимитирующего фактора.

Преимущества исследований водного баланса по периодам года очевидны и в методическом отношении. При их вычислении значительно уменьшается вероятность погрешностей в наблюдениях и расчетах вследствие того, что в холодный и переходные сезоны из баланса исключается наиболее трудно определяемый элемент баланса — транспирация, а испарение с почвы изучается при стабильном увлажнении. В этой связи упрощается учет влаги, поступающей на важнейший элемент баланса — сток.

Это позволяет замкнуть водный баланс и получить довольно полное представление о гидрологической роли фитоценозов при использовании уравнений с ограниченным числом элементов влагооборота.

Рассмотрим особенности испарения в переходные периоды года на открытых пространствах и в лесах в соответствии с методикой, изложенной в главе 2.

Еще Г. Н. Высоцкий [35] обращал внимание на специфические особенности влагооборота, свойственные невегетационному сезону. Он отмечал, что ранней весной леса характеризуются влагоконсервирующими свойствами, в частности в связи с тем, что сход

снега в насаждениях и начало вегетации растений здесь наступают значительно позже, чем на открытых пространствах. Однако он не располагал материалами наблюдений, которые позволили бы количественно охарактеризовать влагооборот в этот период года. Кроме того, свои предположения Высоцкий высказывал только применительно к листопадным лесам, в которых он проводил исследования, в районах недостаточного увлажнения.

И в настоящее время материалы по испарению в переходные периоды года ограничены. Это во многом связано с трудностями изучения данного процесса, обусловливаемыми переувлажнением почвогрунтов и вероятностью заморозков. В этой связи с помощью приборов весной испарение обычно изучается только с начала апреля, а осенью заканчивается октябрём. Но и для этих месяцев материалы удается получить далеко не ежегодно, часто лишь за отдельные дни или декады [164, 176]. Вместе с тем для этих периодов вполне удовлетворительные результаты дают расчетные способы оценки испарения, поскольку оно протекает в условиях неограниченного увлажнения.

С помощью приборов испарение в переходные периоды года в 1956—1972 гг. изучали В. Р. Авдеев [2] и С. Ф. Федоров [176] в условиях Новгородской области, О. И. Крестовский с соавторами [72, 74] в Новгородской и Кировской областях. Для этой цели Авдеев использовал специальные испарители, заряженные почвенными монолитами; Федоров — большие гидравлические испарители, Крестовский [72] — испарители ГГИ-500 и ГГИ-3000. Полученные данные являются наиболее полными по испарению за переходные периоды года, однако получены они в основном по наблюдениям в поле. Под пологом леса исследования проводились только Крестовским [71, 72, 74]. Обычно считается, что испарение в эти периоды близко к испаряемости и практически не различается в лесных фитоценозах и на открытых пространствах [72, 176].

Для условий Московской области имеются данные отдельных наблюдений за испарением в апреле и октябре, полученные с помощью испарителей ГГИ-500 [164]. Кроме того, А. И. Субботиным [159] приводятся результаты изучения испаряемости с небольших сосудов (чашек Петри) в поле и под пологом лиственного леса на Подмосковной воднобалансовой станции. Подобные наблюдения раньше выполнил А. А. Лучшев [87] на Истринском опорном пункте.

Нами использовано несколько подходов к определению испарения в переходные периоды года. В течение отдельных лет наблюдения проводились по микроиспарителям (см. главу 2) и с помощью испарителей-лизиметров на экспериментальных площадках Истринского опорного пункта. Оба прибора работали по принципу компенсационных при неограниченном увлажнении и учете потерь воды объемным методом. Исследования выполня-

лись параллельно в поле и под пологом насаждений различного состава для выявления соотношения между испарением на лесных и безлесных объектах.

Расчет водного баланса выполнен за 8-летний период. Испарение в поле рассчитывалось по формуле теплового баланса [146]

$$E = (R_6 - Q_n) / [252(1 + \Delta T / \Delta e)], \quad (6.1)$$

где R_6 — радиационный баланс поверхности, Дж/см²; Q_n — поток тепла через поверхность почвы, Дж/см²; ΔT — разность температуры воздуха на двух уровнях, °С; Δe — разность влажности воздуха на двух уровнях, гПа.

Периодические измерения радиационного баланса $Q_{\text{Истра}}$ (Дж/сут) показали, что он связан со значениями, полученными метеорологической обсерваторией МГУ, уравнением

$$Q_{\text{Истра}} = 3,47Q_{\text{МГУ}} + 110. \quad (6.2)$$

По нему были рассчитаны суммы радиации за те сутки, когда наблюдения за ней непосредственно на объектах не проводились. Значения ΔT , Δe и Q_n определялись экспериментально.

Контрольные расчеты испарения произведены также по суточным значениям дефицита насыщения воздуха (гПа) по формулам [73]:

$$E = 0,34 \sum d \quad (6.3)$$

для испарения со снежного покрова (формула П. П. Кузьмина) и

$$E = 0,44 \sum d \quad (6.4)$$

для испарения в период пестрого ландшафта (со снега и проталин) и после окончания снеготаяния при хорошей водонасыщенности почвы.

Оба способа (табл. 6.1) дали довольно сходные результаты.

Испарение за весенний сезон определялось нами за период от начала снеготаяния (как правило, первая половина марта) до начала активной вегетации растений, совпадающего обычно с появлением листьев на листопадных древесных породах (вторая половина апреля — начало мая). Средняя продолжительность весеннего периода в поле составила 45 сут. (табл. 6.1) с колебаниями по годам от 30 до 61 дня. Для осеннего сезона в расчеты включался лишь период между последним наблюдением за влажностью почв (конец октября — ноябрь) и установлением устойчивого снежного покрова (вторая половина ноября, декабрь, иногда январь). Средняя продолжительность осеннего периода 28 сут (табл. 6.1).

В более ранние сроки необходимости определять испарение не было, поскольку оно учитывалось через влажность почв и таким образом находило отражение в балансовых расчетах.

Таблица 6.1

Испарение в ранневесенний и позднеосенний периоды года, определенное расчетными методами (для поля), мм

Истринский опорный пункт

Гидрологи- ческий год	Осень		Весна			Весна и осень, мм	
	период	мм, по формуле (6.1)	период	мм, по фор- мулам		формула (6.1)	формулы (6.3), (6.4)
				(6.1)	(6.3), (6.4)		
1967-68	16/X—22/XI	10	20/III—4/V	70	62	80	90
1968-69	4/XI—12/XI	1	4/III—29/IV	42	45	43	47
1969-70	30/X—4/XII	4	9/III—28/IV	32	14	36	32
1970-71	23/XI—30/XI	—	9/III—9/V	76	64	76	75
1971-72	2/XI—6/XII	4	14/III—16/IV	27	27	31	38
1972-73	4/XI—8/I	6	13/III—24/IV	51	29	57	54
1973-74	—	—	12/III—3/V	63	65	63	65
1974-75	2/XI—4/XII	18	11/III—16/IV	42	45	60	55
Среднее	28 сут	5	45 сут	51	44	56	57

По результатам наших наблюдений, испарение за названные выше сроки неодинаковой продолжительности весной изменялось от 27 мм (за 30 сут марта — апреля 1972 г.) до 76 мм (за 64 дня 1971 г.) при среднем за 8 лет наблюдений (45 сут) значении 51 мм. Среднее суточное испарение при этом составило около 0,3 мм в марте и около 1,5 мм в апреле.

Сходные значения весеннего испарения получены и другими исследователями. По наблюдениям Подмосковной воднобалансовой станции, в апреле испарялось около 40—50 мм влаги (1,3—1,7 мм/сут). Согласно Крестовскому с соавторами [72], в условиях Новгородской области (Шелонская экспедиция ГГИ) за 20 сут апреля 1962 г. испарение составило 36 мм (1,8 мм/сут), а за 16 сут апреля 1963 г.—22 мм (1,4 мм/сут). Такого же порядка данные получены в условиях Кировской области (Вятская экспедиция ГГИ) — 1,2—2 мм/сут и Новгородской области (ВФ ГГИ) — 1—1,7 мм/сут в апреле и до 2,3 мм/сут в мае. В целом для бассейна р. Вятки испарение за период снеготаяния по отдельным пунктам наблюдений менялось в пределах 14—68 мм. В бассейне р. Поломети испарение, среднее за стокообразующие периоды 1952—1970 гг., составило 65 мм при максимуме 90 мм [73]. Надо отметить, что названные выше пункты наблюдений располагаются в подзоне южной тайги, где испаряемость примерно на 30 % меньше, чем в районе расположения объектов наших наблюдений.

Для массовых расчетов авторы работы [72] рекомендуют, однако, более низкие значения испарения в период снеготаяния — около 1 мм/сут для европейской части страны. Испарение под пологом леса при этом принимается равным 40 % испарения в поле

Таблица 6.2

Испаряемость под пологом елово-лиственного насаждения, % испаряемости на открытых местах по результатам наблюдений с помощью разных приборов Истринский опорный пункт

Период наблюдений	Испаритель- лизиметр	Микроиспаритель	Среднее
1976 г.			
8/IV—29/IV		22	22
1/IX—25/IX		14	14
1977 г.			
8/IV—10/V	42	36	39
1/IX—25/IX	28	16	22

для еловых насаждений, 50 % — для смешанных и 60 % для лиственных.

Осенью интенсивность испарения в 2—3 раза меньше, чем весной. Существенно короче и период испарения. По данным Лучшева [87], в октябре 1939 г. на Истринском опорном пункте оно равнялось 5,4 мм, по Федорову [176], на Валдае колебалось от 10 до 18 мм, а в Подмосковье, по А. И. Субботину и В. С. Дыгалю [164], — от 5 до 30 мм.

Как отмечалось выше, испарение осенью определялось нами в основном за ноябрь — начало декабря. За 8—64 дня оно изменялось от нулевых значений до 18 мм, а в среднем за 8 лет составило 5 мм/сезон (см. табл. 6.1). В целом за осенний и весенний периоды среднее испарение было равно 56 мм (по годам — от 31 до 80 мм).

Расчетные методы мало пригодны для определения испарения под пологом насаждений в переходные периоды года. Прямые измерения испаряемости здесь также проводить трудно вследствие малых ее значений и наличия ряда искажающих факторов (трудности учета осадков, попадающих в испарители, загрязнение последних опадом, наличие верховодки и др.). В этой связи мы, как и другие исследователи [72, 88, 159], пошли по пути установления переходных коэффициентов от значений испарения (в эти периоды оно близко к испаряемости), измеренных (рассчитанных) на открытых местах. По параллельным наблюдениям с помощью испарителей-лизиметров и микроиспарителей испаряемость под пологом леса весной составила 22—42 % испаряемости с поля (табл. 6.2), осенью 14—28 %.

В п. 4.3.2 отмечалось, что породный состав насаждений не оказывает существенного влияния на подпологовую испаряемость. Весной под пологом елового леса она была в среднем только на 16 % меньше, чем под пологом лиственного насаждения (табл. 6.3). Осенью такие различия практически не наблюдались.

Таблица 6.3

Испаряемость под пологом лиственного и елового леса
Истринский опорный пункт

Период наблюдений	Лиственный лес, мм/сут	Еловый лес	
		мм/сут	% испаряемости в лиственном лесу
1976 г.			
8/IV—29/IV	1,19	0,92	77
1/IX—25/IX	0,28	0,26	93
1977 г.			
8/IV—10/V	0,93	0,85	91
1/IX—25/IX	0,26	0,26	100

При низких значениях испаряемости под пологом внесение поправок на состав насаждения теряло смысл, так как они не превышали бы 1—2 мм за весенний период при крайне малых значениях осенью. То же отмечается в работах [72, 74].

В этой связи интенсивность испарения (испаряемости) под пологом всех насаждений нами принята равной 40 % испарения на открытых местах вне зависимости от сезонов года.

Кроме экономии влаги за счет малого испарения в лесу, весной его низкие значения во многом связаны с более короткими сроками испарения. Согласно Субботину [159], на Подмосковной вод-

Таблица 6.4

Даты схода снега и продолжительность снеготаяния на полевых и лесных объектах наблюдений.

Истринский опорный пункт

Год	Дата схода снега		Продолжительность снеготаяния, сут		Разница лес — поле, сут
	поле	лес	поле	лес	
1963	19/IV	23/IV	11	15	4
1964	13/IV	20/IV	6	13	7
1965	17/IV	25/IV	4	12	8
1966	7/IV	16/IV	14	23	9
1967	13/IV	18/IV	17	22	5
1968	31/III	17/IV	11	28	17
1969	13/IV	20/IV	4	11	7
1970	11/IV	23/IV	10	22	12
1972	21/III	15/IV	8	33	25
1973	31/III	9/IV	8	17	9
1974	6/IV	27/IV	20	41	21
1975	30/III	5/IV	25	33	8
Среднее			12	22	10

Таблица 6.5

Испарение весной и осенью в поле и под пологом лесных насаждений, мм
Истринский опорный пункт

Испарение	Гидрологические годы							Среднее	
	1967-68	1968-69	1969-70	1970-71	1971-72	1972-73	1973-74		1974-75
Поле, мм	80	43	36	76	31	57	63	60	56
Лес:									
мм	23	18	14	25	10	22	21	19	19
% испарения в поле	29	24	39	34	32	39	33	32	34

нобалансовой станции в среднем за 17 лет снег в лесу стаявал на 11 сут позже, чем в поле, а по отдельным годам — от 3 до 21 дня. По нашим наблюдениям на Истринском опорном пункте в среднем за 12 лет снеготаяние в лесу заканчивалось на 10 сут позже, чем в поле (табл. 6.4). В отдельные годы эти различия изменялись от 4 до 25 сут. Нередки были периоды, когда при наличии испарения в поле в лесу оно компенсировалось или перекрывалось конденсацией влаги.

В среднем за период наблюдений испарение под пологом, рассчитанное с учетом различий продолжительности предзимних и ранневесенних периодов, составило 34 % испарения в поле, или 19 мм. По годам это значение изменялось от 10 до 25 мм (табл. 6.5).

Приведенные выше значения испарения в поле фактически характеризуют его сумму для данных периодов. В лиственных и смешанных лесах существенная, а в хвойных основная доля испарения приходится на задержание осадков пологом.

6.2. Водный баланс лесов и открытых пространств в холодный и переходные периоды года

Приходной частью уравнения водного баланса являются атмосферные (вертикальные) осадки. Для лесных и полевых экспериментальных объектов они принимаются нами одинаковыми по данным измерений на поляне (см. п. 2.2). В такие осадки вводились поправки только на смачивание осадкомерных ведер.

Расходной частью уравнения водного баланса объектов исследований являются следующие компоненты:

— суммарное испарение, т. е. испарение со всех видов поверхностей, включая транспирацию древесной и почвенной растительности;

— изменение запасов влаги в почвогрунтах корнеобитаемой зоны, но не менее метрового слоя; определяется как разность между измеренными запасами на конец и начало расчетного периода; при этом знак «плюс» означает увеличение (пополнение) запасов, «минус» — их убыль, которую мы относим за счет испарения, если влажность почв уменьшается от НВ и ниже ее;

— суммарный, или полный, сток с участков, включающий поверхностную и почвенную составляющие, а также влагу, просочившуюся за пределы корнеобитаемой зоны — потенциальный подземный сток. Суммарный сток определялся нами по разности между указанными приходной и расходной частями уравнения водного баланса, поэтому рассчитанный сток включает в себя невязку уравнения водного баланса. При знакопеременных погрешностях измерений невязки баланса имеют наименьшие значения.

Аккумулятивным компонентом водного баланса участка (водосбора) является изменение запасов грунтовых вод первого и нижележащих горизонтов. За расчетный период этот компонент баланса влаги определяется как разность запасов грунтовых вод на конец и начало периода. В среднем за ряд многоводных и маловодных лет изменение запасов грунтовых вод близко к нулю, хотя за гидрологический год оно имеет погрешность со знаком «плюс» после влажного года и «минус» — после засушливого. За отдельно взятый сезон или полугодие изменение запасов грунтовых вод может быть существенным. Однако из-за нечетко выраженного горизонта грунтовых вод и недостаточности сети наблюдательных скважин мы включали этот компонент в баланс влаги по рассчитанным данным отдельно для холодного и теплого периода года (см. с. 154).

С учетом изложенных методических положений ниже рассматриваются балансы влаги открытых пространств и лесных насаждений в холодный, переходные и другие периоды года.

На полевом участке испарение за холодный период колебалось по годам в пределах 4—25 мм при среднем значении 16 мм (7 % осадков) за 8-летний период. Суммарное испарение составило за холодный и переходные периоды 72 мм, или 32 % осадков. На восполнение дефицита влаги в почве расходовалось от 0 до 131 мм (в среднем 31 мм, или 14 % осадков). Остаток влаги на возможный поверхностный и почвенный сток, а также на инфильтрацию влаги за пределы корнеобитаемой зоны (потенциальный подземный сток) в отдельные годы составлял 46—172 мм при 120 мм в среднем за 8-летний период (табл. 6.6). Таким образом, потери дождевых и талых вод на полевом участке составляли 46 %, а возможный сток — 54 % осадков. В отдельные годы сток составлял 20—80 % осадков.

При таком же количестве осадков, выпавших на полог леса, структура водного баланса насаждений различного породного состава была существенно иной, чем в поле. В еловом лесу

Таблица 6.6

Баланс влаги на полевом участке в холодный и переходные периоды года (от первых снегопадов до начала вегетации полевых фитоценозов), мм

Истринский опорный пункт, ЭП-4

Элемент водного баланса	Гидрологические годы								Среднее	
	1967-68	1968-69	1969-70	1970-71	1971-72	1972-73	1973-74	1974-75	мм	%
Приход										
Осадки	194	171	418	146	189	263	157	245	223	100
Расход										
Испарение:										
со снега	19	15	18	24	7	16	25	4	16	7
с почвы:										
весной	70	42	32	76	27	51	63	42	51	23
осенью	10	1	4	—	4	6	—	18	5	2
суммарное	99	58	54	100	38	73	88	64	72	32
Восполнение дефицита влаги в почве	40	32	24	—	—	18	—	131	31	14
Возможный потенциальный суммарный сток	55	81	340	46	151	172	69	50	120	54

(табл. 6.7) в качестве основного элемента испарения выступало задержание осадков пологом — в среднем 79 мм (50—113 мм по годам), или 35 %. Суммарное испарение составляло 44 %. Максимален был здесь и расход влаги на восполнение ее дефицита в почве — 71 мм (0—137 мм), или 32 %. Остаток влаги на возможный суммарный сток в этих условиях составлял в отдельные годы 3—167 мм (2—50 % осадков) при 54 мм в среднем (24 %).

В лиственном лесу на задержание осадков безлиственным пологом расходовалось только 13 мм (6 %), на суммарное испарение — 14 %, а на восполнение дефицита влаги в почве — всего 18 % (40 мм). В этой связи потери дождевых и талых вод здесь были наименьшими (32 %), а возможный суммарный сток — наибольшим (68 %, или 151 мм).

Смешанные насаждения по влагообороту занимают промежуточное положение между еловыми и лиственными лесами. Формирующиеся здесь сток и инфильтрация за пределы корнеобитаемой зоны (110 мм) были в среднем довольно близки к значениям этих элементов в поле (120 мм).

Таким образом, за холодный и переходные периоды, являющиеся определяющими в годовом влагообороте, в среднем за 8 лет наблюдений на возможный суммарный сток в лиственном лесу

Таблица 6.7

Баланс влаги в насаждениях различного породного состава за холодный и переходные периоды года (с момента первых снегопадов до начала вегетации лиственных пород), мм
Истринский опорный пункт

Элемент водного баланса	Гидрологические годы								Среднее	
	1967-68	1968-69	1969-70	1970-71	1971-72	1972-73	1973-74	1974-75	мм	%
Еловое насаждение (ЭП-3)										
Приход										
Осадки	194	171	418	146	189	263	157	245	223	100
Расход										
Испарение:										
с полога	50	70	119	72	78	113	61	73	79	35
подпологовое (весна, осень)	23	18	14	25	10	22	21	19	19	9
суммарное	73	88	133	97	88	135	82	92	98	44
Восполнение дефицита влаги в почве	115	80	118	15	—	79	26	137	71	32
Возможный суммарный сток	6	3	167	34	101	49	49	16	54	24
Лиственное насаждение (ЭП-1)										
Приход										
Осадки	194	171	418	146	189	263	157	245	223	100
Расход										
Испарение:										
с полога	8	4	2	2	25	31	6	25	13	6
подпологовое (весна, осень)	23	18	14	25	10	22	21	19	19	8
суммарное	31	22	16	27	35	53	27	44	32	14
Восполнение дефицита влаги в почве	43	75	41	7	—	46	—	101	40	18
Возможный суммарный сток	120	74	361	112	154	164	130	100	151	68
Смешанное насаждение (ЭП-2)										
Приход										
Осадки	194	171	418	146	189	263	157	245	223	100
Расход										
Испарение:										
с полога	12	33	79	14	47	69	37	41	42	19
подпологовое (весна, осень)	23	18	14	25	10	22	21	19	19	9
суммарное	35	51	93	39	57	91	58	60	61	28
Восполнение дефицита влаги в почве	106	62	77	14	—	37	—	117	52	23
Возможный суммарный сток	53	58	248	93	132	135	99	68	110	49

Таблица 6.8

Структура водного баланса открытого (поле) и лесных участков за холодный и переходные периоды года, % осадков
Истринский опорный пункт, среднее за 1967—1975 гг.

Элемент водного баланса	Поле	Лес		
		еловый	березовый	смешанный
Суммарное испарение	32	44	14	28
Увеличение запасов влаги в почвогрунтах	14	32	18	23
Возможный суммарный сток	54	24	68	49

Примечание. Среднее количество осадков за период наблюдений 1967—1975 гг. составило 223 мм.

поступило на 97 мм влаги больше, чем в еловом, и на 31 мм больше, чем в поле. Структура водного баланса для этих фитоценозов показана в табл. 6.8.

О. И. Крестовский с соавторами [72] при изучении водного баланса весеннего периода (апрель) определяли, кроме названных элементов, расход на транспирацию и восполнение дефицита влаги в древесине. Первый элемент в еловых и сосновых насаждениях определен равным 9 мм при нулевом значении в лиственных лесах. Восполнение дефицита влаги в древесине составило 5 мм в еловом лесу при 3 мм в лиственном.

По нашим измерениям (методом Л. И. Иванова), транспирация в еловом лесу весной имела примерно такие же значения (8—9 мм), как и приведенные Крестовским и др. Однако данные по транспирации нами не включались в расчеты, поскольку измерения проводились только в течение одного весеннего периода. Кроме того, в данном случае, как и в других, мы придерживались правила не принимать в расчет материалы, усиливающие положения, развиваемые автором, если эти материалы имеют недостаточную обоснованность.

6.3. Особенности влагооборота в теплый период года, их определение

Существенные коррективы в водный баланс фитоценозов вносит летний период года, но он, как правило, усиливает тенденции, определившиеся в холодный и переходные периоды.

Методика определения испарения в теплый период года была следующей. Для сухих лет, когда фильтрация влаги от выпадающих осадков за пределы корнеобитаемого слоя отсутствовала или была минимальной, транспирация древостоем и испарение с почвы определялись по изменению влагозапасов почв и путем учета

количества выпавших осадков и их расходования на задержание пологом. Такой анализ свидетельствует, что, как и в невегетационный период, наиболее интенсивно расходуют влагу еловые леса, наименее интенсивно — лиственные насаждения.

При влажной погоде к возможному стоку относилась та часть выпадающих осадков, которые в месячной сумме превышали дефицит влаги (ниже НВ) в почве (измеренный в конце предшествующего месяца) и значения испаряемости за данный (расчетный) месяц (см. п. 5.7). Оказалось, что при сохранении общей закономерности расходования летних осадков в основном на испарение [154, 159], в отдельные влажные годы, особенно в конце вегетационного сезона (иногда весной), складываются благоприятные условия для ухода влаги на инфильтрацию и формирование стока.

Так, в 1973 г., когда во второй половине лета (июль—сентябрь) выпало около 330 мм осадков при испаряемости около 170 мм, остаток влаги на сток под отдельными фитоценозами составил 196—214 мм.

Значительным он был и в 1971, и в 1974 гг. (табл. 6.9). Показательно, что вероятность таких явлений в весенне-летний период

Таблица 6.9

Возможный суммарный сток теплого периода года, полученный расчетным путем, для лиственного (1), елового (2) насаждений и поля (3), мм
Истринский опорный пункт

Год	Насаждение	V	VI	VII	VIII	IX	X	V-X	
1968	1	—	—	54	—	—	—	54	
	2	—	—	51	—	—	—	51	
1969	1	—	9	—	—	—	—	9	
	2	—	8	—	—	—	—	8	
1970	1	—	—	—	—	—	32	32	
	2	—	—	—	—	—	11	11	
	3	—	—	—	—	—	43	43	
1971	1	—	—	56	—	—	76	132	
	2	—	—	55	—	—	67	122	
	3	—	—	—	—	—	65	65	
1972	1	43	—	—	—	—	—	43	
	2	29	—	—	—	—	—	29	
1973	1	—	—	—	53	83	78	214	
	2	—	—	—	51	52	73	196	
	3	—	—	—	46	71	89	201	
1974	1	106	—	15	—	—	—	121	
	2	94	—	30	—	—	—	124	
	3	70	—	—	—	—	—	70	
1975				Стока нет					

Примечание. Среднее за май—октябрь 1968—1975: в лиственном лесу 75 мм, в еловом — 67 мм, в поле — 48 мм.

Таблица 6.10

Поверхностный дождевой сток на водосборах
Истринский опорный пункт, 1974 г.

Характеристика водосбора	Лесис- тость, %	Период прохождения паводка	Сумма осадков, мм	Суточ- ный макси- мум осадков, мм	Сток	
					мм	коэффи- циент стока
Полулесной Лесной	57	1/V—16/V	43,5	14,3	4,6	0,10
	90	8/V—16/V	31,2	12,5	2,9	0,09
	95	8/V—25/V	38,0	12,5	11,0	0,29
Полулесной Лесной	57	25/V—29/V	32,6	16,4	1,2	0,04
	90	25/V—29/V	30,2	16,4	1,2	0,04
	95	24/V—29/V	30,2	16,4	9,8	0,32
Полулесной Лесной	57	31/V—1/VI	12,2	10,8	0,25	0,02
	90	31/V—1/VI	10,4	9,2	0,35	0,03
	95	30/V—11/VI	12,4	9,2	3,5	0,28
	95	24/VI—26/VI	25,8	10,8	0,1	0,01
	95	2/VII—10/VII	40,6	20,2	1,09	0,02
Полевой	13	2/VII—4/VII	41,4	22,0	0,28	0,01
	13	30/XI—1/XII	18,6	15,5	0,29	0,02
Полулесной Лесной	57	30/XI—1/XII	17,7	5,8	0,30	0,02
	95	30/XI—7/XII	25,5	13,8	0,93	0,04

практически всегда больше на лесных, чем на открытых водосборах, что находится в соответствии с более поздними сроками схода снега в лесу и экономным расходом там влаги из почвы. По этой же причине в такие периоды дождевые паводки более часты на реках с лесными водосборами, чем с полевыми. Например, при четырех случаях дождевого поверхностного стока в мае—июне 1974 г. в лесу в поле он не был зарегистрирован ни разу (табл. 6.10). Такие же явления имели место и в другие годы. На них обращал внимание Субботин [159], проводивший исследования на Подмосковной воднобалансовой станции. В этом проявляется влагонакопительный эффект лесов в весенний период, обусловливаемый слабым подпологовым испарением. Сказывается также наличие в лесах очагов, характеризующихся исключительно положительными способностями к накоплению влаги вследствие сочетания защитной роли полога с исключением или уменьшением его испаряющей способности. К таким очагам относятся небольшие поляны, просеки, дороги и т. п. Они, на наш взгляд, и являются основными зонами формирования стока. В поле такие очаги отсутствуют.

Осенью возрастает вероятность образования дождевых паводков и в поле. Это также находится в соответствии с влагонакопительной способностью открытых пространств в этот период года (см. главу 7).

6.4. Особенности годового влагооборота в насаждениях различной структуры

6.4.1. Состав насаждений

В лесах наиболее существенно в годовом балансе различается испарение влаги, задерживаемой пологом леса (табл. 6.11). В лиственном насаждении в среднем за 8-летний период наблюдений годовой перехват осадков пологом леса составил 82 мм, а в еловом — 241 мм. Дополнительное поступление влаги под полог лиственного леса обеспечивало большее формирование стока (235 мм) по сравнению с еловым лесом (121 мм) несмотря

Таблица 6.11

Годовой баланс влаги в еловом (1), лиственном (2) насаждениях и в поле (3), мм Истринский опорный пункт

Элемент водного баланса	Насаждение	Гидрологические годы							Среднее	
		1967-68	1968-69	1969-70	1970-71	1971-72	1972-73	1973-74		1974-75
Приход										
Осадки	1—3	584	552	700	666	514	731	620	635	625
Осадки в сумме с использованной почвенной влагой	1	584	590	700	666	587	731	731	635	653
	2	616	552	700	666	581	731	682	635	645
	3	584	552	700	666	535	731	637	635	630
Расход										
Испарение:										
осадков с полога леса	1	234	233	246	267	169	304	249	228	241
	2	75	78	73	95	80	105	94	56	82
с почвы в сумме	1	258	346	173	224	284	129	309	353	260
с транспирацией суммарное	1	367	357	200	297	281	241	298	468	314
	2	492	579	419	491	453	433	558	581	501
	3	442	435	273	392	361	345	392	524	396
	3	521	463	262	498	379	291	454	537	425
Увеличение запасов почвенной влаги	1	35	0	103	19	0	53	0	38	31
	2	0	34	34	30	0	7	0	11	14
	3	8	8	55	26	0	62	0	48	26
Возможный суммарный сток:										
зимне-весенний	1	6	3	167	34	105	49	49	16	54
	2	120	74	361	112	177	164	169	100	160
	3	55	81	340	77	156	172	113	50	131
летне-осенний	1	51	8	11	122	29	196	124	0	67
	2	54	9	32	132	43	214	121	0	75
	3	0	0	43	65	0	206	70	0	48
годовой	1	57	11	178	156	134	245	173	16	121
	2	174	83	393	244	220	378	290	100	235
	3	55	81	383	142	156	378	183	50	179

на более значительный расход влаги на транспирацию и подпологовое испарение (328 мм в лиственном лесу, 297 мм — в еловом). Суммарное испарение в лиственном и еловом лесу составило соответственно 410 и 532 мм. Отметим, что за теплый период года возможное поступление влаги на сток определено равным 75 мм в лиственном насаждении, 67 мм в еловом и 48 мм на полевом водосборе (см. табл. 6.10).

Эти данные наглядно свидетельствуют, что если ограничиться изучением влагооборота только вегетационного периода, то закономерным будет получение выводов, которые не отражают действительной картины соотношений испарения и стока, свойственных отдельным фитоценозам.

Следует подчеркнуть, что приведенные выше значения водного баланса мы рассматриваем как типичные для объектов наших наблюдений, представленных насаждениями I класса бонитета полнотой около 0,8 в приспевающем (хвойный лес) либо среднем возрасте (лиственный и смешанный лес)¹. Однако их нельзя рассматривать как исключительные. Довольно высокое задержание осадков пологом хвойного леса (в среднем за год 39%) не является предельным. В литературе не единичны примеры, когда еловые насаждения перехватывали пологом до 45 и даже 50% осадков (см. табл. 3.7).

Если принять перехват осадков пологом елового леса даже минимальным и равным 25—27% (скорее, это относится к елово-лиственным лесам)¹, то поступление влаги под полог увеличится на 75—85 мм и возможный суммарный сток составит 200 мм в год. Это, однако, не изменяет основных закономерностей влагооборота, характерных для насаждений различного состава: суммарное испарение в лиственных лесах все равно останется меньшим, чем в хвойных, на 20—30 мм. Возможны и другие значения основных элементов влагооборота сравниваемых фитоценозов в зависимости от их типа, возраста, густоты, продуктивности. Но при этом сохраняются основные соотношения стока и испарения. Дело в том, что влага, сэкономленная зимой, практически во всех случаях не может быть компенсирована повышенным расходом фитocenozами летом. Во-первых, так происходит потому, что эта влага уходит за пределы данной экосистемы вследствие стока либо инфильтрации в глубинные горизонты. Во-вторых, даже если бы лиственные леса обладали способностью расходовать сэкономленную влагу путем повышенного испарения и транспирации летом, это оказалось бы невозможным вследствие ограниченности почвенных влагозапасов как единственного источника такой влаги. Фактически же мы не имеем при-

¹ В южной и средней таежной подзоне европейской части страны чистых ельников полнотой 0,8—0,9 очень мало, преобладают еловые леса состава 8Е1В10с полнотой 0,6—0,7 II—III классов бонитета. — *Прим. ред.*

меров, когда бы расходование влаги из почвы под лиственными лесами не только превышало, но даже сравнивалось с ее расходом в еловых насаждениях (осенний дефицит влаги в почве в первом случае, как правило, всегда меньше, чем во втором (см. табл. 5.20). Другими словами, во всех случаях $(E_{к_1} - E_{к_2}) > (E_{т,п_2} - E_{т,п_1})$, где $E_{к_1}$ и $E_{к_2}$ — годовое задержание осадков пологом лиственных и хвойных насаждений соответственно $E_{т,п_1}$ и $E_{т,п_2} >$ транспирация и подпологовое испарение в лиственном и хвойном насаждениях соответственно. Сложнее и не всегда однозначны соотношения влагооборота насаждений различного состава и открытых пространств. Они в существенной мере зависят от количества осадков и будут рассмотрены ниже.

Таким образом, нам представляется, что приведенные здесь данные по водному балансу насаждений различного состава и открытых пространств, не претендуя на отражение каких-либо средних значений для конкретного региона, в то же время отражают вполне определенные закономерности влагооборота, характерные для отдельных типов фитоценозов. Эти закономерности сохраняют свою значимость в широком диапазоне изменяющихся факторов, свойственных как самим фитоценозам, так и условиям их произрастания.

Основные соотношения элементов водного баланса, полученные на объектах исследований Истринского опорного пункта, нашли подтверждение в результатах исследований в Загорском лесхозе и Бузулукском бору.

В Загорском лесхозе наблюдения проводились в еловом, сосновом и березовом насаждениях 20-летнего возраста, а также в поле (пашня) и на вырубке. Характеристика объектов работ содержится в главе 2. По результатам наблюдений за 1978-79 г., максимальное суммарное испарение здесь имело место в сосновом насаждении (482 мм), в еловом оно составляло 467 мм, в березовом — 414 мм, на поле, занятом озимой пшеницей, — 419 мм, а на лесной вырубке 2-летней давности — 346 мм (табл. 6.12). Причины более значительного расходования влаги сосновым насаждением связаны с его исключительно интенсивным ростом в молодом возрасте (см. табл. 2.3) на плодородных суглинистых почвах, вышедших из-под сельскохозяйственного использования.

В Бузулукском бору сравнительные наблюдения проводились в средневозрастных 65-летних насаждениях (сосновые, березовые, сосново-березовые), созданных посадкой. Почвы песчаные с незначительной мощностью гумусового горизонта (см. п. 5.4). Грунтовые воды залегают на глубине 6—7 м. Насаждения произрастают в условиях хронического дефицита влаги в почве. Корневые системы древесных пород проникают на глубину 2—4 м, однако основная масса их сосредоточена в верхнем полуметровом слое. Методика определения и расчета отдельных элементов водного баланса рассмотрена в главе 2 и в работе [19].

Таблица 6.12

Годовой баланс влаги на полевом участке и в 20-летних насаждениях, мм
Загорский лесхоз, 1978-79 г.

Объект	Осадки (почвенная влага ¹)	Испарение с полога	Транспира- ция и испарение с почвы	Суммарное испарение	Инфильтра- ция и сток
Лес:					
березовый	599 (75)	109	305	414	185
сосновый	540 (16)	188	294	482	58
еловый	556 (32)	205	262	467	89
Поле	541 (17)	—	419	419	122
Вырубка	540 (16)	—	346	346	194

¹ В скобках израсходованные запасы почвенной влаги, накопленной в предше-
ствующем году.

Таблица 6.13

Баланс влаги в 65-летних насаждениях различного состава
Бузулукский бор, 1977—1979 гг.

Насаждение	Единица измере- ния	Сумма осадков	Расход осадков			
			испаре- ние с полога	транспира- ция и подпологи- вое испарение	пополнение запасов почвенной влаги	инфильт- рация и сток
Березовое	мм	582	95	298	13	176
	%	100	16	52	2	30
Сосново-березо- вое	мм	582	135	295	20	132
	%	100	23	51	3	23
Сосновое	мм	582	169	279	15	119
	%	100	29	48	3	20

Различия влагооборота отдельных насаждений здесь также обуславливались в основном задержанием осадков кронами (табл. 6.13). Оно равнялось 169 мм в сосновом, 135 мм в сосново-березовом и 95 мм в березовом насаждении. В условиях хронического дефицита влаги в почве различия подпологового испарения и транспирации не превышали 20 мм (в пользу березового насаждения). На формирование стока в лиственном насаждении поступало на 57 мм влаги больше, чем в сосновом, и на 44 мм больше, чем в сосново-березовом.

Здесь в условиях острого дефицита влаги и отсутствии факторов, ограничивающих мощность корнеобитаемой зоны (тип влагообеспеченности I), лесные насаждения расходуют на испарение, как правило, больше влаги, чем травянистая растительность. Так, средний годовой расход влаги из почвы под сосновым

Таблица 6.14

Превышение запасов почвенной влаги под целинно-степным травостоем по отношению к 30—50-летним насаждениям сосны, мм
Бузулукский бор, май—декабрь 1948—1969 гг.

Глубина, см	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0—50	—0,4	8,3	—0,2	0,3	4,3	5,7	5,4	7,8
50—100	—1,0	2,1	—2,5	0,7	—1,7	—9,6	6,7	4,5
100—150	—3,3	—0,2	—0,9	—1,7	1,4	2,9	2,9	5,2
150—200	3,5	2,1	3,6	7,6	5,3	6,8	8,2	18,4
200—250	1,1	5,2	21,5	12,9	6,7	9,2	12,2	11,4
250—300	—3,5	14,3	24,5	15,3	15,3	17,6	15,3	16,0
0—300	—3,6	31,8	46,0	35,1	31,3	32,6	50,6	63,3

лесом за 22-летний период наблюдений (табл. 6.14) был на 50—60 мм больше, чем под песчано-степным травостоем. Соответственно различается и мощность корнеобитаемой зоны: под травянистой растительностью — не более 1,5 м, а под лесом — до 4—4,5 м [19]. Подтвердилась закономерность более интенсивного иссушения верхних горизонтов почв под травянистой растительностью, специфичная для районов недостаточного увлажнения. Лиственные насаждения в подобных условиях также характеризуются более значительным испарением, чем травянистые сообщества, однако степень этих различий заметно уменьшается в основном благодаря экономии влаги листопадными лесами в холодный период.

Применительно к районам недостаточного увлажнения, где почвы характеризуются непромывным типом водного режима, возможно получить достаточно объективные данные о суммарном испарении при замыкании водного баланса теплым периодом года. В данном случае запасы влаги в почве, если они изучаются во всей зоне оборота атмосферных осадков (до «мертвого горизонта»), в интегральной форме отражают влагооборот не только теплого, но и холодного периода года. Такие условия имели место в исследованиях П. В. Отоцкого, Г. Н. Высоцкого, П. К. Фальковского и других ученых, работавших в районах недостаточного увлажнения. Однако сказанное не относится к песчаным почвам, поскольку они практически повсеместно характеризуются промывным типом водного режима. Здесь различия влагозапасов в почвах не полностью отражают различия суммарного испарения. Для приведенного выше случая такие различия по влагозапасам почв под сосной и степным травостоем составляют 50—60 мм, а различия суммарного испарения равны 70—80 мм.

Результаты наших наблюдений не согласуются полностью либо частично со многими литературными материалами по проблеме гидрологической роли лесов различного породного состава.

А. А. Молчанов по исследованиям в зоне смешанных лесов сформулировал вывод о том, что «...наибольшее количество влаги расходуют березовые насаждения, затем еловые и наименьшее — сосновые» [103, с. 315]. Им приводятся следующие значения суммарного испарения в названных насаждениях: березовые — 400 мм, еловые — 363 мм, сосновые — 342 мм. Позднее Молчанов на первое место по расходу влаги поставил еловые насаждения. В качестве обобщающего он сформулировал вывод о том, что «в еловых и березовых типах леса расходы влаги на суммарное испарение заметно выше, чем в сосновых» [104, с. 339]. В одном и том же (черничном) типе леса суммарное испарение елового насаждения составило 473 мм, березового — 455 мм и соснового — 428 мм. Сообщаются и другие значения испарения и стока, которые не всегда согласуются между собой. Некоторые причины таких различий будут рассмотрены в главе 7.

С. Ф. Федоров [176], обобщая результаты многолетних наблюдений на объектах ВФ ГГИ, пришел к выводу, что лиственные (береза, осина) и еловые леса испаряют практически одинаковое количество влаги. Разница находится в пределах $\pm 5\%$ (табл. 6.15). При этом в отдельные годы несколько больше испаряют лиственные насаждения, в другие — хвойные. В то же время сосновые леса стабильно на 8—11% испаряют меньше влаги, чем еловые. Называются следующие коэффициенты суммарного испарения отдельных насаждений: 1,0 для еловых лесов, 1,05 для лиственных и 0,90 для сосновых.

Однако анализ данных Федорова дает основание считать, что состав насаждений является далеко не единственным фактором различий стока. Сравнивались водосборы, достаточно неравноценные по площади — от 0,45 до 432 км². В каждом из водосборов произрастали различные по составу леса, а называемые Федоровым насаждения являлись лишь преобладающими. Подземная составляющая стока, как отмечает сам автор работы, определя-

Таблица 6.15

Испарение за теплый период (май—сентябрь) с водосборов при различном составе лесных насаждений, мм [176]

Новгородская область

Период, годы	Лог Таежный (еловое насаждение), $F = 45 \text{ га}$	р. Полометь (смешанное насаждение), $F = 432 \text{ км}^2$	р. Ситенка (сосновое насаждение), $F = 61 \text{ км}^2$
1952—1964	414	398	—
1959—1964	401	384	356

Примечание. F — площадь водосбора.

лась весьма приближенно — по изменению запасов грунтовых вод, залегающих в породах различного механического состава.

Имеются также попытки решения рассматриваемого вопроса по результатам обобщения разрозненных литературных данных, относящихся к отдельным насаждениям. А. П. Бочков [8] использовал подобный подход применительно к территории СССР, а также Западной Европы и Северной Америки. Пенман [123] в таком же плане рассматривал результаты наблюдений западно-европейских исследователей. Однако эти материалы не позволили сделать какие-либо определенные выводы относительно влияния отдельных насаждений на сток и испарение. Такой результат закономерен в силу большой изменчивости влагооборота фитоценозов в зависимости от метеорологических, почвенно-грунтовых и других факторов, т. е. от типов одновидовых и разновидовых древостоев и их возраста. Все это позволило В. В. Рахманову [139] заключить, что в настоящее время нельзя выделить какие-либо насаждения как наиболее эффективные в водоохранном отношении.

Причины такой неопределенности материалов относительно водного баланса в насаждениях различного состава достаточно ясны. В общем они сводятся к недоучету особенностей влагооборота, свойственных холодному и переходным периодам года, а также к тому, что в равнинных районах исследования на парных объектах, располагавшихся в методически сравнимых условиях, практически отсутствовали.

Публикации последних лет, содержащие результаты воднобалансовых исследований на парных объектах в горных районах, где лиственные породы представлены буком, а хвойные, кроме ели, и пихтой, надо полагать, отражают общие тенденции влагооборота, характерные для хвойных и лиственных лесов. Последние практически повсеместно расходуют меньше влаги на суммарное испарение.

Западногерманские исследователи [192, 193] изучали водный баланс елового (90 лет) и букового (120 лет) насаждений в Золлинге на высоте 500 м над уровнем моря. Сравнимые объекты располагались на расстоянии 400 м друг от друга. При одинаковом среднем годовом количестве осадков (1066 мм) в буковом насаждении на формирование стока поступило на 135 мм влаги больше, чем в еловом лесу (табл. 6.16). Экономия влаги в буковом лесу обуславливалась в основном меньшим испарением осадков, перехваченных пологом (100 мм). За счет испарения с поверхности почвы и транспирации экономия влаги в буковом насаждении составила только 35 мм. При этом исследователи отмечают, что различия в транспирации сравниваемых насаждений были несущественны.

Аналогичные исследования в Чехословакии выполнял Кантор [203] в еловом и буковом насаждениях 105-летнего возраста, про-

Таблица 6.16

Баланс влаги в еловом и буковом насаждениях
в условиях ФРГ за 1969—1972 гг. мм [193]

Насаждение	Осадки за год	Испарение			Суммарный сток
		осадков с полого леса	с почвы и транспирация осадков	суммарное	
Еловое	1066	302	316	618	448
Буковое	1066	202	281	483	583
Разница	0	100	35	135	-135

Таблица 6.17

Баланс влаги в еловом и буковом насаждениях в условиях Чехословакии
за период с ноября 1976 г. по октябрь 1979 г., мм [203]

Насаждение	Осадки за год	Испарение осадков с полого	Испарение с почвы	Транспирация древостоя	Суммарное испарение	Сток поверхностный и почвенный	Просачивание в грунтовые воды
Еловое	1174	203	86	200	489	29	656
Буковое	1174	73	82	179	334	33	807
Разница	0	130	4	21	155	-4	-151

израстающих на высоте 900 м над уровнем моря. Насаждения располагались на расстоянии нескольких десятков метров друг от друга. Эти материалы (табл. 6.17) также однозначно свидетельствуют об экономном расходовании влаги лиственными насаждениями по сравнению с хвойными и прежде всего за счет меньшего испарения влаги, задерживаемой пологом.

Имеются данные [198], что на питание грунтовых вод под еловыми лесами расходуется около 500 мм осадков, а под буково-дубовыми насаждениями — около 700 мм. Эти различия автор работы [198] связывает как с меньшим задержанием осадков, так и с экономным расходом влаги на транспирацию лиственными лесами. При транспирации хвойными (еловыми) насаждениями 260—350 мм в лиственных древостоях (буковых) она равнялась 250 мм.

На реальную возможность увеличения стока посредством замены темнохвойных лесов буковыми и сосновыми указывают болгарские исследователи [115]. Они пришли к выводу, что при годовой норме осадков 800—1000 мм лиственные (преимущественно буковые) леса обеспечивают больший (на 60—100 мм) сток, чем хвойные (в основном еловые) древостой.

Сообщается, что лиственные насаждения экономно расходуют влагу в сравнении не только с темнохвойными (ель, пихта) лесами, но и со светлохвойными фитоценозами (сосновыми). Так, в штате Мичиган (США) подземный сток под дубовым насаждением был на 66 мм больше, чем под насаждением из сосны банкса (*Pinus banksiana*) [226]. В Кауите (США) сток с водосбора, занятого 10-летним насаждением сосны веймутовой (*Pinus strobus*), оказался на 94 мм меньше, чем с водосбора, занятого лиственным насаждением [78].

На примере исследований, выполненных в штате Аризона (США), показано, что после рубки хвойных насаждений (дугласия, пихта, сосна желтая) суммарный сток заметно увеличился. В то же время на вырубке из-под лиственных пород изменений в стоке не наблюдалось [224]. Отмечается, [223], что быстрорастущие виды сосны (*Pinus radiata*) расходуют на испарение больше влаги даже по сравнению с эвкалиптами. В Австралии сток с водосбора, закультивированного сосной (возраст 34 года), равнялся 183 мм, в то время как с водосбора, занятого эвкалиптами такого же возраста, он составил 322 мм. Основную причину различий стока авторы связывают с большим задержанием осадков пологом хвойных насаждений.

Таким образом, материалы воднобалансовых исследований, полученные в сопоставимых условиях, практически однозначно свидетельствуют о положительной роли лиственных древесных пород в уменьшении испарения и увеличении стока. Как в горных, так и в равнинных районах существенных различий в соотношении отдельных элементов водного баланса насаждений названных групп не отмечается.

6.4.2. Возраст насаждений

А. А. Молчанов [104] пришел к выводу, что в зоне хвойно-широколиственных лесов при осадках 550 мм суммарное испарение в сосняках различного возраста меняется от 327 до 467 мм, а в еловых насаждениях — от 399 до 540 мм. Такие же примерно пределы изменения (от 352 до 500 мм) суммарного испарения отмечены Молчановым [106] для дубовых лесов Воронежской области. При этом максимум суммарного испарения приходится на 33—35 лет в сосновых и дубовых лесах и на 55—60 лет в еловых насаждениях. Четко выраженное уменьшение испарения, судя по приводимым данным, имеет место после 120—150-летнего возраста насаждений.

По данным В. Д. Зеликова [51], в Щелковском учебно-показательном лесхозе Московской области максимальный расход влаги в насаждениях ели наблюдался в 50—75-летнем возрасте. Отток влаги на питание грунтовых вод в этом возрасте составил 55—

60 мм. Под 18-летним насаждением поступление влаги на питание грунтовых вод равнялось 216 мм, а под 135-летним древостоем составило 135 мм. На лесной поляне грунтовое питание оценивалось равным 397,2 мм.

Чехословацкие исследователи [216] попытались смоделировать динамику суммарного испарения и других элементов водного баланса еловых и буковых насаждений во всем диапазоне их возрастов. Согласно их данным (табл. 6.18), максимальный расход влаги (750 мм) в еловых насаждениях приходится на 60-летний возраст, а в буковых — на 90-летний (730 мм). Амплитуда колебаний суммарного испарения в еловых насаждениях старше 20 лет составляет 460 мм, в буковых — 380 мм. При этом до 70-летнего возраста больше влаги расходуют хвойные насаждения, а в более позднем возрасте — буковые леса. В среднем же за период всего возрастного цикла от 10 до 150 лет расходование буковыми насаждениями на 41 мм превышает его значения, характерные для еловых насаждений. Эти расчеты произведены для районов со средним годовым количеством осадков 1000—1200 мм. В основу расчетов положены закономерности возрастной динамики испарения насаждений, заимствованные из работы [104].

Таким образом, согласно имеющимся данным, только за счет регулирования возрастной структуры насаждений можно получить прибавку стока до 140 мм в хвойных и 80—90 мм в лиственных лесах [104]. По В. Д. Зеликову [51], такая прибавка в еловых лесах достигает 250 мм, а по рассчитанным данным [216] она составляет 460—380 мм.

Однако результаты ряда других исследований не дают оснований для столь оптимистических выводов. По Кантору [203], в условиях Чехословакии (примерно тот же район, для которого выполнены приведенные выше расчеты) суммарное испарение оказалось более низким в буковом лесу. Здесь при 105-летнем возрасте насаждений оно равнялось 334 мм, что более чем в 2 раза меньше рассчитанного (см. табл. 6.18). В то же время в еловом насаждении такого же возраста оно оказалось близким к рассчитанному (489 мм).

Различия суммарного испарения основных насаждений 28- и 83-летнего возраста в условиях ГДР [213] составили 71 мм (табл. 6.19).

Нами проведены в Бузулукском бору наблюдения в 1, 5, 10, 18- и 55-летних насаждениях сосны с целью выявления возраста, за пределами которого потребности фитоценозов во влаге достигают значений, близких к предельным. Для этого использовались данные по режиму влажности почв, которые в условиях хронического дефицита влаги характеризовали ее расход в связи с освоением корнями почвенно-грунтовой толщи.

Как видно из рис. 6.1, в сосновых культурах первых лет жизни, где почва содержалась в состоянии пара, иссушение ограничива-

Таблица 6.18

Испарение в еловых и буковых насаждениях разного возраста в условиях Чехословакии при осадках 1000—1200 мм, % суммы осадков [216]

Вид испарения	Насаждение	Возраст, лет															Среднее
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	
Осадков, за- держанных по- логом леса	Еловое	5	11	18	28	33	35	33	28	25	22	20	19	18	17	16	22
	Буковое	1	3	6	8	14	18	21	22	23	23	22	19	16	14	13	15
Подпологовое	Еловое	11	6	5	4	3	2	2	2	3	4	5	6	7	8	8	5
	Буковое	25	20	15	11	8	5	4	3	2	2	3	4	6	8	11	8
Транспирация	Еловое	3	7	12	18	24	26	24	21	18	16	15	14	13	12	11	16
	Буковое	2	6	8	14	21	28	32	35	36	35	33	30	26	22	19	23
Суммарное:																	
%	Еловое	19	24	35	50	60	63	59	51	46	42	40	39	38	37	35	42
	Буковое	28	29	29	33	43	51	57	60	61	60	58	53	48	44	43	46
мм	Еловое	230	290	430	600	720	750	700	610	550	510	480	470	450	440	430	511
	Буковое	240	350	360	400	460	580	670	720	730	720	680	640	580	530	520	552

Таблица 6.19

Водный баланс сосновых насаждений в условиях ГДР за октябрь 1967 г. — сентябрь 1971 г., мм [213]

Возраст насаждений, лет	Осадки	Испарение с полога	Сток по стволам	Подпологовое испарение	Транспирация	Суммарное испарение	Инфильтрация в грунтовые воды
28	626	207	17	99	310	617	24
83	627	178	3	119	248	546	82

лось 150—170-сантиметровой глубиной; под 5-летними культурами расход влаги из почвы прослеживается до глубины 2,5—3 м; в сомкнувшихся 10-летних посадках иссушение достигло 3—4 м, а режим влажности приобрел типичные черты «лесного» типа и с повышением возраста мало изменялся. Эти наблюдения свидетельствуют, что освоение корнями даже глубоких почв заканчивается к 10—15-летнему возрасту, за пределами которого нет оснований ожидать существенных различий в расходовании влаги в зависимости от возраста насаждений.

В более северных районах в соответствии с меньшей интенсивностью роста насаждений формирование водного режима проис-

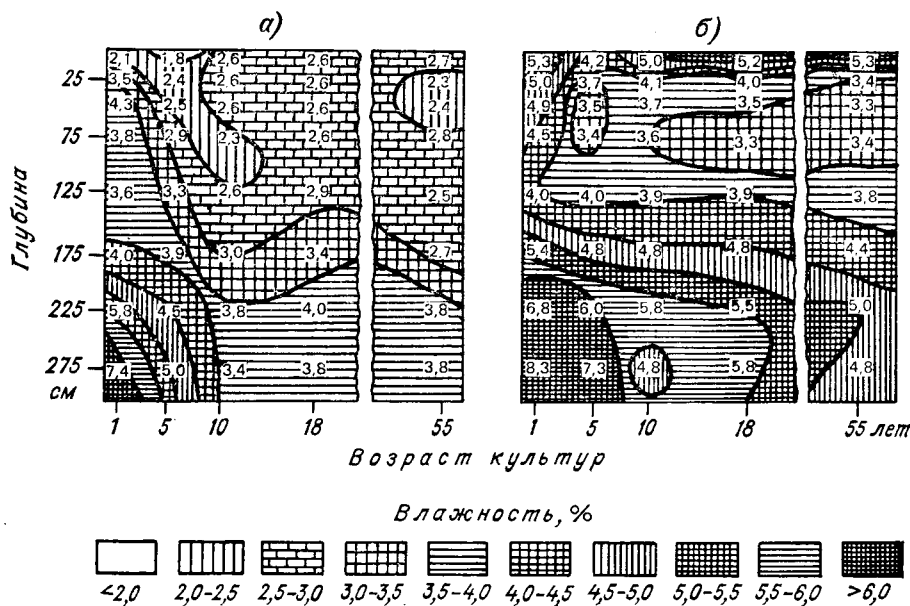


Рис. 6.1. Изменение влажности песчаных почв по мере увеличения возраста сосновых насаждений. Бузулукский бор.
а — по минимальным значениям влажности; б — по средним (май — сентябрь) значениям влажности.

ходит медленнее. Однако и здесь, судя по влажности почв и другим элементам влагооборота, динамичность его заметно снижается к 20—30-летнему возрасту.

Мы попытались рассчитать возрастную динамику влагооборота насаждений, основываясь на отмеченных выше закономерностях водного режима, применительно к объектам наблюдений в зоне смешанных лесов. В основу расчетов положен водный баланс 80—90-летнего елового и 50—60-летнего лиственного насаждений за 1968—1975 гг. (количество осадков 625 мм). Эти данные откорректированы значениями основных элементов влагооборота (задержание осадков кронами, подпологовое испарение, транспирация), свойственными другим возрастам. Сначала выявлено соотношение отдельных элементов влагооборота насаждений различного возраста, а затем рассчитаны абсолютные показатели влагооборота (табл. 6.20) при годовом среднем многолетнем количестве осадков 625 мм.

Осредняя эти значения влагооборота, мы приняли что за один возрастной цикл хвойного леса (в нашем случае 160 лет) сменяется два поколения лиственного леса (по 80 лет). При таком соотношении возрастов в среднем за период жизни хвойного леса суммарное испарение его на 102 мм больше, чем лиственного. В соответствии с этими расчетами в течение первых 10—15 лет жизни леса отдельные элементы влагооборота изменялись на 10—15 % в еловом насаждении и на 3—5 % в лиственном лесу. В течение всего остального возрастного периода такие изменения не выходили за пределы 5—7 % (см. табл. 6.20).

Несмотря на некоторую условность рассчитанные данные важны для понимания отдельных аспектов гидрологической роли хвойных и лиственных насаждений. Во-первых, они дают возможность оценивать гидрологическую роль насаждений во всем возрастном цикле, во-вторых, позволяють приводить к «единому знаменателю» результаты наблюдений, выполненных в насаждениях различного возраста.

Например, при сравнении лиственных насаждений 50-летнего возраста и хвойных 90-летнего возраста, что имело место в наших наблюдениях, различия их суммарного испарения составили 110 мм, а при приведении к одному и тому же 50-летнему возрасту такие различия стали равны 118 мм.

Незначительное колебание суммарного испарения (рис. 6.2), как и других элементов водного баланса, при возрастных изменениях имеет место в лиственных насаждениях. Здесь в пределах жизненного цикла максимальная амплитуда колебаний испарения составила 51 мм при 131 мм в хвойном лесу. Из этого следует, что возможности регулирования влагооборота в насаждениях посредством воздействия на их возрастную структуру в пределах водосборов также ограничены. Наиболее эффективны они будут на водосборах, занятых хвойными насаждениями.

Таблица 6.20

Рассчитанные значения испарения и стока в зависимости от породного состава и возраста насаждений
Условия Истринского опорного пункта

185

Элемент водного баланса	Насаждение	Возраст, лет																Среднее
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	
		$\frac{10}{10}$	$\frac{20}{20}$	$\frac{30}{30}$	$\frac{40}{40}$	$\frac{50}{50}$	$\frac{60}{60}$	$\frac{70}{70}$	$\frac{80}{80}$	$\frac{90}{10}$	$\frac{100}{20}$	$\frac{110}{30}$	$\frac{120}{40}$	$\frac{130}{50}$	$\frac{140}{60}$	$\frac{150}{70}$	$\frac{160}{80}$	
Испарение:		% осадков																
осадков с полога	Еловое	25	38	39	40	40	40	39	39	39	39	38	37	36	35	34	33	37
	Лиственное	10	13	13	13	13	13	12	12	10	13	13	13	13	13	12	12	12
транспирация и подпологовое	Еловое	36	39	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42	41	41	40	40	41
	Лиственное	45	49	50	50	50	49	49	48	45	49	50	50	50	49	49	48	49
суммарное	Еловое	61	77	80	82	82	82	81	81	81	81	80	79	77	76	74	73	78
	Лиственное	55	62	63	63	63	62	61	60	55	62	63	63	63	62	61	60	61
Суммарный сток	Еловое	39	23	20	18	18	18	19	19	19	19	20	21	23	24	26	27	22
	Лиственное	45	38	37	37	37	38	39	40	45	38	37	37	37	38	39	40	39
Испарение:		мм																
осадков с полога	Еловое	156	237	241	249	249	241	241	241	241	237	230	224	218	212	205	229	
	Лиственное	62	81	81	81	81	81	75	75	62	81	81	81	81	75	75	77	
транспирация и подпологовое	Еловое	225	244	256	263	263	263	263	263	263	263	263	256	256	250	250	256	
	Лиственное	281	306	313	313	313	306	306	300	281	306	313	313	313	306	300	306	
суммарное	Еловое	381	481	497	512	512	512	504	504	504	504	500	493	480	474	462	455	485
	Лиственное	343	387	394	394	394	387	381	375	343	387	394	394	394	387	381	375	383
Суммарный сток	Еловое	244	144	128	113	113	113	121	121	121	125	132	145	151	163	170	140	
	Лиственное	282	238	231	231	231	238	244	250	282	238	231	231	238	244	250	242	
Превышение суммарного стока в лиственном лесу		38	94	103	118	118	125	123	129	161	117	106	99	86	87	81	80	102

Примечание. В головке таблицы и в числителе дробей указан возраст хвойных насаждений, в знаменателе — лиственных. Среднее годовое количество осадков составляет 625 мм.

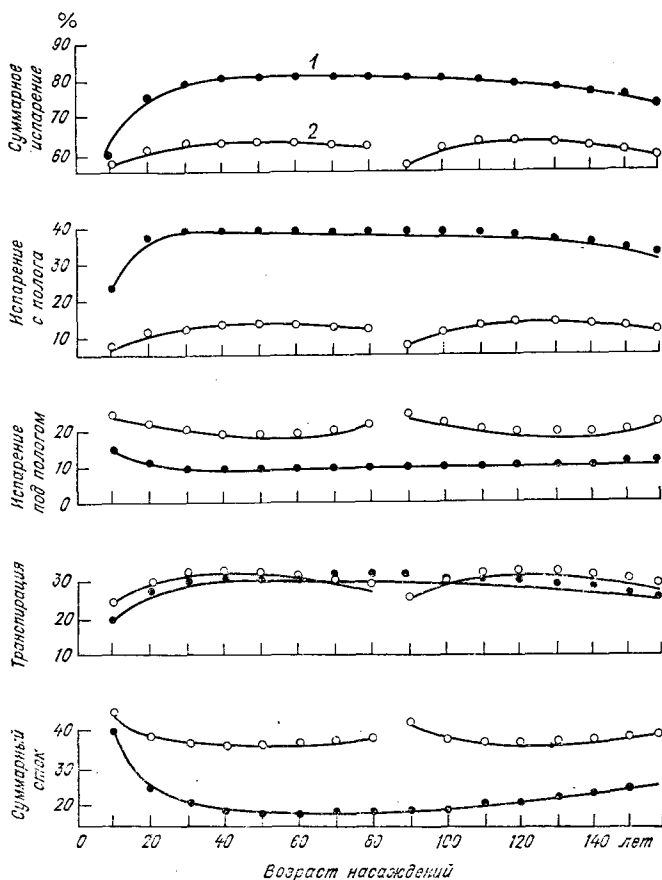


Рис. 6.2. Зависимость испарения и стока влаги от породного состава и возраста лесных насаждений, % количества осадков. Расчетные данные (модель) применительно к насаждениям I класса бонитета при полноте 0,8—0,9. Истринский опорный пункт.

Лес: 1 — еловый, 2 — лиственный.

Насаждения из лиственных пород начинают удовлетворительно выполнять гидрологические функции в более раннем возрасте, чем насаждения из хвойных пород. Интересны в этом отношении опыты ВФ ГГИ [176]. Здесь на двух стоковых площадках и одном элементарном водосборе были созданы сосново-еловые и березово-осиновые культуры 3—5-летними саженцами. Почвы супесчаные, вышедшие из-под сельскохозяйственного пользования. Оказалось, что под лиственными посадками уже на пятом году их жизни водно-физические свойства почв и объем поверхностного

стока имели значения, характерные для лесных площадей. Под хвойными посадками аналогичные явления стали наблюдаться только на десятом году жизни культур.

Различается влияние отдельных древесных пород на процессы влагооборота при возобновлении их на вырубках. В условиях Карпат на вырубках, зарастающих лиственными породами, уже на четвертый год после окончания лесосечных работ сток имел практически такие же значения, как и на лесном водосборе. При возобновлении хвойных пород гидрологические свойства почв восстанавливаются более медленно. Так, А. В. Побединский [127] отмечает, что при возобновлении вырубок хвойными породами для восстановления тех гидрологических свойств, которые были присущи произраставшим здесь насаждениям, требуется не менее 15—20 лет. Еще более длительны процессы восстановления гидрологических свойств лесных почв, которые претерпели воздействие механизмов, применяемых при лесозаготовках либо посадках леса. Исследования в Загорском лесхозе (Н. И. Данилов) показали, что в бороздах, остающихся после посадки культур, даже через 19 лет после их нарезки водопроницаемость почвы была наивысшей ниже, чем на вырубке такого же возраста, но возобновившейся древесными породами (береза, осина).

С возрастными особенностями влагооборота насаждений связано введение понятия «гидрологическая спелость лесов». Согласно Молчанову [104, 106], спелые и перестойные насаждения обладают хорошими водорегулирующими свойствами и вместе с тем расходуют мало влаги на испарение. Поэтому в лесах водоохранного значения целесообразно увеличивать возраст рубки, ограничивая его гидрологической спелостью леса. Последняя в свою очередь определяется тем возрастом, при котором резко увеличивается удельный расход воды на прирост древесины вследствие естественного распада насаждений.

Имеются фактические данные, свидетельствующие о том, что водно-физические свойства почв и другие факторы их гидрологической роли продолжают постепенно изменяться в благоприятном направлении на протяжении жизни насаждений. В частности, болгарские исследователи [134] на примере сосновых лесов показали, что в спелых насаждениях поверхностный сток уменьшается особенно существенно (табл. 6.21). По этой причине они предлагают рассматривать возраст в качестве критерия водоохранно-защитной (гидрологической) спелости.

Э. Н. Фалалиев и Н. П. Гордина [174] подобную спелость называют защитной. Для ее установления они предлагают учитывать запасы биомассы на единице площади. До тех пор, пока они близки к максимальным, насаждение нельзя считать спелым в защитном отношении. Этот вид спелости для сосновых лесов Сибири определен равным 190 годам при возрасте рубки по технической спелости 100—120 лет.

Таблица 6.21

Результаты опытов по искусственному дождеванию почв под пологом насаждений сосны различного возраста [134]

Возраст насаждений, лет	Задержание влаги подстилкой, мм	Склоновый сток		Инфильтрация, мм
		коэффициент стока	мм	
Открытый участок	2,2	0,772	46,3	11,5
13	0,2	0,427	25,6	34,2
26	2,1	0,423	25,4	32,5
46	2,3	0,369	22,1	35,6
68	1,3	0,215	12,9	45,8
94	4,6	0,106	6,4	49,0
113	6,9	0,090	5,4	47,7
124	6,6	0,077	4,6	48,8

Примечание. Интенсивность дождевания 1 мм/мин, продолжительность 1 ч.

Нам представляется, что критерии гидрологической (защитной) спелости леса недостаточно обоснованы. Некоторые преимущества перестойных лесов по водорегулирующей роли, как и по уменьшению расходов влаги на испарение, вряд ли соизмеримы с потерями других средообразующих и сырьевых функций.

6.4.3. Густота насаждений

При оценке густоты насаждений как фактора водного режима следует иметь в виду специфику ее влияния на различные элементы влагооборота (рис. 6.3). Имеется близкая к прямо пропорциональной зависимость между испарением задерживаемых пологом осадков и сомкнутостью крон. В то же время рост подпологового испарения идет медленнее, чем степень изреживания полога. Это связано с тем, что полог в определенных границах сомкнутости способен довольно полно выполнять защитные функции и сохранять лесную среду. В результате метеорологические факторы и их суммарное выражение — испаряемость — изменяются неадекватно уменьшению густоты насаждения (табл. 6.22). Более чувствительна к изреживанию полога освещенность, в тесной зависимости от которой находится степень разрастания напочвенного покрова. Последний же в свою очередь способен заметно увеличить потери влаги на испарение.

Изреживание полога сопровождается уменьшением расходов влаги на транспирацию. Однако и этот элемент баланса не всегда снижается адекватно уменьшению густоты. При недостатке влаги уменьшение транспирационной массы (листьев) в какой-то мере компенсируется повышением интенсивности транспирации вслед-

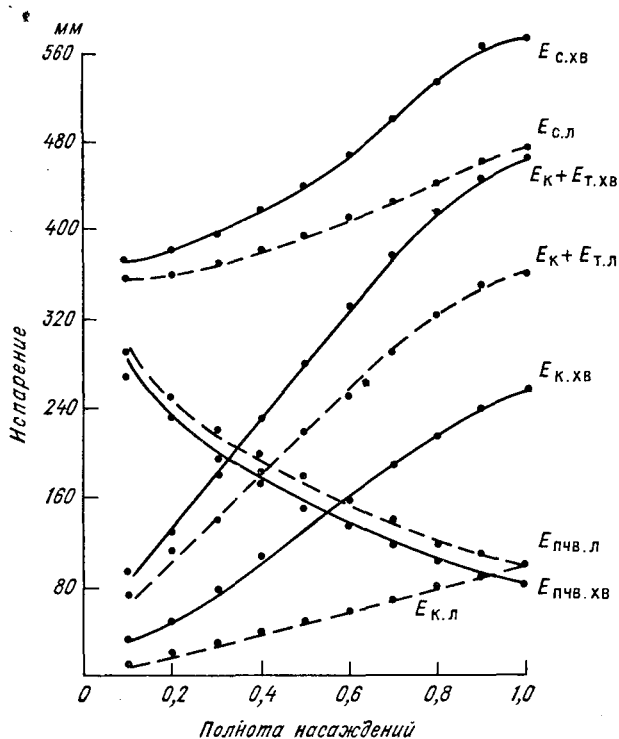


Рис. 6.3. Зависимость испарения в хвойном (ель) и лиственном (береза, осина) насаждениях от их полноты. Расчеты выполнены применительно к средневозрастным насаждениям I класса бонитета. Истринский опорный пункт. Eс.хв, Eс.л — суммарное испарение соответственно в хвойном и лиственном насаждениях; Eк — испарение задержанной кронами влаги; Et — транспирация; Eпчв — испарение с почвы и напочвенного покрова.

Таблица 6.22

Метеорологические факторы, испаряемость и масса травяного покрова под пологом хвойно-лиственных насаждений различной густоты Истринский опорный пункт, июнь 1968 г.

Сомкнутость крон в насаждениях, %	Температура воздуха, °С	Влажность воздуха		Освещенность, % освещенности на открытом месте	Суммарная радиация, % радиации на открытом месте	Испаряемость, % испаряемости на открытом месте	Масса травяного покрова, т/га (абсолютно сухое вещество)
		относительная, %	абсолютная, гПа				
0 (луг)	25,6	48	11,9	100	100	100	—
90	23,7	59	12,8	4	5	31	0,9
60	24,9	52	12,5	8	10	42	1,0
40	25,1	52	12,4	15	30	48	6,4

ствие улучшения влагообеспеченности оставшихся деревьев. Кроме того, постепенно возрастает активность ассимиляционного аппарата из-за дополнительного доступа света и увеличения глубины полога. Следует также иметь в виду, что реакция на изреживание насаждений зависит от богатства почв, светолюбивости древесных пород и других факторов.

При сходной густоте наиболее существенная экономия влаги возможна в первый период после изреживания насаждений, когда фитоценоз еще не перестроился в соответствии с изменившимися условиями. При выращивании изначально редких насаждений их суммарное испарение может существенно не отличаться от испарения в сомкнутых насаждениях, так как экономия влаги, обуславливаемая редким стоянием деревьев, компенсируется за счет глубины полога и транспирации напочвенного покрова.

Обычно при определении целесообразной в гидрологическом отношении густоты исходят из задач уменьшения испарения и сохранения насаждения как саморегулирующейся и устойчивой системы. Предельной в этом отношении обычно признается полнота 0,5—0,6 [154, 189]. Для светолюбивых пород рекомендуют более высокую полноту. Имеются данные, что для сосновых лесов, произрастающих в горных районах, наиболее благоприятна полнота 0,8 [221]. Отмечается, что при такой полноте почвы характеризуются максимальной фильтрационной способностью; при более высокой сомкнутости крон инфильтрация уменьшается вследствие накопления в почве грубого гумуса, а при более низкой также уменьшается в результате ослабления влияния фитоценозов.

Специфичны особенности испарения твердых осадков в изреженных насаждениях. Поскольку изреженный полог, как отмечалось выше, сохраняет способность трансформировать факторы, обуславливающие испарение, результат его сказывается на твердых осадках, в основном через дополнительное их поступление под полог. Н. А. Луганский и Г. П. Макаренко [86] отмечают, что при изреживании сосновых молодняков даже до полноты 0,3 в них наблюдается прогрессивное увеличение снеготаяния и в то же время существенно не изменяется интенсивность снеготаяния.

Значения суммарного испарения в насаждениях различной густоты приводит Молчанов [103, 105]. По его данным, при снижении полноты средневозрастных сосновых насаждений с 0,9 до 0,5 (Московская область) суммарное испарение уменьшилось с 381 до 365 мм. При изреживании сомкнутого 13-летнего дубового древостоя (Воронежская область) до полноты 0,8 испарение уменьшилось на 74 мм (с 416 до 342 мм). Дальнейшее уменьшение густоты привело к некоторому увеличению испарения, хотя оно и оставалось меньшим, чем в контрольном древостое, и составило 358 мм при полноте 0,7 и 392 мм при полноте 0,5. Такие же примерно результаты получены в 45—48-летних дубовых насаждениях. При уменьшении их полноты с 1,0 до 0,5 суммарное

испарение снизилось на 70 мм (с 581 до 511 мм). При этом испарение с крон сократилось на 47 мм, транспирация — на 42 мм, а подпологовое испарение возросло на 19 мм.

Интересные данные по водному балансу дубовых насаждений различной густоты получены лабораторией лесной гидрологии Украинского научно-исследовательского института лесоводства и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого. Они обобщены в работе П. П. Ананьева [4]. Эти исследования проведены в 85—95-летнем дубово-ясеневом насаждении (Харьковская область), произрастающем на темно-серых лесных почвах в условиях непромывного типа водного режима при глубине грунтовых вод 20—30 м.

В течение 12 лет проводились непрерывные наблюдения за всеми основными элементами водного баланса в насаждениях, пройденных рубками различных видов: постепенной, с равномерной выборкой 25 и 33 % запасов стволовой массы, группово-выборочной, с частичной вырубкой древостоя площадками «котловинами» диаметром 25—50 м; сплошнолесосечной, с полным удалением древостоя на делянке размером 200×250 м. Контролем служило нетронутое рубками насаждение. Показано, что при всех видах рубок возрастает доступ осадков в почву при одновременном увеличении расхода влаги на испарение с поверхности почвы и транспирацию травяного покрова.

В целом за 12 лет наблюдений каждое из насаждений сохраняло способность расходовать на суммарное испарение всю влагу выпадающих осадков. Сток практически отсутствовал, сохранялся непромывной тип водного режима почв (табл. 6.23). Положительный результат рубок в этих условиях ограничивался в основном улучшением влагообеспеченности древостоя, поскольку существенно увеличился расход влаги в расчете на одно дерево.

Эти данные свидетельствуют, что в районах недостаточного увлажнения, где осадки замыкаются биологическим звеном круговорота, практически безрезультатны попытки воздействовать на сток посредством регулирования структуры насаждений (породный состав, густота, продуктивность), поскольку растения способны расходовать все запасы высвобождающейся влаги. Только на низковлагодоемких (песчаные либо щебенистые) почвах практически постоянно имеются условия для исключения некоторого количества влаги из биологического звена влагооборота и поступления ее на питание грунтовых вод и последующий сток.

В условиях Бузулукского бора, где количество осадков примерно на 100 мм меньше (450—470 мм), а метеорологические условия существенно жестче, чем в Харьковской области, под основными насаждениями ежегодно формируется грунтовый сток. Средний объем его равен 85 мм с колебаниями по годам от 63 до 106 мм [19]. На тяжелых почвах сток формируется на склонах при сильном промерзании почв, ограниченной мощности корнеобитаемой зоны и в других условиях, при которых возможен уход

Таблица 6.23

Баланс влаги в дубово-ясеневом насаждении, изреженном различными видами рубок [3]
Чугуево-Бабчанский лесхоз, Харьковская область

Опыт	Сроки наблюдений по отношению ко времени проведения опыта	Элементы влагооборота, мм				
		задержанные осадков кронами	испарение с поверхности почвы и травяного покрова	транспирация	суммарное испарение	
Контроль	Начало (1967 г.)	67	102	340	509	
	Середина (1973 г.)	98	121	324	543	
	Конец (1978 г.)	115	106	331	552	
	Среднее (1967—1978 гг.)	92	130	293	514	
Рубка:	постепенная	Начало	53	123	343	519
	(изреживание 2 раза 15 и 18 %)	Середина	86	152	295	533
		Конец	111	113	414	638
	группово-выборочная (на котловине)	Среднее	82	156	308	546
		Начало	8	187	64	259
	сплошнолесосечная	Середина	44	115	135	294
		Конец	89	98	287	474
		Среднее	43	148	146	337
		Начало	15	212	144	371
		Середина	64	130	241	435
		Конец	98	101	355	554
		Среднее	53	168	217	438

влаги за пределы биологического звена круговорота. Под лесом в описанных выше опытах П. П. Ананьева такие явления наблюдались лишь в котловинах группово-выборочной рубки, где часть влаги просачивалась ниже корнеобитаемой зоны. На формирование стока здесь расходовалось в среднем 82 мм влаги.

Положительная гидрологическая роль неравномерной сомкнутости кроен нередко используется в практических рекомендациях по увеличению стока.

По сообщению Лалла [78], кулисные рубки шириной в две высоты древостоя на западе США аккумулировали дополнительно от 178 до 305 мм влаги в снежном покрове. В то же время при рубках широкими лесосеками накопление влаги составляло только 218 мм. Рекомендуемая ширина вырубок в хвойных лесах — от 0,5 высоты древостоя на южных склонах до 4-кратной высоты на северных склонах. Полагается, что за счет целенаправленных лесохозяйственных мероприятий (расчет проведен для шести регионов) без заметного снижения продуктивности насаждений можно дополнительно получить около 11 км³ воды в год. Следует, однако, иметь в виду, что эти расчеты сделаны применительно к условиям, когда в год выпадает до 2540 мм осадков.

Положительно оценивается роль коридоров и другими исследователями [83, 200].

В. Н. Данилик [43] считает, что целесообразно создавать насаждения, в которых чередуются полосы хвойных и лиственных пород. В этом случае кулисы лиственных пород служат очагами накопления снега, а хвойные кулисы замедляют процесс его таяния.

Важное значение имеет интенсивность восстановления среды, нарушаемой при изреживании насаждений. В приведенных выше опытах Молчанова [105] в молодом насаждении, изреженном до полноты 0,5, суммарное испарение через 7 лет достигло значений, характерных для контрольного насаждения. Согласно Ананьеву [4], при 20—30 %-ном изреживании средневозрастных дубовых насаждений постепенными рубками (Харьковская область) подобный результат регистрируется уже на 3-м году опыта. Даже после сплошной рубки дубового насаждения испарение на лесосеке, возобновляющейся лиственными породами, достигло значений, характерных для контрольного насаждения, на 12—13-м году опыта (см. табл. 6.23). Несколько медленнее восстанавливается лесная среда (и испарение) в хвойных насаждениях.

Изменение влагооборота насаждений под влиянием их изреживания изучалось нами в Загорском лесхозе. Исследования проводились в 20-летних культурах ели и сосны с первоначальной густотой 10 тыс. шт./га и в березняке такого же возраста, но имеющем естественное происхождение. Рубки выполнены в 1977 г. Интенсивность изреживания (по запасу) — 50 % в хвойных насаждениях и 25 % в лиственном. В культурах изреживание проводилось вырубкой каждого второго ряда, в березняке — равномерно по площади.

Из данных табл. 6.24 видно, что под влиянием изреживания влагооборот насаждений существенно изменился только в хвойных насаждениях. Суммарное испарение в культурах сосны уменьшилось на 45 мм, в еловом насаждении — на 74 мм, а в березовом лесу — только на 30 мм. В этих условиях (с учетом изменения почвенных влагозапасов) инфильтрация влаги в глубинные горизонты почв в березняке осталась практически без изменений, в ельнике увеличилась на 97 мм, в сосновом лесу — на 114 мм.

Незначительное изменение влагооборота в березовом насаждении связано с тем, что поступление осадков под его полог практически не изменилось, а уменьшение транспирации компенсировалось возрастанием подпологового испарения вследствие увеличения массы травяного покрова. В целом при изменении густоты суммарное испарение в лиственных насаждениях, как и отдельные его составляющие, изменяется в значительно меньших пределах, чем в хвойных лесах.

Используя имеющиеся сведения по влагообороту в хвойных и лиственных насаждениях, мы попытались смоделировать дина-

Таблица 6.24

Изменения в водном балансе 20-летних насаждений на 2-й год после изреживания рубками ухода, мм
Загорский лесхоз

Насаждение	Приход			Расход			
	сумма осадков	использование запасов почвенной влаги	всего	испарение с полога	транспирация и подпоговое испарение	суммарное испарение	инфильтрация и сток
Березовое:							
контроль	524	83	607	97	315	412	195
опыт	524	48	572	97	285	382	190
Еловое:							
контроль	524	22	546	214	263	477	69
опыт	524	45	569	119	284	403	166
Сосновое:							
контроль	524	4	528	176	295	471	57
опыт	524	73	597	127	299	426	171

Таблица 6.25

Рассчитанные значения испарения и стока в еловых и лиственных насаждениях в зависимости от степени сомкнутости крон, мм
Условия Истринского опорного пункта

Элемент водного баланса	Сомкнутость крон									
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Еловое насаждение										
Испарение:										
с полога (задержание осадков)	260	260	250	220	180	140	100	90	80	70
подпоговое в сумме с транспирацией	270	270	260	260	250	260	270	290	310	330
суммарное	530	530	510	480	430	400	370	380	390	400
Возможный суммарный сток	95	95	115	145	195	225	255	245	235	225
Лиственное насаждение										
Испарение:										
с полога (задержание осадков)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
подпоговое в сумме с транспирацией	300	310	310	310	310	320	340	360	380	400
суммарное	400	400	390	380	370	370	380	390	400	410
Возможный суммарный сток	225	225	235	245	255	255	245	235	225	215

Примечание. Расчеты выполнены применительно к средневозрастным насаждениям при средних годовых осадках 625 мм.

мику их водного баланса в пределах полноты 1,0—0,1. Использовалась та же методика, которая применялась при моделировании влагооборота, обусловливаемого возрастным фактором (см. п. 6.4.2). В качестве исходных приняты средние за 8 лет значения баланса елового и лиственного насаждений в районе Истринского опорного пункта.

Данные табл. 6.25 показывают, что экономия влаги, обусловливаемая уменьшением перехвата осадков кронами и снижением транспирации в изреженных насаждениях, превалирует над возрастающим подпологовым испарением. Наиболее «чувствительно» испарение реагирует на изменение полноты в интервале ее значений от 0,4 до 0,8. В этих пределах целесообразно ее регулирование для целей воздействия на влагооборот фитоценозов.

При прочих равных условиях возможности регулирования суммарного испарения путем воздействия на густоту в еловом насаждении примерно в 3—4 раза больше (160 мм), чем в лиственном древостое (40 мм). По мере снижения густоты наряду с уменьшением абсолютных значений испарения уменьшается и амплитуда их различий между хвойными и лиственными насаждениями. В сомкнутых насаждениях различия задержания осадков кронами еловых и лиственных насаждений достигают 170 мм, а в изреженных эти различия уменьшаются до 60—70 мм. Суммарное испарение при сомкнутом пологе в еловом насаждении больше, чем в лиственном, на 100—130 мм, а при полноте 0,3—0,5 — только на 10—30 мм.

Таким образом, основным фактором экономии расходования влаги лиственными насаждениями является меньшее задержание осадков кронами. Более значительное расходование влаги на транспирацию и подпологовое испарение в лиственных насаждениях в какой-то мере сглаживает эти различия, но они все же остаются существенными и характеризуют в конечном счете различия в суммарном испарении и стоке в лиственных и еловых древостоях.

Кроме регулирования испарения, путем изменения густоты насаждений решаются и другие задачи гидрологического плана. В районах с хорошо выраженными конденсационными явлениями увеличению стока способствуют максимально густые хвойные насаждения. Эти вопросы обстоятельно рассмотрены чехословацкими исследователями на примере горных лесов [216].

Оригинальные выводы получены в Чехословакии при оценке пойменных насаждений как фактора паводочного стока. Исследования в пойме р. Дуная и модельные опыты показали, что густые насаждения способствуют торможению паводочной волны и тем самым увеличивают вероятность наводнений. В этой связи рекомендуется выращивать в поймах только сильно разреженные насаждения без кустарников. Разработана технология таких работ [195].

Эти, как и другие материалы, свидетельствуют, что при обосновании оптимальной в гидрологическом отношении густоты насаждений необходимо руководствоваться конкретными задачами.

6.4.4. Продуктивность фитоценозов

Имеющиеся в литературе сведения о взаимозависимости между суммарным испарением и продуктивностью фитоценозов неоднозначны, противоречивы, а в ряде случаев и взаимоисключающие. Одни исследователи считают, что повышение продуктивности неизбежно сопровождается практически адекватным ростом расходования влаги [6, 9, 13, 90, 104, 105, 108, 147]. Другие соглашаясь с этими представлениями, придерживаются мнения, что эта зависимость не является прямо пропорциональной [11, 15, 48, 185]. Третьи приходят к выводу, что рост продуктивности фитоценозов практически не сказывается на испарении и стоке [3, 8, 138].

Большинство опубликованных материалов, характеризующих соотношение продуктивности и расходования влаги, относится к сельскохозяйственным культурам, но основные положения их могут быть распространены и на лесные сообщества. Вместе с тем надо иметь в виду, что в лесных фитоценозах повышение продуктивности возможно, по-видимому, при заметно большем дефиците влаги в почве, чем это характерно для травянистых и тем более однолетних фитоценозов. Это связано с более глубоким укоренением древесных пород, а также с приуроченностью времени их максимального роста к первой половине вегетационного периода, когда недостаток влаги не бывает еще острым и продолжительным.

Согласно М. И. Львовичу [90], уменьшение стока с сельскохозяйственных полей под влиянием комплекса агролесомелиоративных мероприятий, направленных на повышение продуктивности фитоценозов, существенно различается в зональном плане: оно тем значительнее, чем засушливее условия. На период 1950—1980 гг. прогнозировалось следующее уменьшение суммарного (речного) стока: в сухих степях на 30—40 %, в лесостепи на 10—20 % и в южных районах лесной зоны на 5—10 %. Поверхностный сток при этом должен был уменьшиться в 4—5 раз в южных районах в 1,5—2 раза в лесной зоне. В лесах Львович [89] прогнозировал заметное увеличение стока, поскольку под влиянием рубок происходит некоторое снижение продуктивности насаждений.

По подсчетам Н. И. Коронкевича [69], к началу 80-х годов весенний склоновый (поверхностный плюс почвенный) сток уменьшался на 10—20 % на дерновых и дерново-подзолистых почвах, на 20—40 % на серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах и более чем на 60 % — на темно-каштановых почвах. В результате этого суммарный речной сток на территории

СССР уменьшился в среднем на 15 км³, в том числе сток р. Волги на 4—5 км³.

И. А. Шикломанов [185] отмечает, что произведенные ГГИ расчеты не подтверждают высказываний и выводов тех ученых, которые считают, что повышение урожайности, а также агролесомелиоративные мероприятия могут обусловить сильное снижение стока. По его мнению, повышение урожайности полей даже в несколько раз не повлечет за собой существенного увеличения суммарного испарения.

Согласно А. Г. Булавко [11], при повышении урожайности сельскохозяйственных культур в условиях Белоруссии в 2 раза расход влаги возрастает только на 20 %. Еще более оптимистичны выводы В. Е. Водогрецкого [15], согласно которым при полной распашке водосборов в лесной зоне агролесомелиоративные мероприятия не оказывают никакого влияния на сток, в лесостепной зоне они ведут к относительно небольшому (на 0—15 %) уменьшению стока, а в степной зоне к существенному (на 8—30 %) уменьшению стока. Однако потери влаги в степной и лесостепной зонах могут быть в значительной мере компенсированы посредством создания лесных насаждений и лесных полос, под влиянием которых сток увеличивается на 10—15 %.

Практически все исследователи положительно оценивают влияние на сток полезащитных полос. Полагается, что под их воздействием возможна некоторая компенсация потерь влаги, обусловливаемая улучшением агротехники и повышением продуктивности сельскохозяйственных угодий.

Что касается взаимозависимостей продуктивности и испарения в лесных насаждениях, то эти материалы не менее разнообразны, чем те, которые относятся к сельскохозяйственным угодиям. Оригинальна точка зрения В. И. Рутковского [148]. Он считает, что несмотря на увеличение испарения в насаждениях высокой продуктивности они же способствуют и увеличению стока. Это вытекает из представлений автора о том, что положительная роль высокопродуктивных лесов в отношении увеличения атмосферных осадков перекрывает обусловливаемый ими повышенный расход влаги на испарение.

Существенное увеличение транспирации в лесах под влиянием повышения их продуктивности отмечается в работах Б. Д. Жилкина и А. А. Молчанова. Б. Д. Жилкин [48] приводит таблицу, из которой следует, что между продуктивностью насаждений и их транспирацией существует зависимость, близкая и прямо пропорциональной. Такой же точки зрения придерживается Молчанов [104, 105, 108], хотя конкретных данных, подтверждающих подобную взаимозависимость, он не приводит. Анализ материалов, которыми располагали исследователи, дает основание полагать, что оба автора сравнивали насаждения, которые различались не только продуктивностью, но и увлажнением и плодородием почв (отно-

сились к разным типам леса). При таком подходе сравнение в ряде случаев теряет смысл.

Наиболее убедительные данные по зависимости между испарением и продуктивностью фитоценозов могут быть получены в условиях контролируемого увлажнения при изменении условий минерального питания растений. Так, по данным работы [227], при внесении азотных удобрений урожай сена на лугу возрос с 71,7 до 162,3 ц/га, а расход воды на суммарное испарение остался практически без изменений (471,6 и 465,8 мм). В этой связи транспирационный коэффициент органической массы уменьшился с 630 до 290 единиц. Аналогичная зависимость получена для угодий под полевыми культурами — при внесении удобрений урожай возрос в 2,2 раза, а расходование воды — только на 4,4 %.

Исходя из закономерностей влагооборота, свойственных экосистемам, нам представляется целесообразным рассматривать взаимосвязи, существующие между продуктивностью и расходом влаги фитоценозами, совместно с условиями влагообеспеченности и в соответствии с факторами, которые обуславливают повышение продуктивности. Важно различать, происходит ли повышение продуктивности на фоне неограниченного увлажнения или в условиях дефицита влаги, изменяются ли параллельно с повышением продуктивности условия либо факторы, обуславливающие поглощение влаги из почвы. Рассмотрим некоторые из названных вариантов:

1) повышение продуктивности происходит на фоне неограниченного увлажнения, например при доступных корням грунтовых водах в условиях полива либо при благоприятном увлажнении атмосферными осадками (тип 2а). В этих случаях имеются предпосылки только к увеличению основных составляющих суммарного испарения. Увеличивается расходование выпадающих осадков на смачивание надземных частей растений пропорционально возрастанию поверхности смачивания. Трудно предположить, что транспирация останется неизменной, так как это потребовало бы резкого снижения ее интенсивности на единицу органического вещества. В крайнем случае этот элемент можно принять одинаковым в сравниваемых фитоценозах. Практически не изменяется или крайне несущественно уменьшается испарение с почвы. Этот вариант можно представить так:

$$E_1 = f(E_{к_1}, E_{п_1}, E_{т_1}); \quad E_2 = f(E_{к_2}, E_{п_2}, E_{т_2}),$$

$$\text{но } E_{к_1} < E_{к_2}, E_{п_1} \geq E_{п_2}, E_{т_1} \leq E_{т_2} \text{ и}$$

$$(E_{к_2} + E_{т_2}) - (E_{к_1} + E_{т_1}) > (E_{п_2} - E_{п_1}),$$

$$\text{тогда } E_1 < E_2,$$

где E_1 и E_2 — суммарное испарение соответственно до и после повышения продуктивности фитоценозов; $E_{к_1}$ и $E_{к_2}$ — то же для испарения влаги, задержанной пологом (кронами); $E_{п_1}$ и $E_{п_2}$ — то

же для подпологового испарения; E_{T_1} и E_{T_2} — то же для транспирации.

В целом надо полагать, что степень увеличения испарения неадекватна повышению продуктивности. Еще более возрастает испарение при повышении продуктивности за счет дополнительного увлажнения (поливов). В данном случае бесспорно увеличение всех элементов испарения. В сумме оно может увеличиваться 1,5—2 раза. Все зависит от начальных условий влагообеспеченности и степени повышения продуктивности.

В качестве модельных условий можно рассматривать материалы об испарении с сосновых лесов в районах недостаточного увлажнения. В зависимости от глубины залегания грунтовых вод средние месячные значения интенсивности транспирации на Среднем Дону различались в 2,5—3 раза (от 40 до 140 мг/ч на 1 г сырой хвои), а транспирация в 1,5—2 раза (от 120 до 350 мм за вегетационный период). В таких же примерно пределах различалось и суммарное испарение в Бузулукском бору в засушливые и влажные годы — от 315 до 640 мм за сезон [19];

2) повышение продуктивности происходит в условиях увлажнения атмосферными осадками на фоне более или менее значительного дефицита влаги в почве (типы 1, 2б влагообеспеченности). Здесь целесообразно различать два подварианта:

а) возможности потребления влаги с ростом продуктивности фитоценозов не изменяются (тип 2б). Возможна различная степень приращения испарения на фоне повышения продуктивности: от значительной при небольшом дефиците влаги до нулевой при хроническом недостатке влаги. Этот подвариант можно представить как

$$E_{K_1} < E_{K_2}; E_{P_1} \geq E_{P_2}; E_{T_1} \geq \text{или} < E_{T_2};$$

$E_{T_1} > E_{T_2}$ — возможно в крайне сухие годы, когда любой фитоценоз иссушает почву до предельных значений, но в низкопродуктивном насаждении больше влаги достигает почвы и включается в транспирацию; $E_{T_1} < E_{T_2}$ — неизбежно во влажные годы, когда потребление влаги приближается к потенциально возможному значению, но во всех случаях $(E_{K_2} + E_{T_2}) - (E_{K_1} + E_{T_1}) \geq E_{P_2} - E_{P_1}$ и $E_1 \geq E_2$.

Именно такие условия характерны для лесных сообществ, лесной зоны, где мощность корнеобитаемой зоны постоянная, а повышение продуктивности достигается чаще всего за счет лесоводственных уходов за насаждениями, либо внесением удобрений.

В качестве модели такого подварианта можно рассматривать влагооборот в еловом и лиственном лесу (см. п. 6.4.1). При сходной мощности корнеобитаемой зоны в обоих насаждениях еловое, имея большую органическую массу, действует как более продуктивный фитоценоз. Перехватывая больше осадков пологом, еловый лес увеличивает дефицит влаги в почве. Это в свою очередь ведет к меньшему расходованию влаги на транспирацию при

существенно большем суммарном испарении во влажные годы и сближении его значений в засушливые периоды;

б) возможности потребления влаги с ростом продуктивности улучшаются (тип I). Такие условия наиболее типичны для сельскохозяйственных угодий, где повышение продуктивности часто связано с воздействием на физические свойства почв, в том числе путем доуглубления пахотного горизонта либо повышения его влагоемкости. Подобный эффект достигается на почвах с неограниченной мощностью корнеобитаемой зоны, где повышение продуктивности сопровождается более интенсивным ростом корней.

Этот подвариант можно представить так:

$$E_{K_1} < E_{K_2}; E_{P_1} \geq E_{P_2}; E_{T_1} < E_{T_2};$$
$$(E_{K_2} + E_{T_2}) - (E_{K_1} + E_{T_1}) > (E_{P_1} - E_{P_2});$$
$$E_1 < E_2.$$

Дополнительное влагопотребление за счет вновь осваиваемой почвенной толщи выступает практически как единственный фактор повышенного суммарного испарения в сухие годы. В годы или периоды с повышенным увлажнением эти различия, как и в предыдущем подварианте, могут увеличиваться вплоть до предельных, равных испаряемости. Исходя из таких закономерностей влагооборота, наиболее значительно увеличение испарения в результате повышения продуктивности фитоценозов будет возрастать в меридиональном направлении — от сухостепной зоны к лесостепной и южной части лесной, вновь несколько уменьшаясь в северных районах (таежная зона). Меньшее приращение в южных районах лимитируется недостатком влаги, а в северных — дефицитом тепла на фоне незначительных изменений влагообеспеченности.

Особого внимания заслуживает концепция В. В. Рахманова [138], согласно которой повышение урожайности в основных хлебо-сеющих районах нашей страны не будет сопровождаться увеличением испарения и уменьшением стока, поскольку «...осуществление агролесомелиораций должно создать условия не только для накопления влаги в почве, но и для экономного и рационального ее использования сельскохозяйственными растениями» [138, с. 126]. Автор, однако, не приводит аргументов, которые хотя бы в какой-то степени раскрывали тот «механизм», благодаря которому в условиях острого дефицита влаги растения «отказываются» от использования тех ее дополнительных запасов накоплению которых способствуют агротехнические мероприятия. Здесь мы встречаемся с характерным примером того, как частному явлению или случаю придается значение всеобщности. Конечно, повышение

продуктивности (в определенных границах) возможно и без увеличения испарения, но это не значит, что оно не будет увеличиваться, если для этого появятся соответствующие условия. В качестве таких условий в практике земледелия выступает увеличение мощности корнеобитаемой зоны, влагозадержание, повышение влагоемкости субстрата при более полном освоении почвы корнями. Более того, в районах недостаточного увлажнения улучшение влагообеспеченности является непременным условием любых агротехнических приемов. Они в первую очередь на это и направлены. Влага здесь выступает как фактор-минимум, не сняв который, нельзя рассчитывать на решение задачи повышения продуктивности.

Нельзя согласиться с положением Рахманова о том, что влага, аккумулируемая в почве в результате агротехнических мероприятий, в дальнейшем идет на фильтрацию в грунтовые воды очагами через импермацидный («мертвый») горизонт. Такой очаговый (потускулярный) тип фильтрации возможен только при наличии свободной гравитационной влаги, концентрирующейся в отрицательных формах микрорельефа. Повышение агротехники такие условия сводит до минимума. В частности, опыты Ю. Н. Никольского, на которые опирается Рахманов, подтверждают именно очаговый тип фильтрации, притом в условиях избыточного увлажнения, обусловливаемого затоплением поверхности почвы орошением при подаче до 680—1000 мм воды.

Своеобразна точка зрения А. М. Алпатьева [3] на соотношение продуктивности и испарения. Он считает, что основным фактором различий испарения фитоценозами является свойственная им продолжительность вегетационного периода. Этим, в частности, он объясняет различия в испарении лесными и травянистыми фитоценозами. Продуктивность фитоценозов по Алпатьеву, практически не сказывается на испарении.

Признавая важность продолжительности вегетационного периода, все же нельзя согласиться, что этот фактор является определяющим для испарения и стока. В подтверждение достаточно сослаться на превышение испарения в хвойных лесах по сравнению с лиственными при сходной продолжительности вегетационного периода и на меньшее испарение в лиственных лесах по сравнению с открытыми пространствами при обратном соотношении продолжительности вегетационных периодов.

В качестве итогового можно сформулировать следующий вывод: повышение продуктивности фитоценозов практически во всех случаях сопровождается увеличением суммарного испарения и снижением стока. При оценке либо прогнозе значений испарения необходимо исходить из представлений об изменении потребностей фитоценозов во влаге и о реальных возможностях удовлетворения этих потребностей. Минимальны различия испарения при хроническом дефиците влаги и ограниченной мощности корнеобитаемой

зоны. Они возрастают по мере улучшения влагообеспеченности. В качестве минимума повышения испарения можно принять увеличение перехвата осадков надземными частями растений.

6.5. Гидрологические последствия лесоосушительных мелиораций

Лесоосушительные мелиорации заслуживают особой оценки, поскольку при их осуществлении сочетается действие ряда факторов, влияющих на испарение и сток: повышения продуктивности растений, изменения мощности корнеобитаемой зоны и смены видового состава фитоценозов. При этом растения из условий неограниченного, чаще избыточного увлажнения (тип 2а) переходят в условия оптимального либо периодически недостаточного увлажнения (тип 2б). С этих позиций, по нашему мнению, и целесообразно оценивать гидрологические последствия лесоосушительных мелиораций.

Не останавливаясь на весьма обширной и не менее противоречивой литературе по данному вопросу (см., например, обобщающие работы [10, 101, 184]), рассмотрим некоторые особенности структуры водного баланса, характерные для заболоченных площадей, и их изменение под влиянием осушения и повышения продуктивности фитоценозов.

Естественная растительность болот обычно характеризуется малой продуктивностью. Древостои на неосушенных площадях чаще всего представлены низкостелыми сосняками и ельниками с примесью березы, испарение с полога и транспирация которых невелика, а микроклиматическая роль значительна. Они, как и изреженные насаждения, сохраняют способность снижать подпологовое испарение.

Снижение подпологового испарения обуславливается также самим напочвенным покровом. Широко представленные здесь мхи, особенно сфагновые, способны запасать влагу и в то же время экономно ее расходовать на испарение. Согласно Федорову [176], под пологом елового леса испарение за теплый период с покрова злаков и осок равнялось 185 мм, с зарослей папоротника — 182 мм, а со сфагнума (несмотря на более благоприятные условия увлажнения) — только 117 мм. Цветковые растения болот также характеризуются экономным расходованием влаги вследствие ксероморфности структуры (плотные кутикулярные покровы, мелкие или свернутые листья, восковой налет, одревеснение и т. п.). В этой связи сам процесс заболачивания следует рассматривать как результат действия двух факторов: отсутствия условий для стока влаги и изолирующей роли самих фитоценозов.

Все это ведет к существенным отклонениям фактического испарения от потенциально возможного. По данным В. В. Романова [146], испарение с верховых болот составляет 51—63 % испарения

с озер. В ряде случаев оно ниже испарения с суходолов: в Прибалтике 89—107%, в Белоруссии 87—105%.

Замедленное испарение с болот Романов [146] связывает с недостатком влаги, который рассматривается и в качестве причины ксероморфности болотных растений. Нам представляется такой механизм маловероятным и даже невозможным. Здесь более обоснованно можно говорить о хроническом избыточном увлажнении. Есть основание рассматривать слабое испарение с мхов как приспособительную реакцию к сохранению избыточного увлажнения, поскольку оно является неременным условием их существования. На это направлено и запасание воды в органах растений, и низкая капиллярность образуемого ими субстрата, о чем свидетельствует довольно интенсивное подсыхание поверхности покрова при сохранении под ним высокой влагонасыщенности. Ксероморфность строения многих цветковых растений можно рассматривать как приспособление к снижению обмена веществ в условиях крайней бедности субстрата минеральными веществами и кислородом.

При осушении сложившаяся система разрушается, факторы и процессы испарения резко изменяются. Происходит не только повышение продуктивности фитоценозов, но и интенсивная их перестройка. Коренные сообщества, биологические свойства и потребности которых способствовали поддержанию избыточного увлажнения, сменяются сообществами, жизнедеятельность которых направлена на исключение избыточного увлажнения. Это позволяет рассматривать сбрасывание воды лишь как фактор, который дает начало тем процессам, которые выполняют в дальнейшей функции биологической мелиорации и поддерживают систему в состоянии динамической устойчивости.

Соответственно комплексу факторов и условий можно выделить несколько вариантов соотношения продуктивности фитоценозов и испарения с них при осуществлении осушительно-мелиоративных мероприятий.

После осушения потенциальные условия для испарения практически везде улучшаются, но реализация их зависит от соотношения степени сброса влаги и продуктивности фитоценозов. Так, при создании условий увлажнения, близких к оптимальным (например, при двойном регулировании), несомненно увеличение суммарного испарения, поскольку возрастают все его составляющие с повышением продуктивности фитоценозов и сменой растительного покрова:

$$\begin{aligned} E_{K_1} < E_{K_2}; E_{П_1} \geq E_{П_2}; E_{T_1} < E_{T_2}; \\ (E_{K_2} + E_{T_2}) - (E_{K_1} + E_{T_1}) > E_{П_1} - E_{П_2} \\ \text{и } E_1 < E_2. \end{aligned}$$

Но при одностороннем интенсивном сбросе влаги летом возможен ее дефицит в почве, что в сочетании с незначительной мощ-

ностью корнеобитаемой зоны может ограничивать транспирацию. В зависимости от степени и продолжительности дефицита влаги суммарное испарение в отдельные годы и периоды может быть не только большим, но и меньшим, чем на неосушенных площадях:

$$E_{к_1} < E_{к_2}; E_{п_1} > E_{п_2}; E_{т_1} > E_{т_2};$$

$$(E_{п_1} + E_{т_1}) - (E_{п_2} + E_{т_2}) > (E_{к_2} - E_{к_1})$$

и $E_1 > E_2$.

При осушении более богатых болот (низинные, переходные) структура водного баланса будет изменяться по описанным выше схемам, но различия в испарении фитоценозов, как и их продуктивности, будут, по-видимому, менее значительными. Здесь не будет столь заметных изменений в структуре сообществ, поскольку в любом случае они представлены сходными экологическими формами.

Оценивая с позиций структуры водного баланса современные способы осушения, основанные на одностороннем регулировании, следует присоединиться к мнению тех ученых, которые считают, что подобные мероприятия обуславливают некоторое увеличение стока при весьма неблагоприятном его режиме, связанном с интенсивным сбросом воды в весенний период.



Анализ основных закономерностей влагооборота в лесах и на открытых пространствах

Имеющиеся в настоящее время концепции по данной проблеме можно объединить в следующие группы:

1) леса практически повсеместно испаряют больше влаги, чем нелесные угодья, и поэтому уменьшают объем суммарного стока. Эта точка зрения довольно широко распространена в отечественной литературе [3, 34, 36, 37, 89, 136, 145, 159, 161, 186] и является преобладающей среди зарубежных исследователей [83, 178, 197, 198, 200, 210];

2) леса экономно расходуют влагу на испарение и поэтому увеличивают объем суммарного стока. Эта точка зрения активно защищается многими отечественными исследователями однозначно [8, 45, 117, 126, 137, 140, 141] либо с некоторыми оговорками [131, 154, 158]. Широкое распространение она получила в популярных изданиях, газетных публикациях;

3) леса могут как увеличивать, так и уменьшать объем суммарного стока. Одни сторонники этой концепции связывают такое неоднозначное влияние лесов с различиями их структуры [103—105], другие — прежде всего с географическими или почвенно-грунтовыми факторами [15, 55, 147]. Механизм процессов обычно не вскрывается;

4) леса практически повсеместно (исключение представляют, как правило, низкопродуктивные сообщества и сосновые леса на песках) расходуют на испарение больше влаги, чем нелесные угодья. Однако вследствие присущей лесам способности вызывать дополнительное выпадение атмосферных осадков они в конечном счете обуславливают увеличение суммарного стока. При этом одни исследователи считают, что сток закономерно возрастает по мере увеличения лесистости [80, 119, 120, 176], другие приходят к выводу, что это возрастание стока имеет место только до определенных значений лесистости и не повсеместно. Например, в степных и лесостепных районах эта закономерность как правило, не соблюдается [100—102].

Прежде чем перейти к анализу названных концепций, остановимся на наиболее общих положениях, определяющих гидрологическую роль различных типов растительного покрова.

7.1. Особенности внутригодовой структуры влагооборота в лесах и на открытых пространствах

Внутригодовое испарение применительно к лесному и полевому водосборам впервые рассмотрел С. Ф. Федоров [176]. В основу его исследований положены многолетние наблюдения (1955—1973 гг.) за всеми основными элементами водного баланса на объектах Валдайского филиала ГГИ (лесной водосбор — лог Таежный, полевой — лог Усадьевский). Применительно к указанным водосборам Федоров пришел к выводу, что «сумма испарения с леса в мае, как правило, несколько меньше, чем с поля; в среднем эта разница составляет 10 %, а в августе — сентябре имеет место обратное соотношение и испарение с леса на 14 % больше, чем с поля» [176, с. 177]. Однако в качестве обобщающего делается вывод, что «в среднем за многолетний период (1955—1973 гг.) общий характер годового хода испарения с леса и поля почти одинаков» [176, с. 178].

Попытаемся рассмотреть в обобщенном виде схему внутригодового испарения не только применительно к типам растительности (лесная, полевая), но и к породному составу лесов (хвойные, лиственные), количеству атмосферных осадков и условиям их потребления растениями. Отметим в связи с этим некоторые принципиально важные закономерности испарения по сезонам года.

Весной, как отмечалось выше, практически все леса, в том числе и густые темнохвойные, экономно расходуют влагу. По результатам 8-летних наблюдений на Истринском опорном пункте (табл. 7.1), весеннее испарение в поле в среднем равнялось 51 мм при колебании по годам от 27 до 76 мм, в еловом насаждении — соответственно 39 и 14—54 мм, в смешанном лесу — 27 и 14—45 мм и в лиственном лесу только 20 и 12—29 мм.

Несколько иные соотношения испарения для периода 1951—1977 гг. применительно к условиям Кировской области получил О. И. Крестовский и др. [72]. По их данным, весной (апрель) максимальное испарение имело место в еловом лесу (33 мм), далее следует поле (30 мм), смешанный (27 мм) и лиственный (18 мм) лес.

Осенью закономерности испарения во многом противоположны весенним: потери влаги минимальны в поле (5 мм), несколько значительнее в лиственных лесах (8 мм) и максимальны в хвойных лесах (26 мм). Однако в целом испарение осенью невелико и практически все фитоценозы характеризуются влагонакопительным эффектом.

Зимой испарение максимально в еловых лесах и минимально в насаждениях из лиственных пород. Испарение в поле в среднем близко к испарению в смешанных насаждениях. Вместе с тем

Таблица 7.1

Изменение испарения по сезонам года в лесных насаждениях и в поле, мм
Истринский опорный пункт

Сезон	Элемент	Гидрологические годы							Среднее	
		1967-68	1968-69	1969-70	1970-71	1971-72	1972-73	1973-74		1974-75
Осень	Осадки	2	12	114	2	63	81	—	151	53
	Испарение:									
	поле	10	1	4	—	4	6	—	18	5
	лиственный лес	—	1	3	2	21	14	—	23	8
	смешанный лес	1	9	12	2	24	38	—	33	15
Зима	Осадки	1	13	33	17	36	48	—	61	26
	Испарение:									
	поле	146	101	166	82	62	96	125	94	109
	лиственный лес	19	15	18	24	7	16	25	4	16
	смешанный ле, еловый лес	8	2	—	—	2	10	1	7	4
Весна	Осадки	11	24	36	6	16	23	25	13	19
	Испарение:									
	поле	37	37	46	30	22	37	41	17	33
	лиственный лес	46	58	138	62	64	86	32	—	61
	смешанный лес	70	42	32	76	27	51	63	42	51
Всего (осень, зима, весна)	Осадки	23	19	13	25	12	29	26	14	20
	Испарение:									
	поле	23	18	45	31	17	30	33	14	27
	лиственный лес	35	38	54	50	30	50	41	14	39
	смешанный лес	194	171	418	146	189	263	157	245	223
Лето	Осадки	99	58	54	100	38	73	88	64	72
	Испарение:									
	поле	31	22	16	27	35	53	27	44	32
	лиственный лес	35	51	93	39	57	91	58	60	61
	смешанный лес	73	88	133	97	88	135	82	92	98
Год	Осадки	390	381	282	520	323	468	463	390	402
	Испарение:									
	поле	422	405	208	398	341	218	366	473	353
	лиственный лес	411	413	257	365	326	292	365	480	364
	смешанный лес	419	491	286	394	365	298	476	489	403
Год	Осадки	584	552	700	666	514	731	620	635	625
	Испарение:									
	поле	521	463	262	498	379	291	454	537	425
	лиственный лес	442	435	273	392	361	345	392	524	396
	смешанный лес	492	579	419	491	453	463	558	581	501

в отдельные годы испарение по сезонам существенно отклонялось от приведенных выше средних значений. Например, при максимальном за холодный и переходные периоды испарении в еловом лесу в 1967-68, 1970-71, 1973-74 гг. оно было больше на полевом участке. В отдельные годы существенно уменьшались или увеличивались различия, свойственные отдельным объектам. Основным фактором этих различий являются условия увлажнения (количество осадков). Анализ влагооборота в зависимости от данного

фактора позволяет выявить весьма существенные закономерности, важные для понимания и оценки гидрологической роли лесов различной структуры и открытых пространств (рис. 7.1).

Первая закономерность свидетельствует, что в лесных насаждениях испарение возрастает пропорционально увеличению количества осадков (лишь в крайне влажные и прохладные годы или периоды в качестве лимитирующего фактора выступает недостаток тепла), а на открытых пространствах отмечается противоположная направленность процесса — испарение возрастает в сухие периоды. Параллельно наблюдается и вторая, хотя и несколько менее выраженная, закономерность — с увеличением количества осадков возрастают различия суммарного испарения в хвойных и лиственных насаждениях. Третья закономерность вытекает из первой и второй и заключается в том, что в сухие годы практически все насаждения (в том числе и хвойные) расходуют на испарение влаги меньше, чем полевые угодья. В то же время во влажные годы только лиственные насаждения сохраняют способность расходовать меньше влаги, чем полевые угодья. Четвертая закономерность состоит в том, что возрастание испарения в лесах с увеличением количества осадков не является прямо пропорциональным: оно наиболее значительно при переходе от минимума осадков к средним их значениям (в нашем случае при 150—250 мм за холодный период, см. рис. 7.1). Далее эта зависимость становится менее заметной, а при большом количестве осадков — даже обратной.

Отмеченные закономерности наиболее четко выражены в холодный и переходные периоды года, что логично и легко объяснить структурой испарения. В лесах, где влага, поступающая на смачивание полога, является основным элементом испарения, оно, естественно, находится в прямой зависимости от количества осадков, однако лишь до тех пор, пока ограничивающим фактором не станут ресурсы тепла при крайне влажной погоде. В то же время в сухие периоды полог леса проявляет в основном защитные функции, сводя в невегетационный период испарение в основном к незначительному подпологовому.

Совсем другие факторы определяют испарение на открытых пространствах. Здесь, как отмечалось выше (см. п. 6.2), на протяжении всего холодного и переходных периодов года фитоценоз «не работает» как система. В этой связи основная деятельная поверхность представлена почвой, испарение с которой происходит при нелимитируемом увлажнении и находится в прямой зависимости от ресурсов тепла и других метеорологических факторов. Иными словами, здесь постоянно реализуются потенциальные возможности испарения и значения его близки к испаряемости.

Летний период, как видно из рис. 7.1, не характеризуется столь четкими закономерностями изменения испарения, поскольку последнее периодически ограничивается недостатком влаги в почве

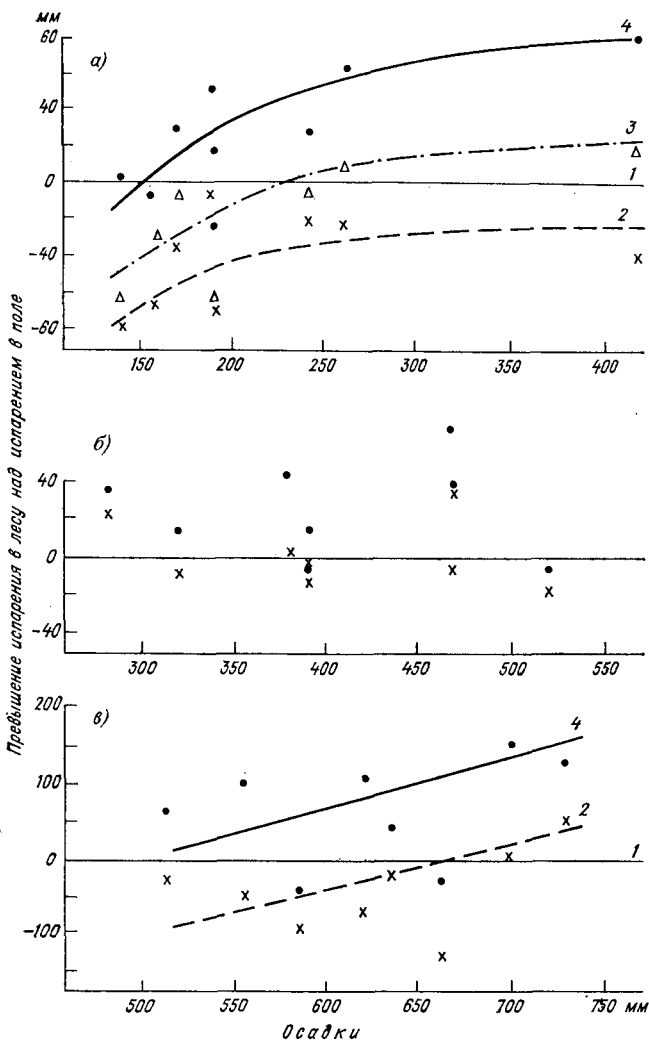


Рис. 7.1. Отклонения суммарного испарения в лесных насаждениях от его значений в поле в различные по увлажненности годы. Истринский опорный пункт, 1967—1975 гг. Насаждения средневозрастные, I класс бонитета, полнота 0,8—0,9.

а — осень, зима, весна, б — лето, в — год; 1 — поле, 2 — лиственный лес, 3 — смешанный лес, 4 — еловый лес.

и связанной с ней транспирацией. Поэтому в целом за год закономерности испарения близки к тем, которые характерны для холодного периода года. Надо отметить, что при влажной прохладной

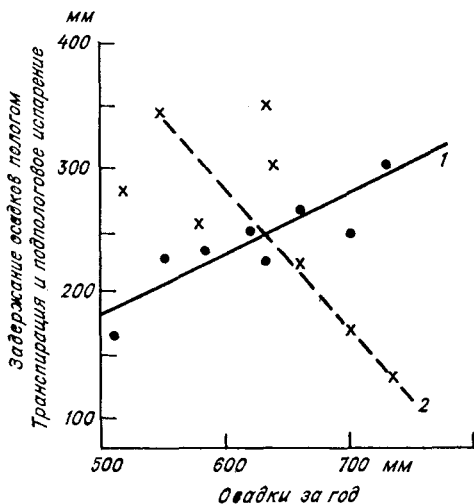


Рис. 7.2. Зависимости задержания осадков пологом елового леса (1) и транспирации в сумме с подпологовым испарением (2) от количества осадков. Истринский опорный пункт.

погоде летом уменьшение испарения может быть даже более значительным, чем в невегетационные периоды. Это связано с подавлением транспирации и подпологового испарения.

В этой связи существенный интерес представляет анализ соотношений транспирации и перехвата осадков кронами применительно к количеству выпадающих осадков. Обычно считается, что в среднем за год первый элемент всегда превалирует над вторым. Такое положение, по-видимому, бесспорно применительно к листовым и смешанным насаждениям. В еловых лесах во влажные годы задержание может преобладать над транспирацией (и существенно), поскольку увеличение осадков не только ведет к увеличению их перехвата, но и одновременно обуславливает снижение транспирации и подпологового испарения. Применительно к нашим данным эта закономерность представлена рис. 7.2. Вместе с тем в аридных районах, где дефицит влаги является хроническим, а ресурсы тепла велики, снижение транспирации и суммарного испарения во влажные годы обычно не имеет места [19].

Поскольку изучение всех элементов влагооборота, как и факторов, их обуславливающих, сопряжено с большими, а для целей оценки гидрологической роли фитоценозов и неоправданными, трудностями, встает задача поиска наиболее общих сравнительных критериев влагооборота по сезонам года. В надземной сфере в качестве таких критериев выступает структура фитоценозов и прежде всего состояние полога в невегетационный период (листопадные, вечнозеленые древесные, полностью отмирающие травянистые), в почвенном звене — характер увлажнения (неограниченное, недостаточное, периодически недостаточное) и мощность корнеобитаемой зоны, с которой в свою очередь связана возможность ухода влаги за пределы биологического звена влагооборота.

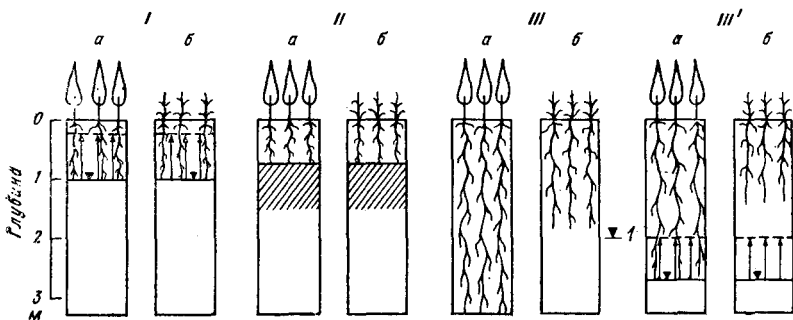


Рис. 7.3. Условия (типы) увлажнения почвогрунтов в зависимости от глубины проникновения корневых систем растений и залегания уровней грунтовых вод.

Растительность: а — древесная, б — травянистая.

I — увлажнение, нелимитируемое и сходное для всех фитоценозов при высокостоящих грунтовых водах; *II* — лимитируемое и сходное для всех фитоценозов вследствие ограниченной мощности корнеобитаемой зоны и глубокого залегания грунтовых вод; *III* — лимитируемое и различное для древесных и травянистых фитоценозов вследствие неограниченной (различной для отдельных сообществ) мощности корнеобитаемой зоны при глубоком залегании грунтовых вод; *III'* — то же, но при частично доступных (только для древесных растений) грунтовых водах; 1 — уровень грунтовых вод.

Учитывая вышесказанное, анализ внутригодового хода испарения, как и других элементов влагооборота, проводим в соответствии с выделенными нами (см. п. 5.4) условиями (типами) почвенно-грунтового увлажнения.

1) неограниченное увлажнение, когда для всех фитоценозов испарение близко к потенциально возможному. Такие условия, как правило, свойственны местоположениям с допустимыми для корней растений грунтовыми водами (тип *I* на рис. 7.3) или районам либо периодам времени с увлажнением атмосферными осадками, настолько благоприятным, что практически исключается дефицит влаги в почве;

2) лимитируемое (ограниченное), одинаковое для древесных и травянистых фитоценозов вследствие ограниченной мощности корнеобитаемой зоны почв (тип *II*). Здесь биологические возможности роста корневых систем отдельных видов растений остаются нереализованными и при дефиците осадков влагопотребление различных фитоценозов нивелируется;

3) лимитируемое (ограниченное), но различное для древесных и травянистых фитоценозов, на почвах с мощной корнеобитаемой зоной (типы *III*, *III'*). Здесь реализуются потенциальные возможности роста корневых систем и связанное с ними влагопотребление фитоценозов.

Исходя из рассмотренных особенностей почвенно-грунтовых условий и закономерностей влагооборота, свойственных лесным

и полевым фитоценозам (см. рис. 7.1—7.3), годовой цикл испарения можно довольно четко разделить на три периода (зимне-весенний, летний, летне-осенний), а в их пределах можно выделить два варианта его хода в зависимости от степени и условий влагообеспеченности растений, обуславливаемой как почвенно-грунтовыми факторами, так и увлажнением атмосферными осадками.

I. Зимне-весенний период (январь — апрель) по влагообеспеченности сходен для всех типов почвенно-грунтового увлажнения:

а) при малом количестве атмосферных осадков в лесах, особенно лиственных,—преобладание защитных функций, на открытых пространствах — реализация потенциальных возможностей испарения. В этих условиях испарение максимально на полях, где идет прогрессивное иссушение почв (см. рис. 7.1 и п. 5.4) и минимально в лиственных насаждениях;

б) при влажной погоде в хвойных лесах решающий фактор испарения — перехват осадков пологом, в лиственных (зимне-голых) он незначителен весной и практически отсутствует зимой. В поле испарение лимитируется недостатком тепла. В этих условиях максимальным испарением характеризуются хвойные (темно-хвойные) леса при сохранении лиственными минимальных значений. Открытые пространства занимают промежуточное положение.

II. Летний период (май — август) характеризуется следующими условиями:

а) при малом количестве осадков (сухие периоды) и ограниченной мощности корнеобитаемой зоны (тип II) испарение существенно не различается в отдельных фитоценозах (различия в задержании осадков кронами компенсируются расходом на транспирацию); при неограниченной мощности корнеобитаемой зоны (тип III, III') испарение больше в лесах всех видов, чем в полях, как развивающих более глубокую корневую систему (видовые различия лесных пород в значительной мере нивелируются дефицитом влаги);

б) при влажной погоде испарение близко к испаряемости и существенно сближается в различных фитоценозах и типах почв по влагообеспеченности. Во второй половине лета начинают проявляться влагонакопительные свойства открытых пространств. В целом различия в испарении фитоценозов наименее значительные из всех других периодов.

III. Осенне-зимний период (сентябрь — декабрь) сходен для всех типов:

а) при малом количестве осадков во всех лесах преобладают защитные функции, но в силу малого испарения в среднем различия его в отдельных фитоценозах невелики;

б) при преобладании влажной погоды четко проявляются влагонакопительные свойства. Они максимальны в лиственных лесах и на полях, минимальны — в хвойных насаждениях.

С. Ф. Федоров [176] впервые разработал схему внутригодового

испарения с леса и поля применительно к осредненным условиям увлажнения южнотаежной подзоны (Новгородская область), где, по автору, различия испарения хвойных (еловых) и лиственных лесов несущественны. Согласно этой схеме, испарение в лесах заметно больше, чем на полях, в июле — сентябре, а также в декабре — марте (в меньшей степени). В апреле — июне более значительным испарением характеризуются полевые фитоценозы. В среднем за год несколько больше влаги испаряется в лесах.

Наши данные свидетельствуют о необходимости введения в этот анализ по крайней мере двух параметров — породного состава лесов (хвойные, лиственные) и условий увлажнения. При этом последние целесообразно в свою очередь рассматривать в зависимости от факторов, обуславливаемых почвогрунтами (уровень грунтовых вод, мощность корнеобитаемой зоны) и количеством атмосферных осадков.

В этой связи ход внутригодового испарения (% нормы испарения для данного региона) можно свести к четырем схемам (рис. 7.4):

— для условий благоприятного почвенно-грунтового и атмосферного увлажнения (фитоценозы на участках с доступными для корней грунтовыми водами либо на почвах с глубокими грунтовыми водами, см. рис. 7.3), но на фоне хорошего атмосферного увлажнения. Здесь (рис. 7.4 а) резко преобладает испарение с хвойных лесов в холодный и переходные периоды года, в то время как в теплый период различия испарения с лесов различного породного состава, а также с лесов, и полевых участков сглаживаются; во второй половине лета и осенью после окончания вегетации травянистых растений или их жатвы, хорошо выражена влагонакопительная роль открытых пространств. При таком увлажнении фитоценозы по значениям годового суммарного испарения распределяются в следующей последовательности (в порядке возрастания): лиственные леса — открытые пространства — хвойные (темнохвойные) леса. В особо влажные годы на первое место выходят открытые пространства;

— для условий неограниченного почвенно-грунтового увлажнения, но при малом количестве атмосферных осадков (только при высокостоящих грунтовых водах) (рис. 7.4, б). Основные отличия от предыдущей схемы связаны с тем, что испарение с открытых пространств имеет наиболее высокие значения по сравнению с лесами в холодный и переходные периоды года и мало отличается от лесного в позднелетний и раннеосенний периоды (вследствие малого перехвата осадков в лесах при отсутствии факторов, лимитирующих испарение на полях). Кривые хода испарения с хвойных и лиственных лесов в этих условиях заметно сближаются и характеризуются наиболее высокими пиками (вследствие высоких значений метеорологических факторов и малого испарения осадков с полога). Четко прослеживается следующее распределение

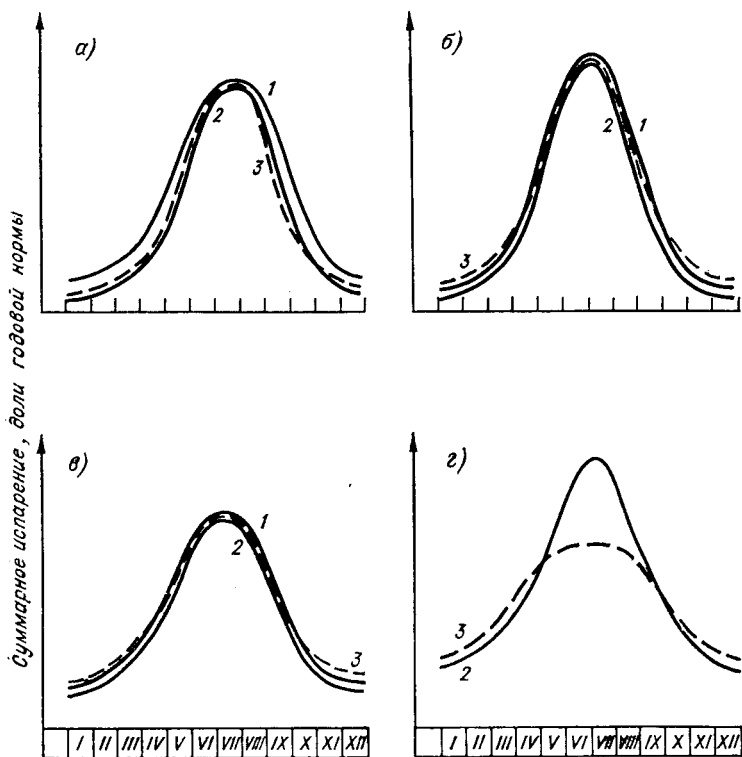


Рис. 7.4. Внутригодовой ход суммарного испарения с лесов и открытых пространств при различных условиях почвенно-грунтового и атмосферного увлажнения.

а — влажные годы, почвогрунты с неограниченным (оптимальным) увлажнением; *б* — сухие годы, почвогрунты с неограниченным увлажнением (только при корнедоступных грунтовых водах), *в* — почвогрунты с ограниченной и равной для всех фитоценозов мощностью корнеобитаемой зоны (мелкие почвы), *г* — то же, но при различной для древесных и травянистых фитоценозов мощностью корнеобитаемой зоны (глубокие почвы в основном аридных районов); 1 — словые леса, 2 — мелколиственные леса, 3 — поля.

тодового суммарного испарения (в порядке возрастания): лиственные леса — открытые пространства — хвойные (темнохвойные) леса;

— для условий ограниченного увлажнения на почвах с равной (малой для всех фитоценозов) мощностью корнеобитаемой зоны. Сохраняется схема испарения и порядок соотношений суммарного испарения, характерные для предыдущих условий, но кривые характеризуются значительной выположенностью хода (рис. 7.4 *в*);

— для условий ограниченного увлажнения, но на почвах с различной для древесных и травянистых фитоценозов мощностью

корнеобитаемой зоны (как правило, лесостепная и степная зоны). В силу более полного удовлетворения потребностей во влаге лесных фитоценозов (особенно при достижении глубокоукореняющимися древесными породами грунтовых вод) испарение с них (в том числе и с лиственных) заметно больше, чем с полей, летом и несколько меньше — в холодный и переходные периоды года (рис. 7.4 г). Именно этот тип соотношения испарения с лесов и открытых пространств наиболее полно изучен Г. Н. Высоцким и его последователями. Соотношение годового суммарного испарения здесь строго однозначно: открытые пространства — лиственные леса — хвойные леса (встречаются редко).

Возможны и другие варианты внутригодового влагооборота древесных и травянистых фитоценозов. Однако они, как правило, являются комбинацией приведенных выше схем. Например, на почвах с неограниченной (различной для травянистых и древесных растений) мощностью корнеобитаемой зоны во влажные годы или периоды лет испарение может характеризоваться промежуточным вариантом первой и четвертой схем (рис. 7.4, а, г), а на почвах с ограниченной (равной для всех фитоценозов) мощностью корнеобитаемой зоны в весенние и раннелетние периоды (при наличии верховодки на иллювиальном горизонте) влагооборот в зависимости от количества атмосферных осадков подчиняется первой или второй схеме и др.

7.2. Многолетние и зонально-геофизические закономерности влагооборота в лесах и на открытых пространствах

Ошибки в оценке гидрологической роли лесов и других видов угодий часто проистекают из-за переоценки их потенциальной испаряющей способности. При построении различного рода схем и концепций потенциальные потребности сообществ во влаге нередко приравниваются к их реальной испаряющей способности. Фактически же это, скорее, можно рассматривать как исключение, а не как правило. На преобладающих площадях не только аридных, но и гумидных, типично лесных районов закономерна та или иная степень недостатка влаги, которая выступает в качестве основного фактора фактического испарения.

С позиций потенциально возможного испарения нельзя рассматривать и условия формирования стока. Образование его связано в основном с короткими периодами избыточного увлажнения (в основном весной), которые могут сменяться периодами острого дефицита влаги для растений. Важно, какие создаются условия для ухода влаги за пределы биологического звена влагооборота в эти периоды. Эта влага не может в последующем использоваться растениями несмотря на любой ее недостаток в верхнем слое

почвы. Все зависит от того, сколько влаги одновременно поступает на водосбор и какова его влагоемкость.

Исходя из этих представлений *правильнее, рассматривать не сток как остаток испарения (что неизбежно при использовании в качестве критерия гидрологической роли потенциальной испаряющей способности)*, а испарение как остаток стока. В этом еще одно подтверждение необходимости уделять максимальное внимание периодам основного формирования стока и всесторонне изучать процессы водооборота во всех звеньях экосистем.

Большинство исследователей придерживаются той точки зрения, что, чем засушливее условия, тем больше преимуществ в расходовании влаги имеют лесные фитоценозы и, следовательно, тем значительнее превышение испарения в лесах над испарением в поле. Так, А. А. Молчанов [106] это явление связывает с более высокой потребностью лесов во влаге. По его данным, леса расходуют влаги больше, чем полевые угодья, при засухах; увеличивается их преимущество в испарении и в зональном плане: в засушливых районах леса являются расточителями водных ресурсов.

М. А. Алпатьев [3] в основу различий расходования влаги фитоценозами положил продолжительность вегетационного периода. В силу этого, по его мнению, превышение испарения с леса также увеличивается в южных районах (параллельно увеличению различий периода вегетации) и уменьшается с продвижением на север. Такой же точки зрения придерживается С. А. Братцев [9], но сокращение расхода влаги лесами на севере он связывает со снижением их продуктивности.

В. Е. Водограцкий [15] считает, что в лесной зоне леса всегда способствует увеличению стока, в лесостепной зоне сток с залежных водосборов бывает большим только там, где грунтовые воды залегают на глубине не менее 10 м, при более глубоких грунтовых водах сток уменьшается. На более сильное иссушающее влияние лесов в районах недостаточного увлажнения указывают также Д. Г. Смарагдов [154], В. И. Рутковский [147] и др.

Вместе с тем Л. А. Иванов [55] пришел к противоположному выводу. По его данным, леса увлажняют пространства в степной зоне, нейтральны — в лесостепной и выступают как иссушающий фактор в северных районах. К этому выводу Иванов пришел, опираясь на данные по расходованию влаги растениями на транспирацию в различных зонах. Они, действительно, свидетельствуют, что по мере продвижения в южные районы транспирация древесных пород уменьшается. Это, однако, не дает основания для такого вывода, какой сделан Ивановым, поскольку параллельно, и в еще большей степени, сокращается расходование влаги травянистыми фитоценозами, характеризующимися меньшей способностью извлекать ее из почвы. Надо полагать, что Иванов [55] при формулировании своих выводов не избежал влияния имевших в то время ши-

рокое распространение идей о всеобщем и только положительном влиянии лесов на все звенья экосистем в районах полезащитного лесоразведения.

Тенденция более значительного испарения с лесов в благоприятных условиях увлажнения отмечается также в работах И. С. Шпака [186], А. Г. Булавко [10], С. Ф. Федорова [176]. Первые два автора причину такого явления видят в увеличении задержания осадков лесным пологом по мере увеличения их количества. С. Ф. Федоров большое значение придает также транспирации.

Учитывая тенденцию более значительного испарения лесов во влажные годы, Федоров приходит к выводу, что в северо-западных районах лесной зоны европейской части СССР испарение с лесов в большинстве случаев больше испарения с безлесных территорий, а в южных и восточных районах лесной зоны имеет место обратное соотношение. Свои выводы Федоров ограничивает условиями лесной зоны. Других регионов он не касается.

Наши исследования дают основание сделать вывод, что при оценке соотношения испарения с лесов и открытых пространств следует учитывать две тенденции: *увеличение испарения с лесов (особенно хвойных) во влажные годы и большее расходование влаги лесами на почвах с неограниченной мощностью корнеобитаемой зоны*. Эти тенденции прослеживаются и в зонально-географическом плане (рис. 7.5). На почвах с ограниченной мощностью корнеобитаемой зоны, как правило, подзолистого типа характерных для лесной зоны (хвойные, хвойно-широколиственные леса), по мере продвижения в южные и юго-восточные районы уменьшаются различия в расходовании влаги лесами и фитоценозами открытых пространств. Однако лиственные леса во всех случаях расходуют меньше влаги, чем полевая растительность.

На почвах с неограниченной мощностью корнеобитаемой зоны, характерных для лесостепной и более южных зон (серые лесные почвы, черноземы, каштановые почвы, большая часть песчаных почв разного генезиса и т. п.), где решающую роль приобретает «корневой фактор», преимущество в расходовании влаги вновь переходит к лесным фитоценозам. Здесь практически все насаждения (вне зависимости от состава) расходуют на испарение больше влаги, чем травянистые фитоценозы. При этом различия в испарении тем значительнее, чем острее дефицит влаги и существеннее различия в мощности корнеобитаемой зоны почв сравниваемых фитоценозов.

Сосновые насаждения по расходованию влаги обычно занимают промежуточное положение между темнохвойными и лиственными лесами, а леса из лиственницы в свою очередь — между сосновыми и лиственными лесами (в силу большего, чем лиственные леса, перехвата осадков пологом в холодный период года). Следует, однако, иметь в виду, что сосновые леса часто приурочены к спе-

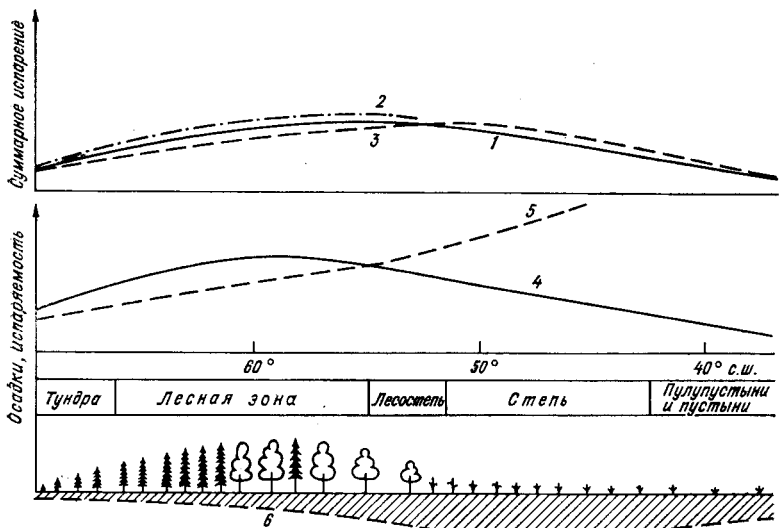


Рис. 7.5. Схематизированный меридиональный профиль (через европейскую часть СССР) условий увлажнения и суммарного испарения с лесов и травянистых фитоценозов применительно к природным зонам и мощности корнеобитаемой толщи почв. Данные по осадкам и испарению взяты из работы [145].

1 — испарение с поля; 2 — испарение с темнохвойного леса; 3 — испарение с лиственного леса; 4 — годовые суммы осадков; 5 — годовая испаряемость; 6 — нижняя граница корнеобитаемой зоны почв.

цифическим местообитаниям с бедными почвами. Если этот эдафический фактор недооценивается (довольно распространенная ошибка) и сравниваются травянистые сообщества на зональных более богатых (суглинистых) почвах и сосняки на бедных почвах, преимущества в расходовании влаги могут быть отданы первым из них. При методически обоснованном сравнении преимущество переходит к сосновым лесам, которые как олиготрофы даже на крайне бедных местообитаниях обеспечивают значительную продуктивность.

На пойменных землях соотношение расходовании влаги фитоценозами обуславливается в основном степенью доступности грунтовых вод. Преимущество в этом отношении, как правило, имеют древесные фитоценозы, для них характерно и большее расходование влаги на испарение.

Гидрологическая роль горных лесов складывается в основном по схеме, характерной для местообитаний с ограниченной мощностью корнеобитаемой зоны. Существенные коррективы вносит высотное положение и экспозиция склонов. На склонах южной экспозиции увеличивается значение защитных функций полого, особенно зимне-голых лесов, в холодный и переходные периоды года.

Поэтому при радиационном типе погоды здесь возрастает расходование влаги травянистыми фитоценозами, а в целом влагооборот складывается по типу, характерному для сухих периодов. На малоинсолируемых склонах северной ориентации превалирует влагоперехватывающая роль полога при минимальной защитной. Влагооборот складывается по типу влажных периодов.

Совершенно особые условия влагооборота фитоценозов складываются в районах с конденсационными осадками. По мере их увеличения усиливается положительное влияние на сток древесной растительности. В зонах облачности факторы иссушения (густота насаждений, хвойные породы) становятся фактором накопления влаги. Однако анализ влагооборота горных лесов требует дополнительных исследований.

В заключение следует отметить, что рассмотренные схемы влагооборота отражают наиболее общие закономерности, характерные для отдельных фитоценозов и типов растительности. Эти закономерности наиболее полно проявляются в районах с четко выраженным холодным периодом года и сопутствующими ему твердыми осадками. В конкретных условиях возможны существенные отклонения от намеченных схем, обуславливаемые неравномерностью увлажнения (практически исключаются случаи сохранения на протяжении года одного и того же типа атмосферного либо почвенного увлажнения), структурой фитоценозов (кроме состава — возрастом, густотой продуктивностью и т. п.) и другими факторами. В каждом конкретном случае эти факторы должны находить отражение при оценке различных проявлений гидрологической роли лесов и других сообществ.

С учетом изложенных положений рассмотрим существующие концепции гидрологической роли лесов.



Анализ основных концепций гидрологической роли лесов

8.1. Концепция иссушающей роли лесов

В основу данной концепции положены фундаментальные исследования Г. Н. Высоцкого [34, 36 и др.] и других ученых, работавших в районах недостаточного увлажнения (степная и лесостепная зоны).

Г. Н. Высоцким исследования проводились в лиственных лесах, представленных дубом и его спутниками. Посадки были приурочены к типичным для зональных условий глубоким почвам суглинистого (часто лёссовидного) механического состава (черноземы, каштановые, серые лесные и т. п.). В такие почвы корни древесных пород проникают на 4—6 м и глубже, что существенно превышает глубину укоренения травянистых растений. Соответственно различается и глубина иссушения почв под древесными и травянистыми фитоценозами.

В этих условиях преимущества древесных растений в расходовании влаги закономерны и однозначны. Нет ни фактических данных, ни логических посылок, которые противоречили бы установленной Высоцким закономерности иссушающего влияния лесов (в районах недостаточного увлажнения!). Исследователи, которые также работали в районах недостаточного увлажнения, неизбежно приходили к выводам, подтверждающим основные положения Высоцкого. Материалы исследований, с помощью которых делались попытки поставить под сомнение или опровергнуть выводы Высоцкого, получены, как правило, путем использования недостаточно обоснованных методических приемов.

Г. Н. Высоцкий не располагал данными прямых наблюдений в лесной зоне, которые подтверждали бы сформулированные им положения. Говоря о высокой испаряющей способности лесов западных и северных районов страны, он опирался на материалы исследований, выполненных в южных районах. Вместе с тем, анализируя особенности гидрологической роли лесов в широком плане, Высоцкий понимал, что имеющиеся данные не вскрывают всех ее проявлений. Уже в одной из своих первых работ он писал: «несомненно, бывают моменты, а может быть, и места, в которых травянистая растительность испаряет влаги больше, чем лес» [35, с. 143]. В более поздней работе [36], рассмат-

ривая противоречивость явлений, вытекающих из представлений о высокой испаряющей способности лесов и фактов благоприятного влияния насаждений на водность рек, Высоцкий самокритично вскрывает другие противоречия своей концепции относительно географических аспектов гидрологической роли лесов. Отталкиваясь от представлений, полученных в аридных районах, о том, что «...лес высушивает подпочву больше, чем поле, до глубины 15—17 метров...», усиленно десугирует доступную ему почвенно-грунтовую влажность и грунтовые воды...» (с. 16, 30), он отмечает, «что под лесом запасы воды должны быть ниже, чем под безлесными площадями; следовательно, и питание водных источников должно быть менее обильным. Однако наблюдения, более поверхностные и общепризнанные, показывают, как будто бы обратное, т. е. что обезлесение территории вызывает сокращение меженного питания рек, иссякание многих источников и ручьев, которые усиленно заносятся культурным (от распашки, от сбоя) аллювием — песком и илом. С этим наглядно вяжется усиление разливов и паводков, но данные исследований влажности почвы и уровня грунтовых вод этому противоречат. *Очевидно, какого-то звена в нашем представлении об обороте влаги у нас еще недостает*» (с. 31 — курсив Н. В).

Эта цитата очень наглядно свидетельствует, что Высоцкий в течение всей своей жизни придерживался представлений об обороте влаги под лесами, установленных на примере исследований, выполненных в аридных районах и на почвах с непромывным типом водного режима. Представления об особенностях влагооборота лесов в типичных лесных, а не специфических (степных) условиях практически полностью отсутствовали.

Позднее многие исследователи касались данной проблемы на примере наблюдений, выполненных в лесной зоне. Высказывались положения, как подтверждающие тезис Высоцкого об иссушающей роли лесов [3, 89, 91, 136, 148, 159, 161], так и противоречащие ему [15, 45, 80, 103—105, 126]. Однако исследователи, как правило, ограничивались констатацией положений и не пытались объяснить сущность процессов. Исключения представляют работы А. М. Алпатьева, Ю. Л. Раунера и А. И. Субботина.

А. М. Алпатьев приходит к однозначному выводу о неизбежности большего расходования влаги лесами, как имеющими несравнимо более продолжительный вегетационный период. Он пишет: «Теоретические предпосылки биологического и физического порядка свидетельствуют в пользу признания древесных формаций потенциально более мощными испарителями влаги по сравнению с травянистыми: лес при достаточной влагообеспеченности и отсутствии заболоченности всегда испаряет больше влаги, чем поле, занятое однолетними или многолетними травянистыми сообществами. Прежде всего этому способствует более продолжительный период вегетации древесных растений» [3, с. 224].

Существенное внимание уделяется Алпатьевым также способности древесных фитоценозов извлекать влагу из большего объема почвы, их многоярусности, повышенному радиационному балансу [136].

В низких широтах, где вегетационный период леса намного продолжительнее, чем поля, разница в испарении с этих видов угодий, по автору, наиболее значительна. В высоких широтах, где разница невелика, значения испарения сближаются.

Свои положения Алпатьев базирует на логических посылках, а также на некоторых опытах, выполненных в районах недостаточного увлажнения. Нам представляется, что автор при этом несколько преувеличивает значение продолжительности вегетационного периода и в этой связи недооценивает испарение за его пределами, в том числе в холодный и переходные периоды года (табл. 8.1). Кроме того, вряд ли оправданно сравнивать испарение с лесной полосы, аккумулирующей влагу с окружающих полей (сдувание снега, поверхностный сток), где вследствие этого уменьшается дефицит влаги. Поэтому автор получил завышенные значения испарения с леса и затем распространил их на другие районы.

В целом же выводы Алпатьева отражают сущность влагооборота, свойственного условиям недостаточного увлажнения, где проявляются биологические способности растений в отношении глубины укоренения. Они, как и положения Высоцкого, в какой-то мере применимы к темнохвойным насаждениям лесной зоны, но не отражают специфику влагооборота в лесах другого породного состава, а также условия атмосферного и почвенного увлажнения.

Эти же недостатки свойственны и исследованиям Раунера [136], который пришел к выводу, что все леса и во всех случаях испаряют больше влаги, чем другие виды угодий. При этом разность испарения лес — поле достигает максимума (100—110 мм) в средних широтах (подзона широколиственных лесов и лесостепная зона). К северу и югу эта разность убывает до 40—50 мм.

Таблица 8.1

Суммарное расходование влаги разными растениями за 1950—1954 гг. [3]

Объект	Продолжительность вегетационного периода, сут	Осадки за период вегетации, мм	Суммарное расходование влаги, мм	Расходование за сутки	
				суммарное	помимо осадков
Лесная полоса	177	333	596	3,37	1,48
Кукуруза	132	260	371	2,81	0,8
Картофель	111	240	319	2,87	0,7
Лен	96	198	297	3,09	1,0
Ячмень	91	158	257	2,82	1,1

Кроме продолжительности вегетационного периода, причины большего испарения с лесов Раунер видит в более значительной оптической плотности и меньшем альбедо полога, что применимо только к условиям неограниченного увлажнения.

Обстоятельные лесогидрологические исследования в лесной зоне выполнены на Подмосковной воднобалансовой станции. По результатам анализа этих данных применительно к периоду формирования весеннего половодья Субботин [159, 161] пришел к выводу об иссушающей роли лесной растительности. В основу выводов положены материалы наблюдений на двух водосборах со среднесуглинистыми дерново-подзолистыми почвами. Один водосбор занят сельскохозяйственными угодьями, на втором (лесном) произрастают леса из лиственных пород (береза). Изучались основные элементы водного баланса (поверхностный и почвенный сток, изменение влагозапасов почв, испарение в весенний период, подпологовое испарение и испарение с сельскохозяйственных угодий).

В среднем за 5 лет наблюдений (1958—1962) поверхностный и почвенный сток с полевого водосбора равнялся 98 мм, а с лесного — только 23 мм, инфильтрация воды в почву имела противоположные значения: 145 мм на лесном водосборе и только 42 мм на полевом. Разница в инфильтрации (103 мм) близка к тем значениям, которые наблюдались нами на Истринском опорном пункте. Как показано выше, большая часть этой влаги (исключая восполнение дефицита влаги в почве и испарение в весенний период) отнесена нами на сток. Убедившись в невозможности замкнуть водный баланс через грунтовые воды по результатам наблюдений за их уровнем в скважине, расположенной в тальвеге, Субботин сделал вывод, что эта влага лишь «...частично пополняет запасы грунтовых вод...», но большей частью расходуется самим лесом, обеспечивая его рост и развитие» [161, с. 187]. При этом, он, как и другие исследователи, исходил из широко распространенных представлений об иссушающей роли лесов и их мощной корнеобитаемой зоне, сформированных по результатам исследований в районах недостаточного увлажнения. Конкретными материалами наблюдений эти представления не подтверждаются. Сколько влаги поступает в грунтовые воды и сколько расходуется растительностью, Субботин не приводит.

Используя результаты наблюдений Субботина [159] и Подмосковной воднобалансовой станции по влажности почв [164], которые положены Субботиным в основу составления баланса, мы произвели такой расчет исходя из изложенных в п. 6.2 представлений о расходовании весенней влаги на испарение и фильтрацию при минимальной транспирации. Для этого материалы Субботина были дополнены данными по НВ почвогрунтов, а для лесного водосбора — по подпологовому испарению (табл. 8.2).

После введения поправок на восполнение дефицита влаги в почве (он оказался в лесу на 16 мм больше, чем в поле) и

Таблица 8.2

Рассчитанный водный баланс холодного периода года
полевого и лесного водосборов, мм
По материалам Подмосковной воднобалансовой станции [164]

№ п/п	Элемент водного баланса	Годы					Среднее
		1958	1959	1960	1961	1962	
Лесной водосбор							
1	Запас воды в снеге в сумме с осадками	207	163	189	127	153	168
2	Сток поверхностный и почвенный	23	32	13	32	14	23
3	Инфильтрация	184	131	176	95	139	145
4	Восполнение дефицита влаги в почве	41	—9	28	—6	40	19
5	Испарение с почвы	10	13	9	10	5	9
6	Пополнение грунтовых вод (рассчитанное)	133	127	139	91	94	117
7	Суммарный сток (рассчитанный)	156	159	152	123	108	140
Полевой водосбор							
1	Запас воды в снеге в сумме с осадками	192	128	154	115	111	140
2	Сток поверхностный и почвенный	94	(116)	122	65	92	98
3	Инфильтрация	98	12	32	50	19	42
4	Восполнение дефицита влаги в почве	19	—43	49	—8	—3	3
5	Испарение с почвы	30	40	28	31	14	29
6	Пополнение грунтовых вод (рассчитанное)	49	15	—45	27	7	10
7	Суммарный сток (рассчитанный)	143	131	77	92	99	108

Примечания: 1. Запас влаги при НВ для 100-сантиметрового слоя почвогрунтов принят равным 369 мм для лесного и 336 мм для полевого водосборов.

2. Суммарный сток рассчитан как разность элементов баланса № 1 и (№ 4 в сумме с № 5), т. е. № 1 — (№ 4 + № 5).

на испарение с почвы под пологом леса (его мы приняли, в соответствии с полученными нами закономерностями, равным 30 % испарения в поле) остаток свободной влаги в почве, которая может поступить на пополнение грунтовых вод, под лесом составил 117 мм, а на полевом водосборе — только 10 мм. Суммирование полученных значений возможной фильтрации влаги в грунтовые воды с измеренным поверхностным стоком свидетельствует, что на лесном водосборе в процессы формирования стока включалось на 32 мм влаги больше, чем на полевом водосборе. Это близко к результатам наших наблюдений в лиственном насаждении (Истринский опорный пункт), где в среднем за 8 лет наблюдений подобные различия за осенне-зимне-весенний период составили 31 мм (см. табл. 6.6 и 6.7).

Таким образом, фактические материалы Субботина [159], а также данные Подмосковной воднобалансовой станции [164],

как и наши исследования, показывают, что применительно к листовым насаждениям, произрастающим в условиях лесной зоны на почвах с ограниченной мощностью корнеобитаемой зоны, не подтверждается тезис Высоцкого об иссушающей роли лесов.

Вопросам соотношения гидрологической роли лесов и открытых пространств уделяется большое внимание зарубежными исследователями [83, 178, 197, 200, 210]. Практически все они приходят к выводу, что леса расходуют на суммарное испарение больше влаги, чем травянистые фитоценозы.

При анализе этих данных следует иметь в виду, что они относятся в основном к горным районам с благоприятными, часто неограниченными условиями увлажнения (годовая сумма осадков 1000—1500 мм и более). Кроме этого, леса сравниваются не с полевыми (луговыми) фитоценозами, а с площадями, на которых лес уничтожался рубками или другими средствами (палы, химическое воздействие и т. п.). В таких случаях анализируется практически не пара лес—поле, а пара лес—вырубки различного возраста. В этих границах, в том числе и при возобновлении вырубок листовыми древесными породами (см. п. 8.5), результат не может быть иным и применим практически ко всем условиям и районам.

Имеются и другие особенности этих экспериментов, например непродолжительный холодный период или его отсутствие, ливневый характер осадков и т. п. Все эти факторы обуславливают специфические особенности гидрологической роли лесов. Поэтому каждый конкретный случай можно практически оценить только при наличии данных о всех важнейших элементах и факторах влагооборота, которые не всегда приводятся в публикуемых материалах.

8.2. Концепция иссушающе-увлажняющей роли лесов

В эту концепцию мы включаем положения тех авторов, которые, присоединяясь к точке зрения Высоцкого об иссушающей роли лесов, в то же время считают, что эта иссушающая функция компенсируется дополнительным выпадением осадков над лесами или лесными территориями. В результате такого дополнительного увлажнения сток в лесах в конечном итоге либо больше, чем на открытых пространствах, либо равен ему. К таким выводам пришли А. И. Михович [100—102] на примере исследований в лесостепных, степных районах Украины и районах Украинского Полесья, А. В. Лебедев [80] по результатам работ в равнинных районах Восточной Сибири, С. Ф. Федоров [176] в процессе длительных стационарных наблюдений на объектах ВФ ГГИ в условиях южной тайги (Новгородская область), В. В. Осипов [120] по наблюдениям на элементарных водосборах в условиях Ярославской области и другие исследователи.

Согласно Лебедеву [80], прибавка стока в лесных бассейнах тем значительнее, чем в более засушливых условиях они располагаются. Однако Михович пришел к выводу, что в засушливых условиях лес (изучались лиственные насаждения — дуб, клен и др.) не может обеспечить прибавки суммарного речного стока, несмотря на дополнительное выпадение осадков. Только при определенной лесистости возможно сохранение тех объемов суммарного стока, которые характерны для открытых пространств. Положительная роль лесов в засушливых условиях, по Миховичу, проявляется в значительном увеличении доли подземного стока.

По наблюдениям Осипова за период с 1963-64 по 1966-67 г., испарение с лесного водосбора (в основном лиственные насаждения — береза, осина) равнялось 498 мм (461—539 мм по годам), а с полевого — 460 мм (412—493 мм по годам). Вместе с тем, благодаря дополнительным осадкам (в лесу их средняя годовая сумма составила 730 мм, в поле 667 мм), суммарный сток с лесного водосбора оказался больше (232 мм), чем с полевого (207 мм).

В результате прямых наблюдений Федоров [176] определил сток равным 214 мм/год в бассейне, занятом еловым лесом, и 324 мм/год в бассейне, представленном фитоценозами открытых пространств. Используя же расчетный метод и фактические, очень строго измеренные осадки над лесным и полевым бассейнами, он получил, что сток равен 334 мм для лесной и 302 мм для безлесной территорий (район г. Валдая). Отметим, что у Федорова расстояние между экспериментальными водосборами составляет 9 км и располагаются они на разных склонах озера.

Имеются и другие существенные различия во взглядах названных авторов на гидрологическое влияние лесов. Так, Осипов и Федоров придерживаются мнения о локальном («прицельном») выпадении осадков над лесами. Это вытекает из применявшейся ими методики исследований на смежных полевых и лесных водосборах небольших размеров. По мнению же Миховича и Лебедева дополнительные осадки выпадают и на прилегающих открытых территориях. Это также вытекает из применяемого ими регионального (в зависимости от лесистости) подхода к анализу увлажнения.

Выше уже обращалось внимание на тот факт, что эти концепции, хотя и исходят из одних и тех же посылок, но фактически исключают друг друга. В самом деле, если влияние леса на осадки сказывается в определенном регионе, то метод исследований на малых водосборах (Осипов, Федоров) должен давать нулевой или близкий к нему результат. С другой стороны, если выпадение осадков имеет «прицельный» характер, то это не должно никак сказываться на показаниях приборов, располагающихся на открытых пространствах, что положено в основу выводов Лебедева и Миховича.

В значительной мере противоречиво и само положение о зависимости между лесистостью и дополнительными осадками. Согласно Лебедеву и Федорову, последние увеличиваются примерно пропорционально возрастанию лесистости. В то же время А. Р. Константинов [68] и А. И. Михович [102], исследования которых наиболее обстоятельны, приходят к выводу, что такое возрастание имеет место только до определенного предела лесистости (порядка (20—35 %)).

В целом анализ материалов исследователей, придерживающихся представлений об увлажняющей роли лесов через дополнительное выпадение осадков, дает основание заключить, что единая концепция по данному вопросу отсутствует. Имеются различные попытки сблизить рассмотренные выше противоположные положения об увлажняющем и иссушающем влиянии лесов. Но представления и подходы, используемые при этом, противоречивы по своей сути и свидетельствуют, что исследователи не располагают пока необходимыми материалами.

Проблематичность концепции становится еще более очевидной, если в соответствии с реальными условиями включать в процессы стока только часть дополнительных осадков. Авторы же включают их в сток практически в полном объеме. Покажем это на примере исследований, выполненных Федоровым [176] и характеризующихся наибольшей продолжительностью и методической обоснованностью. Он пишет: «По данным ВНИГЛ, эта разница (в выпадении осадков над лесом и полем — *Н. В.*) в среднем за многолетний период составляет 8—14 % и в целом за сезон — 45 мм или 11 %» [176, с. 49]. Далее, касаясь влияния леса на осадки холодного периода, автор приходит к выводу, что «...лес оказывает некоторое положительное влияние на выпадение твердых осадков. Однако это влияние несущественно и находится в пределах точности определения запасов воды в снеге при снего съемках. Поэтому можно считать, что лес не оказывает существенного влияния на выпадение твердых осадков» (с. 53—54). При балансовых расчетах все дополнительно выпадающие летом осадки и даже больше их (50—60 мм) автор относит на формирование стока. Однако закономерности испарения и влагооборота свидетельствуют, что летние осадки расходуются в основном на испарение. Даже допустив, что в процессы стока включается до 20 % выпадающих под влиянием леса осадков (что маловероятно), становится очевидным — для увеличения его на 50—60 мм потребовалось бы не менее 200 мм дополнительных осадков. По автору же, как отмечалось выше, такое увеличение осадков составляет в среднем за многолетие 45 мм за теплый сезон и (возможно) 3—12 мм за холодный период.

Такие же в общем противоречия возникают при знакомстве с работами других исследователей по данному вопросу. Исключения представляют обстоятельные исследования, выполненные

Миховичем, в районах Украины. Логичен его вывод о том, что дополнительно выпадающие осадки не способны увеличивать суммарного стока; они лишь в какой-то мере компенсируют дополнительное испарение с лесов и то лишь при частичном облесении водосборов. Такая лесистость, названная автором оптимальной водоохранной, для степной части Украины равна, по автору, 16—19 %, для лесостепной 19—35 %, а для условий Украинского Полесья 35—65 %.

С учетом этих замечаний можно считать, что исследования Осипова, Лебедева, Федорова фактически подтверждают положение о более значительном суммарном испарении с хвойных лесов, чем с открытых пространств.

8.3. Концепция неопределенной роли лесов

Эта концепция наиболее полно отражена в работах А. А. Молчанова [103—106, 108 и др.]. Нами уже обращалось внимание на неоднозначные высказывания Молчанова относительно гидрологической роли лесов и отдельных насаждений. В одних случаях он рассматривает лиственные насаждения как наиболее расточительные в расходовании влаги, в других — такую роль отводит темнохвойным (еловым) лесам. Механизма процессов и причин, которые обуславливают то или иное соотношение в расходовании влаги фитоценозами, автор, как правило, не касается.

Анализ материалов Молчанова свидетельствует, что такая разноречивость высказываний, к сожалению, не отражает какие-либо объективные закономерности влагооборота. Изменчивость значений обуславливается в основном двумя причинами: неудачным подбором объектов наблюдений либо своеобразием представления результатов исследований. Неудачный подбор объектов, как отмечалось выше (см. п. 3.4, 6.4), приводит к тому, что исключается возможность их сравнения по принципу единственного различия. Например, насаждения, различающиеся по составу, относятся, кроме того, к различным типам леса. Ясно, что в таком случае ведущим фактором выступают условия местопроизрастания (увлажненность, плодородие почв и т. п.), а не сравниваемые признаки.

Своеобразие представления материалов наглядно иллюстрируется табл. 8.3, содержащей результаты одних и тех же наблюдений, выполненных Молчановым в условиях Московской области (Орехово-Зуевский лесхоз). Эти результаты приводятся по-разному как в отдельных работах, так и в различных разделах одних и тех же работ. В процессе такой трансформации неопределенность гидрологической роли с каждым новым представлением данных, действительно, увеличивается, но обуславливается она, к сожалению, не объективными причинами. Например, отрицательное

Таблица 8.3

Баланс влаги в лесных насаждениях, по А. А. Молчанову (разные источники), мм Московская область, 1946—1949 гг.

229

Элемент баланса	Литератур- ный источник	Сосняк					Ельник		Березняк черничный
		мшистый	брусничный	черничный	долгомош- ный	сфагновый	черничный	бруснич- ный	
Осадки	<i>I</i>	556*	556	556	556	556	556	556	556
	<i>II</i>	556	556	556	556	556	556	556	556
	<i>III</i>	550	550	550	550**	575			
Испарение: с кроны	<i>I</i>	113 (80)	121 (86)	126 (90)	111 (86)	100 (80)	194 (121)	106 (70)	121 (100)
	<i>II</i>	80	86	90	86	80	121	70	100
	<i>III</i>	113	135	126	90	85			
с покрова	<i>I</i>	107 (79)	111 (83)	149 (121)	218 (190)	255 (227)	79 (55)	118 (86)	79 (55)
	<i>II</i>	79	83	121	190	227	55	86	55
	<i>III</i>	107	84	121	190	227			
Транспирация	<i>I</i>	225	243	267	215	169	347	275	350
	<i>II</i>	173	195	217	165	119	297	225	200
	<i>III</i>	173	236	217	165	123			
Суммарное	<i>I</i>	445	475	542	544	524	620	499	550
	<i>II</i>	332	364	428	441	426	473	381	355
	<i>III</i>	393	455	464	445	435			
Поверхностный сток	<i>I</i>	8	6	—***	Нет наблюдений		6	6	6
	<i>II</i>	4	4	6	35	60	7	4	8
	<i>III</i>	2	4	6	15	30			
Инфильтрация и грунтовый сток	<i>I</i>	103	75	34	12	32	—70	51	0
	<i>II</i>	220	188	122	80	70	75	171	193
	<i>III</i>	155	91	80	90	110			

Примечание. *I* — работа [103, табл. 261, 263]; *II* — работа [105, табл. 146], *III* — работа [106, табл. 28]; в скобках приведены значения за теплый период года.

* Из них конденсационная влага 12 мм.

** У автора значится как сосняк-черничник, осадки 575 мм.

*** Подток 20 мм.

влияние на сток ельника черничного в монографии 1952 г. [103] (испарение больше осадков на 70 мм) в монографии 1961 г. [105] сменяется положительным влиянием (испарение меньше осадков на 75 мм). Рассчитанный сток в целом за этот период «увеличился» на 145 мм, таким же образом в березняке черничном он возрос с 0 до 193 мм. Подобная трансформация характерна и для других объектов.¹ Ясно, что при таком подходе к получению данных и их представлению отпадает необходимость поиска каких-либо закономерностей, лежащих в основе отдельных процессов либо явлений.

8.4. Концепция всеобщей увлажняющей роли лесов

Данная концепция, начиная с 50-х годов, настойчиво развивается В. В. Рахмановым [137, 139—141 и др.]. Ее полностью или в той или иной мере разделяют другие исследователи [8, 45, 126, 131].

Концепция, к сожалению, создает одностороннее представление о проблеме, что ведет к неверным практическим рекомендациям и возможным издержкам при их осуществлении (см. примеры в п. 9.1). Это свидетельствует о необходимости критического анализа основных положений данной концепции и привлечения внимания к ее дальнейшему обсуждению.

Согласно данной концепции, леса во всех случаях характеризуются как экосистемы, способствующие накоплению влаги. Они испаряют меньше, чем травянистые сообщества, обуславливают дополнительное выпадение осадков и вследствие этого увеличивают годовой суммарный сток.

Недостаточную обоснованность положений о влиянии лесов на выпадение осадков мы рассматривали в п. 3.1. Здесь еще раз подчеркнем, что если количество осадков в равнинных районах и увеличивается, то в летний период при практически неизбежном дефиците влаги они расходуются на испарение. Только осадки холодного периода способны вызвать некоторое увеличение стока, но сторонники дополнительной увлажняющей роли лесов считают, что в этот период выпадение их незначительно [176]. В таком случае представление о дополнительных осадках, как факторе увеличения стока практически теряет смысл. Они могут обуславливать лишь некоторое улучшение влагообеспеченности растений.

Нельзя рассматривать как обоснованные положения о том, что в лесах меньшему испарению способствует уменьшение скорости

¹ Поправки к показаниям дождемеров в то время не вводились. — *Прим. ред.*

ветра, снижение температуры и повышение влажности воздуха, уменьшение испаряемости и т. п. [141]. Все эти изменения метеорологических элементов имеют место под пологом. Основные же процессы испарения происходят в самом пологе, где метеорологические условия если и отличаются от аналогичных условий в зоне контакта травянистых фитоценозов с атмосферой, то только в сторону, способствующую усилению испарения и транспирации.

На недопустимость перенесения результатов подпологовых наблюдений за микроклиматом на насаждения в целом и, в частности, на его энергетические процессы обращает внимание Турнер [225], сделавший обстоятельный критический обзор исследований по влиянию лесов на климат. Он отмечает, что такой подход не дает истинных представлений ни о влиянии лесов на окружающее пространство, ни об энергетической стороне процессов, совершающихся в самих фитоценозах. В качестве высокой энергетической активности верхней части полога леса Турнер приводит баланс солнечной радиации. Ссылаясь на имеющиеся данные, он обращает внимание, что две трети дневной суммы солнечной радиации идет на испарение в верхней части полога и лишь 3% — на нагревание почвы и 2% — на нагревание растений. Высокая энергетическая активность полога леса подтверждается результатами наблюдений за испаряемостью. Последняя (см. п. 4.3.1) в верхней трети полога в 1,8—2,0 раза больше, чем в средней, и в 2,5—3,0 раза больше, чем в нижней.

Выступая оппонентом исследователей, работавших в районах недостаточного увлажнения, Рахманов считает, что они недооценивают фильтрацию влаги через горизонт иссушения, или «мертвый горизонт» и тем самым преувеличивают иссушающую роль леса. В подтверждение возможности такой фильтрации Рахманов ссылается на уменьшение запасов влаги в почве в зимние месяцы.

Имеющиеся у нас материалы многолетних круглогодичных наблюдений за влажностью почв на ряде объектов свидетельствуют, что как в песчаных, так и в суглинистых почвах влажность в течение зимних месяцев изменялась незначительно, причем как в сторону ее уменьшения, так и увеличения, что можно рассматривать как изменение, обусловливаемое разнонаправленной миграцией в зоне аэрации, например, под влиянием термических градиентов, промерзания и других факторов.

Для песчаных почв Бузулукского бора обширный материал по данному вопросу (за 1947—1969 гг.) обобщен нами ранее [19]. Здесь во всей зоне аэрации после влагонакопления устанавливалась и длительно удерживалась относительно стабильная влажность, равная НВ (табл. 8.4).

Аналогичные данные получены и на суглинистых почвах Истринского опорного пункта и Подмосковной воднобалансовой станции (табл. 8.5).

Таблица 8.4

Запасы продуктивной влаги в песчаных почвогрунтах в холодные периоды, мм
Бузулукский бор, 1948—1969 гг.

Слой почво- грунтов, см	X	XI	XII	I	II	III
Под насаждениями сосны						
0—50	28,6	38,1	41,1	38,6	42,5	42,5
50—100	13,7	20,7	20,7	21,5	20,0	22,3
100—150	14,0	17,9	17,9	18,7	15,5	22,6
150—200	14,1	20,3	21,1	24,2	28,1	25,8
200—250	20,3	22,6	25,8	27,4	26,6	30,4
250—300	21,1	24,2	24,2	25,0	26,6	25,0
Под целинно-степным травостоем						
0—50	32,7	38,0	42,7	40,4	41,2	44,2
50—100	17,0	22,4	19,3	21,6	20,9	24,8
100—150	14,7	20,1	20,0	18,6	17,8	19,3
150—200	24,8	31,0	31,7	28,6	24,8	27,1
200—250	28,6	34,8	34,0	34,8	36,4	34,8
250—300	36,5	34,9	39,5	41,9	41,1	39,5

Таблица 8.5

Запасы общей влаги в суглинистых почвогрунтах
в холодные периоды, мм [164]

Подмосковная воднобалансовая станция, 1955—1980 гг.

Слой почво- грунтов, см	X	XI	XII	I	II	III
Участок № 1. Полевой водосбор						
0—50	149	166	173	170	179	178
50—100	162	168	166	159	161	160
0—100	311	334	339	329	340	338
Участок № 3. Лесной водосбор						
0—50	168	180	181	181	184	180
50—100	156	161	161	163	159	160
0—100	324	341	342	344	343	340

Все эти материалы однозначно подтверждают стабильность НВ как константы и обоснованность ее использования при почвенно-гидрологических исследованиях и расчетах.

Возможность просачивания влаги в грунтовые воды через «мертвый горизонт» Рахманов пытается подтвердить ссылкой на наблюдения по лизиметрам и, в частности, на наблюдения Тюрка, который отмечал наличие в этих приборах очаговой фильтрации по трещинам. На эту особенность лизиметров нами также обращалось внимание (см. п. 1.1). Именно поэтому лизиметры, на наш взгляд, мало пригодны для воднобалансовых наблюдений. Вероятность очагового проникновения влаги здесь особенно ве-

лика в местах соприкосновения монолита со стенкой прибора. Недостатки лизиметров связаны также с резким изменением условий для проникновения корней в нарушенную даже частично почву. Кроме того, в лизиметрах нет никакого подобия «мертвого горизонта».

В качестве очагов и факторов фильтрации Рахманов рассматривает корневые системы. Роль их в этих процессах отрицать нельзя. Однако корни прежде всего необходимо оценивать по их основной функции — поглощению влаги из почвы. При таком подходе большая мощность и глубина проникновения корней в почву выступает как фактор не экономии, а расходования влаги, возврата ее в биологическое звено оборота. Именно в этом основная сущность различий гидрологической роли отдельных фитоценозов.

Другие противоречия, свойственные концепции всеобщей увлажняющей роли лесов, мы рассматривали по ходу обсуждения отдельных вопросов (методические подходы к исследованиям, водный баланс и структура насаждений, гидрологическая роль корневых систем и др.).

В целом авторы концепции, к сожалению, не вскрывают, а часто и не касаются существа процессов, имеющих место в экосистемах, и поэтому не находят различий в гидрологической роли лесов в зависимости от их структуры и условий местопроизрастания, часто дают одностороннюю оценку фактическим материалам и явлениям. Если отдельные положения концепции и находят подтверждение в природных процессах (например, положительное влияние лиственных лесов на сток в условиях лесной зоны), то это следует отнести к чисто случайному совпадению.

Концепция практически отрицает возможность целенаправленного управления гидрологическими процессами в лесах. Об этом, в частности свидетельствует появление значительного числа исследований и публикаций, посвященных сохранению лесов, а не повышению или целенаправленному регулированию проявлений водоохранной и водорегулирующей их роли. Эти же причины часто лежат в основе снижения интереса к лесогидрологическим проблемам, поскольку тезис: «Где лес, там и вода» создает видимость их простоты и решенности для всех случаев и условий.

Остановимся также на некоторых других положениях относительно гидрологической роли лесов, не затронутых при рассмотрении названных выше концепций.

Оригинальную точку зрения на гидрологическую роль лесов высказывает А. П. Казанкин [60]. Он считает, что леса не могут уменьшать суммарного стока, потому что в них большое количество тепла используется на нагревание самого фитоценоза. Имеющиеся в литературе указания на увеличение стока в старых насаждениях он связывает с содержанием здесь максимальных

запасов древесины как фактора поглощения тепла. Нами уже обращалось внимание на данные, свидетельствующие о том, что только незначительная часть солнечной энергии используется на нагревание самих растений, а основное количество ее расходуется на суммарное испарение. Поэтому большое поглощение энергии в пологе, скорее, можно рассматривать как показатель высоких потерь на испарение, чем наоборот. Необходимо также учитывать несоответствие между потенциально возможным и фактическим испарением, обусловливаемое влагообеспеченностью, мощностью корневых систем, продолжительностью вегетационного периода, возможностями ухода влаги из биологического звена влагооборота до того, как она поступит на испарение, и другие факторы, на которые нами обращалось внимание ранее.

В. Е. Водогретский [15] считает, что в пределах лесной зоны суммарный сток под влиянием леса увеличивается на 2—7 %, но там, где грунтовые воды стоят глубже 10 м, он уменьшается на 1—6 %. Механизма положительного влияния лесов на сток автор не касается. Учитывая современные тенденции увеличения в составе лесов лиственных и смешанных насаждений, можно предположить, что в среднем лесные водосборы обеспечивают заметно больший сток, чем открытые пространства. Вместе с тем остается не ясным, почему при глубоких грунтовых водах леса расходуют меньше влаги, чем травянистые сообщества. Логичнее противоположная закономерность — большее расходование влаги лесами при высокостоящих грунтовых водах вследствие большей вероятности контакта с ними корневых систем древесных пород (см. п. 5.7). Глубокие грунтовые воды обеспечивают возможность наиболее полного проявления свойств лесных фитоценозов — безвозвратной (из биологического звена оборота) фильтрации влаги в почву и включения ее в процессы подземного стока.

Нередко положительно оценивается влияние полезащитных полос на объем суммарного стока. Нельзя, однако, привести ни одного аргумента, который свидетельствовал бы в пользу меньшего испарения с лесных полос по сравнению с открытыми пространствами. Более значительному испарению с полос способствует их лучшая по сравнению с другими фитоценозами влагообеспеченность, обусловливаемая дополнительной аккумуляцией влаги за счет накопления снега и перехвата стока, поступающего со смежных открытых пространств. Более мощная корневая система древесных растений использует влагу как с глубинных слоев почвы, так и с прилегающих открытых пространств. Метеорологические факторы также благоприятны для повышенного расходования влаги вследствие такого широко известного явления, как адвекция тепла («краевой эффект»). Само существование лесных полос в условиях аридного климата обусловливается прежде всего способностью их использовать дополнительное увлажнение. Этим, в частности, объясняется возможность выращивания насаждений

полосами в условиях, где массивное лесоразведение обречено на неудачи.

Нет оснований считать, что меньше влаги расходуют сельскохозяйственные растения, произрастающие под защитой полос. Именно более полное и, кроме того, более рациональное расходование влаги и создает основной эффект полезного лесоразведения. Здесь во влагооборот фитоценозов включается дополнительно влага в результате равномерного распределения снега и меньшей вероятности стока. Улучшение роста под защитой полос в свою очередь ведет к развитию более мощной корневой системы как фактора потребления влаги.

Более благоприятный микроклимат под защитой полос создает условия для более рационального использования влаги но было бы неправильно рассматривать его как фактор меньшего испарения. В жестких условиях степи ресурсы тепла в любом случае достаточны для испарения доступных запасов влаги. Положительная роль этого фактора сводится, во-первых, к некоторому замедлению испарения во времени, что ведет к смягчению перепадов влагообеспеченности, во-вторых, к уменьшению перегрева и, в частности, к снижению трат энергии на так называемое сопротивление транспирации.

Другими словами, полезное лесоразведение — это способ и средство более полного и более рационального использования природных запасов влаги, но никак не экономия ее для последующего стока. Для последнего нет ни метеорологических, ни биологических предпосылок.

8.5. Соотношение гидрологической роли полей и открытых пространств среди леса.

Антропогенные воздействия на сток

Несмотря на существенные различия факторов и элементов влагооборота, свойственных обширным сельскохозяйственным полям, вырубкам, полянам, прогалинам, просекам и другим открытым пространствам среди леса, в литературе нередки случаи однозначной оценки их гидрологической роли. В частности, без существенных оговорок делаются попытки сопоставить выводы отечественных исследователей относительно гидрологической роли лесов, полученные при сравнении стока или испарения с лесов и сельскохозяйственных угодий, и результаты тех довольно многочисленных экспериментов зарубежных ученых (США, Японии, ФРГ и др.), в которых безлесные площади представлены водосборами, на которых тем или иным способом сведен лес в процессе эксперимента.

В проблеме влияния рубок на гидрологические процессы целесообразно различать два аспекта: воздействие на водорегули-

рующие функции водосборов в основном через изменение водно-физических свойств почв и влияние на процессы и объем суммарного стока в основном через изменение условий поступления осадков и последующего испарения. Первый вопрос довольно разносторонне освещен в литературе, и ответ на него практически однозначен: под влиянием рубок ухудшаются водно-физические свойства почв, особенно в местах неоднократного прохода техники (магистральные и пасечные волоки); в результате этого, а также благодаря более интенсивному поступлению влаги, возрастает доля поверхностной составляющей стока, увеличивается опасность эрозионных явлений. Вопросы эти довольно полно рассмотрены А. В. Побединским [125, 127, 128] и др.

Второй вопрос не имеет пока однозначного ответа. В. В. Рахманов [137, 140, 141 и др.] считает, что любое сведение леса неизбежно сопровождается уменьшением стока и увеличением испарения. Эта точка зрения разделяется и другими исследователями. А. В. Побединский и Б. И. Бобруйко [126], проанализировав сток пяти рек Среднего Урала за 10—15-летние периоды — до начала интенсивных рубок в их бассейнах и после их проведения (при этом все лесные площади были оставлены под естественное зарастание или на них создавались лесные культуры), пришли к выводу, что во второй период суммарный сток имел тенденцию к уменьшению. К этим выводам позднее присоединился М. Э. Муратов [110], проводивший исследования на Южном Урале (Башкирия). По его данным, при изменении лесистости за 15-летний период с 81 до 70 % слой стока уменьшился с 336—484 до 269—433 мм. При этом все вырубki не старше 15-летнего возраста автор приравнивает к безлесным площадям.

Подобный же вывод сделал В. Н. Данилик [45] в результате сравнения стока двух рек Марийской АССР, в бассейне одной из которых площадь, занятая лесами, уменьшилась в 1972 г. из-за пожаров на 6,5 %. Автор подсчитал, что в результате таких явлений сток уменьшался на 1,4 мм на каждый процент лесистости. В числе факторов сокращения стока называется уменьшение осадков над пожарищами, увеличение испарения с поверхности почвы и другие причины, которые обычно используются сторонниками увлажняющей роли лесов. О том, что в результате пожара снят основной элемент расходования влаги — древостой, автор не упоминает. Не делается никаких попыток оценить результаты тех наблюдений, которые свидетельствуют об обратном.

Кроме названных выше экспериментов, об уменьшении испарения с вырубok говорят также имеющиеся данные по режиму влажности почв, снегонакоплению и другим элементам влагооборота. Так, М. К. Мурзаева и В. А. Помазюк [112], проводившие исследования в том же районе, по которому анализировался сток Побединским и Бобруйко, отмечают, что к концу вегетационного периода в 50-сантиметровом слое почвы запасы влаги

Таблица 8.6

Испарение с 70-летнего соснового леса и вырубki разного возраста [177]
Новгородская область

Год	Период наблюдений	Испарение			Поверхность вырубki
		вырубka		лес, мм	
		мм	% испарения с леса		
1974	7/VI—7/X	150	52	289	Подстилка
1976	28/V—5/X	190	63	302	Подстилка, вейник
1977	28/V—3/X	233	69	345	Вейник
1978	4/V—30/VIII	230	74	310	»

Примечание. Диаметр вырубki 160 м, угол закрытости горизонта 9°.

на вырубке были на 89,6 мм выше, чем в рядом расположенном насаждении. Согласно А. В. Лебедеву и В. В. Протопопову [82], суммарное испарение с вырубki первого года в Красноярском крае составило 360 мм против 593 мм в насаждении, на третьем году такие различия сохранились: 460—470 мм на вырубке и 540—550 мм в лесу. Аналогичные выводы получены С. Ф. Федоровым и др. [177] в условиях Новгородской области (табл. 8.6).

Мы не располагаем материалами, в которых прослеживался бы весь цикл испарения с вырубok, начиная с момента удаления древостоя до перехода в сформировавшийся фитоценоз. Однако, судя по тенденциям изменения испарения, например содержащимся в табл. 8.6, можно ожидать, что вырубki 8—10-летнего возраста будут расходовать примерно столько же влаги, сколько и сформировавшиеся насаждения, произрастающие в аналогичных условиях. Следует, однако, иметь в виду, что большое разнообразие вырубok может обуславливать существенные отклонения от данной закономерности. Интересные материалы такого порядка получены О. И. Крестовским [74].

Наши исследования свидетельствуют, что в условиях зоны хвойно-широколиственных лесов влажность почв на молодых вырубках во всех случаях оставалась более высокой, чем в лесу или на полевых угодьях. Вырубki характеризуются и минимальным испарением. В условиях Загорского лесхоза испарение со свежей (2-летней) вырубki составило 346 мм, в то время как в еловом лесу оно равнялось 467 мм и в поле 419 мм (табл. 8.7).

При оценке гидрологической роли вырубok большое значение имеют их размеры и обуславливаемая ими степень близости к стенам леса. Если на обширных, особенно сконцентрированных вместе, вырубках запасы снега приближаются к его запасам на открытых пространствах, то на узких лесосеках, они, как правило, близки к максимально возможному. Аналогичные положительные

Таблица 8.7

Водный баланс за 1978-79 гидрологический год на вырубке, в поле и в 20-летних насаждениях, мм
Загорский лесхоз

Объект	Приход		Расход				
	осадки	почвенная влага	всего	испарение с полога леса	транспирация и испарение с почвы	суммарное испарение	инфильтрация и сток
Вырубка 2-летняя	524	16	540	—	—	346	194
Поле	524	17	541	—	—	419	122
Лес:							
еловый	524	32	556	205	262	467	89
березовый	524	75	599	109	305	414	185

особенности характерны для гидрологической роли небольших открытых пространств среди леса (поляны, прогалины), занятых, как правило, травянистой, чаще всего луговой либо болотной растительностью.

По многолетним наблюдениям (1951—1970 гг.) на Истринском опорном пункте, запасы воды в снеге на небольших вырубках различного возраста, под листовыми насаждениями и на лесных полянах были примерно одинаковыми (137—142 мм), а в еловых лесах они равнялись только 109 мм [25].

Кречмер [205] отмечает, что в горных районах Чехословакии мелкие поляны в зимы с изменчивой погодой накапливают в среднем на 93 %, а в мягкие на 25 % влаги больше, чем открытые пространства. По Г. Б. Паулюквичюсу [122], превышение запасов воды в снеге на малых полянах по сравнению с хвойными лесами достигает двухкратных значений.

Все эти данные свидетельствуют о благоприятной гидрологической роли полян, так же как и вырубок.

Влагоаккумулирующая роль открытых пространств среди леса, используется при решении конкретных задач увеличения стока. Так, Хибберт [200] при обосновании мероприятий по увеличению поступления воды в р. Колорадо, наряду с другими мероприятиями, рекомендует создание просек в лесах как очагов аккумуляции осадков и уменьшения испарения. В. Н. Данилик [43] приводит данные американских исследователей, согласно которым для достижения максимального гидрологического эффекта ширина коридоров в лесу должна быть равной 1—2 высотам насаждений при чередовании с кулисами такой же ширины. Однако и более узкие просеки, типа технологических коридоров для проведения различных лесохозяйственных мероприятий, также будут сказываться положительно на накоплении снега.

Все эти данные свидетельствуют, что сочетания угодий лес —

поле и лес — вырубка далеко не идентичны по гидрологической роли, поскольку в первом случае сравниваются две самостоятельные экосистемы, а во втором только лес выступает как экосистема, рубка же является лишь фрагментом лесной экосистемы, из которой отчужден основной элемент расхода влаги — древостой. В то же время как последствие на вырубке сохраняются положительные свойства леса по экономному расходованию влаги. Вследствие этого с молодых вырубок и вырубков, зарастающих лиственными породами, практически во всех случаях испаряется меньше влаги, чем с сельскохозяйственных полей и тем более хвойных насаждений.

Исключения представляют местообитания, где удаление леса сопровождается заболачиванием. Влагооборот здесь складывается по схеме, характерной для условий избыточного увлажнения (см. п. 6.5).

Наряду с рубками, существенные изменения в различных звеньях лесных экосистем вызывают другие виды антропогенной деятельности (рекреационные нагрузки, промышленные загрязнения). Несмотря на то, что каждое из этих воздействий имеет свою специфику (рубки оказывают сильное влияние на фитоценоз и почву, рекреация сказывается в основном через почвенную среду, химические агенты затрагивают фитоценоз и минимальны в почвенном звене), все они вызывают и сходные изменения в экосистемах; в них, как правило, уменьшается либо сводится на нет доля хвойных пород при одновременном увеличении участия лиственных, идет омоложение возрастной структуры, нередки случаи снижения продуктивности. Гидрологические последствия таких изменений оценить не трудно исходя из рассмотренных выше закономерностей их влагооборота применительно к отдельным элементам структуры.

Более разнообразны последствия мероприятий по искусственному лесовосстановлению на вырубках. Конечная цель их — восстановление хвойных пород. Однако в ряде случаев не удается предотвратить разрастания лиственной поросли и кустарниковых растений. Большие изменения происходят в почвенном звене в результате раскорчевки, нарезки борозд, прохода тяжелой техники. Эти изменения часто не менее значительны, чем те, которые имеют место при лесоразработках. Они требуют дальнейшего изучения, а сами технологические приемы — научного обоснования с точки зрения воздействия на среду.

В целом рубки и другие антропогенные воздействия, имеющие следствием уничтожение древесной растительности или увеличение в ее составе фитоценозов из лиственных пород, сопровождаются уменьшением испарения, увеличением вероятности большего поступления влаги в водные источники.



Критерии оценки, пути и методы целенаправленного регулирувания гидрологической роли лесов

9.1. Существующие требования к лесам гидрологического значения, их недостатки

В литературе неоднократно предпринимались попытки определить элементы структуры насаждений, которые бы наиболее полно отвечали целям выполнения ими гидрологических функций. В соответствии с различиями концепций и терминологии, относящихся к гидрологической роли лесов, различаются и предлагаемые критерии ее оценки и методы регулирования. Многие предложения такого плана касаются только водорегулирующей роли лесов, другие направлены на поиски таких насаждений, в которых сочетался бы и водоохраный, и водорегулирующий эффект.

Д. Г. Смарагдов [154], пожалуй, впервые обратил внимание на необходимость четко различать водоохранное значение мест произрастания леса и водоохранное значение различных насаждений в каждом типе условий этих мест. Выполненные в дальнейшем лесогидрологические исследования касались в основном решения первой задачи, результатом чего явилась разработка ряда классификаций лесных площадей по их водоохранному значению [48, 104, 170, 172]. Согласно Смарагдову [154], гидрологическая роль насаждений связана прежде всего с регулированием весеннего половодья и проявляется в уменьшении поверхностного стока при одновременном усилении питания грунтовых вод. Сделан вывод, что эти функции не испытывают существенных колебаний под влиянием изменения полноты (в пределах ее значений от 0,5—0,6 и выше) и состава насаждений, хвойные породы имеют лишь некоторое преимущество перед лиственными и ель — перед сосной.

В. А. Троицкий [117] для водоохраных целей отдавал предпочтение хвойным и смешанным насаждениям, поскольку они в большей степени, чем лиственные, удлиняют период снеготаяния. Высказывалось предположение о меньшем испарении такими насаждениями. По возрасту Троицкий наиболее предпочтительными считал средневозрастные и спелые леса, так как их мощная подстилка и хорошо развитая корневая система способствуют задержанию и просачиванию влаги в почвогрунты, а стволы и кроны являются хорошей защитой от солнечных лучей и ветра. Перестойные насаждения, по его мнению, теряют гидрологическую

ценность. В качестве основного критерия он принимал водорегулирующую роль насаждений в зависимости от водопоглощающей способности почв и степени их увлажнения (избыточное, недостаточное, умеренное и т. п.). Им выделено восемь групп условий местопроизрастания и наиболее целесообразных для них насаждений. Густота насаждений при этом рассматривается как важнейший фактор регулирования влагооборота. Существенное внимание уделяется использованию пород с различной корневой системой и степени расхождения влаги на транспирацию. Однако конкретные породы при этом не называются, поскольку автор, по-видимому, не располагал данными по их биологии. В целом классификация не отличается последовательностью.

И. В. Тюрин [172] считал, что леса на равнинах выполняют в основном грунтоосушающую и климатоувлажняющую роль, т. е. расходуют повышенное по сравнению с другими видами угодий количество влаги. Из его высказываний можно заключить, что в равнинных условиях леса не имеют никакого преимущества перед безлесными площадями в питании грунтовых вод. Наиболее полно водоохранная роль лесов, по автору, проявляется в условиях хорошо выраженного рельефа (волнистый, холмистый бугристый и т. п.), где насаждения могут перехватывать поверхностный сток и переводит его в почвенно-грунтовое звено влагооборота.

Основные недостатки довольно четкой и детально разработанной классификации Тюрина [172] связаны с тем, что при оценке гидрологической роли автор исходит в основном из задачи борьбы с паводками и не касается вопросов суммарного стока. Водоохранные леса приурочиваются только к площадям, где возможен перехват поверхностного стока. Наибольшее водоохранное значение, согласно Тюрину, имеют лиственные и смешанные леса максимальной продуктивности, многоярусного строения и с высокой сомкнутостью кроны. Темнохвойные леса рассматриваются как неблагоприятные в водоохранном отношении, поскольку под ними сильно промерзает почва и много влаги уходит на восполнение ее дефицита в грунтах, не достигая подземных вод. На первом месте в этом отношении стоят лиственные леса.

Противоречивые требования к лесам предъявляет А. А. Молчанов (см. п. 1.3). В одних публикациях [103, 104] он рассматривает их как системы, в которых должны сочетаться высокая продуктивность, интенсивное воздействие на влагооборот и экономное расходование влаги (слабое испарение), в других [108] — присоединяется к тем исследователям, которые считают, что повышенное расходование влаги лесными фитоценозами является закономерным явлением и показателем наиболее рационального использования водных ресурсов [48, 89].

Для условий Урала попытку классифицировать леса по их водоохранно-защитной роли предпринял В. Н. Данилик [42]. В качестве критерия он принял коэффициент поверхностного стока,

считая, что где он меньше, там выше водоохранно-защитные свойства насаждений. С этой точки зрения, по автору, наиболее целесообразны еловые насаждения.

Исследователи, работавшие в равнинных лесах южной тайги (Костромская область), пришли к выводу [39], что леса должны выполнять противозерозионно-аккумулятивную функцию и вместе с тем способствовать снегонакоплению. По их мнению, этим требованиям наиболее полно отвечают хвойные с примесью лиственных пород молодняки и средневозрастные насаждения, а также спелые, вертикально сомкнутые разновозрастные сосново-еловые, сосновые, березово-еловые и березовые со вторым ярусом ели и подростом, с развитыми подлеском и подстилкой. Из этого следует, что практически все насаждения отвечают поставленным задачам. Второй недостаток — сужение водоохранно-защитных функций (тем более применительно к равнинным лесам) до противозерозионно-аккумулятивных.

П. Н. Матвеев [94] в результате исследований в горных лесах Киргизии пришел к выводу, что наилучшими в водоохранном отношении являются среднесомкнутые еловые насаждения. В них больше снега и продолжительнее период снеготаяния. К числу важнейших задач водоохранных насаждений автор относит экономное расходование влаги и увеличение стока.

По результатам исследований, выполненных в лесах Литовской ССР [122], сделан вывод о том, что в гидрологическом отношении наиболее благоприятны лиственные леса: они экономно расходуют влагу, повышают влагоемкость почв, наиболее полно выполняют функции очистки вод от загрязнения.

Приведенный краткий обзор свидетельствует, что имеющиеся в литературе высказывания позволяют сделать практически любой вывод о наиболее целесообразной структуре водоохранно-защитных лесов. Такой итог и был подведен В. В. Рахмановым. Он считает, что нет каких-либо существенных отличий в гидрологической роли отдельных насаждений (в том числе и по влиянию на сток) и поэтому на водосборах надо выращивать такие леса, которые являются хозяйственно целесообразными в других отношениях. Если учесть другой вывод Рахманова о том, что положительное влияние леса не имеет исключения и находится в прямой зависимости от лесистости территорий, то сама проблема взаимоотношения леса и воды упрощается до предела: где бы леса не создавались, они будут только положительны в гидрологическом отношении и во всех случаях будут способствовать только улучшению гидрологического режима.

Надо сказать, что такая упрощенная оценка лесов получает широкое признание, находит отражение в проектных разработках и их осуществлении, что в свою очередь может приводить и приводит к существенным ошибкам и просчетам. Подкрепим это конкретными примерами.

В настоящее время осуществляется проект облесения горных склонов в районе Кавказских минеральных вод как средство увеличения питания атмосферной влаги минеральных источников и повышения этим путем их запасов. Подобные работы ведутся и в других районах. Анализ влагооборота и факторов, его обуславливающих, свидетельствует, однако, что проводимые мероприятия принесут, скорее, противоположный, чем ожидаемый результат. Дело в том, что основное питание вод минеральных источников осуществляется за счет поверхностного стока через карст и разломы в скальных породах путем инфлюкции. Лес как мощная система перехватывает поверхностный сток, переводит его в почву и в значительной мере включает в биологическое звено влагооборота, исключая, таким образом, из дебита минеральных источников.

Второй пример подобного плана связан с созданием лесных насаждений в бассейне грязевого озера Тамбукан в районе г. Пятигорска. Исходя из концепции о всеобщей положительной гидрологической роли лесов, облесительные работы здесь также ведутся с целью увеличения поступления воды в источник. На самом же деле и в этом случае очень вероятен противоположный эффект. Дело в том, что существование самого озера как грязевого также связано с поверхностным стоком и, кроме того, с приносимыми им химическими и биологическими продуктами. При облесении влага осадков закрепляется в самих биогеоценозах и в значительной мере расходуется на испарение. Продукты эрозии включаются в биологический круговорот суши. Другими словами, и в данном случае действительно огромные возможности лесов по преобразованию водного баланса направляются в противоположном ожидаемому направлении.

Наряду с преувеличением гидрологической роли лесов в целом имеет место чрезмерное преувеличение отдельных их функций в ущерб остальным. Так, во многих предложениях в качестве основного критерия гидрологической (водоохранно-защитной) роли лесов выступает перехват поверхностного стока. Не единичны высказывания, что не только поверхностный сток, но и повышенное снегонакопление следует рассматривать как отрицательный фактор водоохранно-защитной роли лесов. С этой точки зрения односторонне отрицательно оценивается гидрологическая роль лиственных насаждений, поскольку в них наряду с повышенным снегонакоплением более интенсивны процессы снеготаяния, что якобы увеличивает опасность паводков, эрозии почв и других отрицательных явлений [41, 98, 110, 125, 127, 128].

Приведенный выше анализ элементов и факторов влагооборота в лесах свидетельствует, однако, что для таких выводов нет оснований. Лиственные леса, отличаясь повышенным снегонакоплением, имеют преимущество не только по влиянию на сток, но и в отношении перевода влаги в грунтовую составляющую стока.

Таблица 9.1

Весенне-летний сток (поверхностный в сумме с почвенным) с элементарных водосборов, представленных насаждениями различного состава [198]
Средний Урал, Староуткинский лесхоз

Средний состав насаждений на водосборе	Доля лиственных пород в насаждениях, %	Площадь водосбора, га	Коэффициент стока по годам				
			1969	1970	1971	1972	средний
4Е1П5Б	50	11,13	0,28	0,14	0,08	0,08	0,14
6ЕЗП1Лп	10	10,98	0,26	0,49	0,26	0,10	0,28
7Е2П1Б	10	5,43	—	0,29	0,29	0,19	0,26

Этому способствует меньшее промерзание почв и более благоприятные их водно-физические свойства (см. главу 5). Надо отметить, что и сами авторы, разделяющие мнение о неблагоприятных водорегулирующих свойствах лиственных лесов [98], приводят данные, которые не подтверждают это положение. Сток, по их исследованиям, возрастает с увеличением в составе насаждений не лиственных, а хвойных пород. На водосборе, где на долю лиственных пород приходилось 50 % состава, коэффициент стока за четыре года наблюдений составил 0,14 (колебания по годам 0,08—0,28), а в насаждениях, где участие лиственных пород не выходило за пределы 10 %, средний коэффициент стока был равен 0,26—0,38 (колебания по годам 0,10—0,49) (табл. 9.1).

Нет также оснований рассматривать только в отрицательном плане насаждения или мероприятия и в том случае, если под их влиянием в какой-то мере увеличивается поверхностная составляющая стока. На наш взгляд, положительно следует оценивать любое мероприятие или насаждение, которые обуславливают увеличение стока, в том числе и за счет поверхностной составляющей, если это увеличение не вызовет каких-либо отрицательных последствий. Ясно, что при таком подходе нельзя каждое, даже самое минимальное, увеличение поверхностного стока рассматривать как отрицательное. Тем более нет оснований судить о гидрологической (водоохранно-защитной) роли только по снегонакоплению.

Мнение о слабой водопоглощающей способности лиственных лесов находится в противоречии с их использованием в качестве водопоглощающих барьеров на пути стока. Различного вида полосы, в том числе и узкоспециализированные стокоперехватывающие, создаются преимущественно из лиственных древесных пород. В этих случаях функция лесов заключается в поглощении не только «своей», но и запредельной влаги. Все это свидетельствует, что нет оснований ограничивать влагопоглощающую роль лесов только какими-то значениями, не выходящими за пределы накопления ее в хвойных лесах.

Положение о благоприятном влиянии лиственных лесов на сток в настоящее время разделяется многими исследователями (см. п. 6.4.1). Было бы, однако, неправильным на этом основании рекомендовать во всех случаях, когда требуется увеличить сток, создание и выращивание только лиственных насаждений. Это же относится и к другим элементам структуры насаждений.

Наряду с гидрологическими критериями при определении целесообразной структуры насаждений нельзя не учитывать требований, предъявляемых им с лесоводственной и других точек зрения (рекреационное использование, устойчивость к неблагоприятным, в том числе антропогенным, факторам среды и т. п.). Гидрологические функции должны являться составной частью комплексного использования лесных экосистем и дифференцированно оцениваться в зависимости от их структуры и применительно к конкретно решаемым задачам регулирования влагооборота. Рассмотрим в связи с этим материалы о наиболее целесообразной лесоводственно-гидрологической (водоохранной в широком смысле слова) структуре насаждений.

9.2. Дифференцированные критерии гидрологической роли

Анализ закономерностей влагооборота свидетельствует об обоснованности и необходимости дифференцированной оценки фитоценозов и водосборов, поскольку она в большой мере зависит от структуры фитоценозов, почвенно-грунтовых условий, влагообеспеченности почв и растений и других факторов. Такие различия не всегда однозначны и нередко настолько существенны, что делают беспредметным обезличенное сравнение влагооборота и тем более отдельных его элементов, в пределах лесов, открытых пространств и других угодий [21, 24, 28].

В настоящее время, исходя из особенностей влагооборота лесов и предъявляемых к ним лесоводственных требований, можно в качестве итоговых сформулировать следующие критерии для оценки и регулирования различных гидрологических функций насаждений через элементы их структуры [99].

9.2.1. Породный состав насаждений

Водорегулирующие функции лесов получили достаточно разностороннюю оценку в гидрологической литературе, поэтому при обосновании породного состава лесов первоочередное значение мы уделяем усилению их влияния на объем суммарного стока (количественная функция водоохранной роли).

Насаждения из лиственных пород или с их значительным участием практически по всем как приходным, так и расходным эле-

ментам водного баланса имеют преимущественно перед хвойными древостоями. Исключение среди последних представляют насаждения лиственницы, водный режим которых складывается по закономерностям, близким к лиственным насаждениям. В то же время хвойные и смешанные леса наиболее полно выполняют задачи перехвата осадков, уменьшения риска заболачивания почв и другие функции. Эти особенности влагооборота для отдельных древесных пород и формируемых ими насаждений позволяют целенаправленно изменять отдельные проявления их гидрологической роли.

Использование положительных сторон влагооборота фитоценозов из мягколиственных пород на современном этапе оправдано только тогда, когда средообразующие и средоохранные функции являются определяющими в их хозяйственной ценности. Это относится прежде всего к районам с повышенными рекреационными нагрузками или с интенсивными промышленными выбросами. Выращивание чисто лиственных насаждений, без сомнения, предпочтительно в районах, характеризующихся острым дефицитом воды, и в зонах санитарной защиты водных объектов, если другие пути решения этих задач менее рентабельны.

Более обоснована возможность широкого использования в водоохраных и защитных целях смешанных хвойно-лиственных насаждений. Хвойные породы, кроме сырьевого значения, благоприятнее в отношении ряда санитарно-гигиенических функций (антимикробная активность, шумозащитная способность и др.). Задача сводится к отысканию таких сочетаний смешения, которые отвечали бы как охране вод, так и другим целям. Поскольку совмещение максимального проявления всех функций трудно осуществимо, оптимальными можно признать те варианты насаждений, которые дают суммарный максимальный эффект.

Выращивание смешанных насаждений отвечает лесоводственным требованиям. Еще Г. Ф. Морозов отдавал им предпочтение в сравнении с чистыми хвойными насаждениями. Смешанные насаждения более продуктивны, способствуют повышению плодородия почв, устойчивее к вредителям, ветровалу и другим неблагоприятным факторам. Эти положения находят все большее подтверждение в современный период, когда на огромных площадях наблюдается распад созданных человеком монокультур из хвойных пород.

При определении оптимального лесоводственного состава насаждений приходится решать по крайней мере две задачи. С одной стороны необходимо считаться с тем, что участие лиственных видов в составе насаждений желательно с биологической точки зрения, с другой — народное хозяйство заинтересовано в получении древесины хвойных пород и уменьшении площадей лиственных насаждений. Имеются данные, которые свидетельствуют о возможности сочетать названные задачи. Показано, что насаждения с подавляющим преобладанием в их составе лиственных

Таблица 9.2

Оптимальные состав и густота насаждений
в зависимости от высоты главной породы (ели) [61]

Высота ели, м	Участие в составе древостоя, %		Число стволов ели на 1 га
	ель	лиственные породы	
3.	20	80	2000
6	40	60	2000
9	60	40	1800
12	80	20	1500
15	100	единичные деревья	1200
18	100	0	1000
21	100	0	850

пород могут быть переведены в чистые хвойные древостои или насаждения, в которых преобладание переходит к хвойным, хозяйственно ценным породам. Один из вариантов такой структуры, предложенный Н. И. Казимировым [61] представлен в табл. 9.2, из которой видно, что на начальных этапах роста насаждений в них допустимо участие до 80 % лиственных пород. В дальнейшем это участие постепенно уменьшается посредством периодически повторяемых рубок ухода и к 50—60-летнему возрасту насаждений переводится в чистое еловое. Такая структура, как отмечалось, удачно сочетает задачи получения древесины хвойных деревьев и выполнения насаждениями гидрологических функций.

При оценке водоохранной роли смешанных насаждений можно исходить из положения, что воздействие каждой породы пропорционально доле ее участия в составе. Другими словами, если чистые насаждения из мягколиственных пород расходуют на суммарное испарение на 70 мм влаги меньше, чем темнохвойные леса, соответственно обеспечивая равнозначное увеличение стока, то каждая единица участия лиственных пород обеспечивает увеличение стока примерно на 7 мм, или 70 м³ с 1 га. Например, в подмосковном лесу состава 6ЕЗБ10с годовой сток должен быть больше примерно на 28 мм по сравнению со стоком из леса состава 10Е.

9.2.2. Возраст и густота насаждений

В хвойных лесах четко выражены изменения их гидрологической роли в зависимости от возраста и густоты насаждений. Обычно насаждения начинают удовлетворительно выполнять водоохранные функции к 10—15-летнему возрасту.

После смыкания крон насаждений в них наблюдаются постепенное усиление водорегулирующих (уменьшение поверхностного

стока) и снижение водоохраных (уменьшение суммарного стока) свойств. Такие проявления достигают максимума в период наибольшего роста древостоев, сопровождающегося накоплением в них больших запасов органической массы.

В спелом и перестойном возрасте имеются условия для несколько меньшего испарения вследствие изреживания полога при сохранении им защитной роли. Однако при развитии злаково-осокового покрова, что обычно имеет место на богатых почвах, положительные качества перестойных древостоев резко снижаются в результате увеличения подпологового испарения.

Для районов недостаточного увлажнения (степные, лесостепные) характерны специфические закономерности водного баланса хвойных насаждений, обуславливаемые их интенсивным ростом в молодом возрасте и высоким накоплением органической массы. В сосняках этот период приходится не на 30—40-летний, как в лесной зоне, а на 10—12-летний возраст, когда наблюдается максимальный расход влаги на испарение при минимуме питания грунтовых вод [17, 25].

Уменьшение густоты и сомкнутости крон насаждений (особенно рубками ухода) положительно сказывается на объеме стока до тех пределов, пока фитоценоз сохраняется как система. Между сомкнутостью крон и степенью воздействия насаждений на факторы подпологовой среды не существует прямо пропорциональной зависимости. Данная закономерность имеет существенное значение для регулирования гидрологической роли насаждений через изменение их густоты, в том числе и посредством несплошных рубок. С этой точки зрения даже в 20-летних молодняках допустимо снижение сомкнутости крон до 0,5—0,6, если не наблюдается других отрицательных явлений (распад древостоя, интенсивное внедрение под полог травянистых растений и др).

Важная особенность насаждений из лиственных пород — проявление гидрологической роли с более раннего возраста и значительно меньшая реакция на его изменение, как и на густоту. Это связано с отсутствием существенных различий в проникновении осадков под полог (особенно холодного периода года) в зависимости от названных элементов структуры.

Современные тенденции создания и выращивания разреженных насаждений, в том числе и за счет создания различного рода коридоров, отвечает задачам рационального использования водных ресурсов, в том числе уменьшению непродуктивного испарения и повышению стока.

9.2.3. Продуктивность насаждений

Повышение продуктивности фитоценозов не вызывает адекватного увеличения расхода влаги на транспирацию и суммарное испарение. Расходование влаги высокопродуктивными фитоценозами

заметно возрастает только в тех случаях, когда имеется возможность близкого к полному удовлетворению потребностей растений во влаге, например там, где грунтовые воды доступны корням. В местообитаниях с ограниченным увлажнением сказывается регулирующая роль влагообеспеченности почв, и расход влаги насаждениями неодинаковой продуктивности различается несущественно.

Представление о том, что средоохранная и средообразующая роль фитоценозов находится в прямой зависимости от их продуктивности, безоговорочно применимо практически ко всем ее проявлениям (санитарно-гигиеническая, кислородопroduцирующая, ассимиляционная, почвозащитная, почвотрансформирующая и др.). Из гидрологических функций такая зависимость характерна для водорегулирующей роли (влияние на перераспределение стока). И лишь количественная сторона водоохранной роли (влияние на объем суммарного стока) не различается существенно в зависимости от продуктивности насаждений (в условиях дефицита влаги в почве) или находится в обратной с ней связи, т. е. увеличение продуктивности древостоев снижает сток в условиях неограниченного увлажнения. Это единственное исключение из правила о прямо пропорциональной зависимости средообразующих функций фитоценозов от их продуктивности. Поэтому на значительных площадях повышение продуктивности лесов не вызывает существенных сдвигов в их влагообороте. В то же время в условиях избыточного увлажнения повышение продуктивности имеет мелиорирующее значение вследствие расходования влаги соответственно потенциальным потребностям. В местоположениях с доступными для корней грунтовыми водами возможны неоправданно высокие расходы воды на испарение, особенно в тех случаях, когда фитоценозы произрастают в виде полос, куртин (колковые леса, насаждения по берегам водоемов). Здесь, благодаря «краевому эффекту», эвапотранспирация может существенно превышать возможное испарение со свободной водной поверхности.

9.2.4. Лесные и нелесные площади

Усиление гидрологической роли лесов возможно не только путем регулирования их таксационной структуры, но и с помощью рационального размещения их на площади (пространственная структура) с учетом элементов водосборов, рельефа, условий местопроизрастания и целевого назначения насаждений.

Существенные отличия факторов и элементов влагооборота свойственны небольшим открытым пространствам среди леса (поляны, вырубки, просеки, технологические коридоры, редины, гари, пустыри и т. п.), водный режим которых формируется под влиянием окружающих лесных насаждений.

Закономерно значительное уменьшение испарения со свежих вырубок при соответствующем увеличении стока. По мере уменьшения размеров вырубок, как и других не занятых древостоем пространств, окруженных лесом, экономия влаги в их пределах существенно возрастает как из-за практически полной аккумуляции осадков, так и в результате снижения испарения вплоть до значений, близких к подпологовым.

Таким образом, влагооборот лесных водосборов существенно различается в зависимости от лесоводственной и пространственной структуры лесов, изменяя которую хозяйственными приемами, можно целенаправленно усилить положительные и смягчить отрицательные проявления их гидрологической роли.

9.3. Мероприятия по повышению гидрологической роли лесов

Поскольку воздействия лесов на влагооборот многообразны, а нередко и взаимоисключающи, одновременное усиление всех проявлений их гидрологической роли практически невозможно. Насаждений, которые бы сочетали в полной мере положительное воздействие на объем стока и усиление влагооборота в атмосфере, накопление подземных вод и борьбу с заболачиванием, как и другие подобные аспекты гидрологического влияния, в природе не существует. В этой связи *планирование мероприятий по повышению гидрологической роли лесов должно исходить из конкретных задач, которые в свою очередь необходимо решать также посредством конкретных мероприятий.*

Наиболее полно задачи использования и повышения гидрологической роли лесов могут решаться при учете местоположения отдельных насаждений в пределах границ водосборов. Целесообразно выделять несколько рангов водосборов. Объектом высшего ранга может быть водосбор реки первого порядка или часть его, ограниченная ландшафтными, хозяйственными или другими факторами. Применительно к этим водосборам определяются общие задачи ведения многоцелевого (лесного, водного и т. п.) хозяйства. Конкретное осуществление планируемых мероприятий требует привязки их к элементарным водосборам в пределах отдельных хозяйств (лесничества, лесхозы). Естественно, что такая постановка задач требует более тесной координации действий по учету интересов лесного и водного хозяйства. К сожалению, в настоящее время водоохранные мероприятия в лесах планируются только органами лесного хозяйства и поэтому не могут всесторонне учитывать интересы водного хозяйства. Только в лесах, выделяемых в категорию водоохраных, основные методы ведения хозяйства подчинены сохранению или повышению гидрологической роли насаждений. Однако и в данном случае эти меропри-

ятия слишком общи и поэтому, как отмечалось выше, не могут решать конкретные, наиболее актуальные для данного региона задачи. Следовательно, более полное использование гидрологической роли лесов требует усиления межотраслевого подхода к планированию и осуществлению мероприятий, проводимых в лесных экосистемах. В этом плане целесообразно шире использовать опыт зарубежных стран, например ЧССР, где интересы лесного и водного хозяйства решаются в рамках одного министерства.

Положительный опыт комплексного подхода к использованию лесов для целей сельского, лесного, водного и других отраслей хозяйства имеется на Украине. Здесь в течение ряда лет проводятся исследования и обоснованы мероприятия по охране вод конкретных речных бассейнов. Совместными усилиями Министерства лесного хозяйства УССР и Министерства водного хозяйства СССР решаются задачи по обоснованию целесообразной лесистости и размещению лесов (в основном полосных) в пределах водосборов для интенсификации положительных сторон влагооборота (увеличение осадков, усиление питания грунтовых вод) [100, 102]. Основное внимание уделяется пространственной структуре лесов (размещение по элементам водосборов). Что касается лесоводственной структуры (породный состав, густота и др.), то она подчинена в основном задаче создания устойчивых фитоценозов, что надо считать оправданным применительно к данному региону.

9.3.1. Рекомендации по дифференцированной оценке и повышению гидрологической роли лесных насаждений

Рекомендуется [99] следующая структура насаждений и комплекс мероприятий для решения конкретных целевых задач лесного и водного хозяйства применительно к водосборным бассейнам и условиям местопроизрастания *центральных районов*¹ европейской части страны:

1) для максимального проявления количественной функции водоохранного эффекта (увеличение объемов стока) при удовлетворительном выполнении водорегулирующей (перевод поверхностного стока в грунтовый) и почвозащитной (предотвращение эрозии) функций: лиственные насаждения или насаждения с преобладанием лиственных пород, средне- и высокополнотные всех возрастов и продуктивности. Размещение на всех элементах водосборов. Лесохозяйственные мероприятия — рубка ухода средней и слабой интенсивности, санитарные рубки. Такая структура отвечает также целям сочетания задач охраны вод и повышения устойчивости насаждений в условиях высоких рекреационных нагрузок, повышенного загрязнения атмосферы и отрицательного

¹ Курсив редактора.

воздействия других антропогенных факторов, исключая возможность выращивания хвойных пород (кроме лиственницы);

2) для максимального проявления водорегулирующего эффекта при удовлетворительном выполнении водоохранной (количественной) и почвозащитной функций: смешанные хвойно-лиственные насаждения сложного строения с кустарниковым ярусом, высокополнотные и высокопродуктивные всех возрастов (предпочтительны насаждения в фазе кульминации роста и средневозрастные). Размещение — на всех элементах водосборов при необходимости максимально полного перевода поверхностного стока в грунтовый, в том числе и с целью очистки от загрязняющих веществ, или по путям концентрации стока, поступающего с других элементов водосборов и окружающих безлесных площадей (водопоглощающие полосы, ложбины, тальвеги, днища балок, оврагов, замкнутые понижения и т. п.). Рубки ухода слабой интенсивности, санитарные рубки;

3) для сочетания задач увеличения объема стока (количественная функция водоохранной роли) и выращивания древесины при удовлетворительном выполнении водорегулирующей роли и качественной стороны водоохранной (очистка от загрязнения):

— смешанные с преобладанием лиственных пород насаждения в молодом возрасте при постепенном снижении уходами **участия** лиственных пород к возрасту рубки до 2 единиц и менее, среднеполнотные всех возрастов и продуктивности (предпочтительны молодняки до фазы кульминации прироста, приспевающие и спелые насаждения). Размещение при пологом рельефе — на всех элементах водосборов, при выраженном рельефе — в верхней (2/3) части склонов. Рубки ухода средней интенсивности, санитарные рубки;

— хвойные или с небольшим участием лиственных пород насаждения нелимитируемой продуктивности всех возрастов (предпочтительны молодняки до фазы кульминации прироста, приспевающие, спелые насаждения), поддерживаемые в среднесомкнутом состоянии периодическими рубками ухода средней и высокой интенсивности, санитарные рубки;

— чередование 20—50-метровых полос хвойных и лиственных насаждений при размещении их поперек склонов; возраст и продуктивность не лимитируются, густота средняя, для лиственных пород допустима высокая. Рубки ухода средней и высокой интенсивности в хвойных, низкой и средней — в лиственных, санитарные рубки;

4) для борьбы с заболачиванием (гидромелиорирующие насаждения): — темнохвойные, высокой сомкнутости и предельно возможной высокой продуктивности (предпочтительны насаждения периода кульминации роста). Все элементы водосборов, склонные к заболачиванию. Рубки ухода умеренной интенсивности, санитарные рубки;

5) для экономного расходования грунтовых вод в зонах возможного их десукционного истощения:— сосняки и насаждения из других древесных и кустарниковых пород, экономно расходующих влагу, средней густоты (продуктивность и возраст не лимитируются). Понижения с легкими почвами преимущественно в районах недостаточного увлажнения; берега рек и водоемов — повсеместно. Рубки ухода средней интенсивности (в жердняках целесообразны рубки высокой интенсивности), санитарные рубки.

Вырубки благоприятны по влиянию на объем стока. Однако свежие вырубки или вырубки на начальных стадиях возобновления древесных пород оцениваются низким проявлением водорегулирующих и почвозащитных функций. По мере зарастания вырубков водорегулирующая и почвозащитная роль их повышается при некотором уменьшении объемов стока. В создаваемых культурах или возобновившихся естественным путем насаждениях рубки ухода и другие мероприятия проводятся в соответствии с целями хозяйства.

Для всех районов и категорий насаждений предпочтительны несплошные рубки главного пользования (постепенные, выборочные) или сплошные рубки узкими лесосеками при расположении последних вдоль горизонталей, начиная с верхних частей склонов. При относительно выположенном рельефе и небольшой площади водосборов допустимо одновременное проведение рубок на всех склонах, начиная со склонов южной ориентации, чтобы рассредоточить снеготаяние и сток во времени. Рубки на северных склонах целесообразны только после восстановления и смыкания вырубленных насаждений на склонах противоположной ориентации.

Рекомендуемая структура насаждений и мероприятия в них, кроме водоохранных лесов первой группы, целесообразны также в лесах других групп при необходимости решения задач повышения гидрологической роли насаждений или отдельных ее функций на водосборах различного ранга.

9.3.2. Классификация лесных площадей и насаждений по их гидрологической роли

Выше уже отмечалось наличие ряда классификаций лесных площадей по их гидрологической роли. Оценка насаждений в этих классификациях либо отсутствует, либо является лишь сопутствующей, не дифференцированной по функциям. Критерии таких классификаций не конкретны, часто противоречивы. Они не находят применения при лесоустроительном или других видах проектирования и осуществления конкретных мероприятий.

Данные, которыми мы располагаем, позволяют подойти к решению задачи классификации не только лесных площадей, но и насаждений по их гидрологической роли. Применительно к каж-

Характеристика площадей по местоположению	Элементы водосборов		Механический состав почвогрунтов	Преобладающий вид гидрологической роли насаждений	
	название	шифр			
Пойменные	Меженные берега и прирусловые кромки поймы	ПМжБ	Различные	Берегозащитная	
	Песчаные гривы и косы поймы	ППсГ	Песчаные	Пескоукрепительная	
	Ровные места поймы (центральная, при-террасная)	ПРвМ	От глинистых до песчаных	Почвозащитная	
	Заболоченные понижения поймы	ПЗбП	То же	Водорегулирующая, грунтоосушительная	
	Внепойменные (водораздельные)	Крутые склоны вдоль всех звеньев гидрографической сети, пути концентрации стока	ВКрС	»	Склонозащитная, поглощающая, в том числе за пределами пространств
		Покатые и пологие склоны на всех элементах водосбора	ВПкС	Глинистые, суглинистые	Водоохранная (увеличение стока), водорегулирующая
		Ровные места водосборов	ВРвМ	То же	»
		Замкнутые понижения или понижения со слабым стоком	ВЗмП	»	Водоохранная (увеличение стока)
		Песчаные пространства (в основном надпойменные речные террасы) с недоступными грунтовыми водами	ВПсП (-ГВ)	Песчаные, супесчаные	Грунтоосушительная, дренирующая
		То же с доступными корням грунтовыми водами	ВПсП (+ГВ)	То же	Водоохранная, пескоукрепительная

дому типу площади выделяется преобладающая функция гидрологической роли, и в ее пределах высшую оценку (пять баллов) получает тот фитоценоз, который наиболее полно выполняет эту функцию. Оценки остальных насаждений отражают их гидрологическое соответствие преобладающей функции. В качестве классификации площадей по гидрологической роли использована

Класс гидрологической роли насаждений							Мероприятия по усилению преобладающих гидрологических функций насаждений
ельники, лиственничники	сосняки	лиственничники	лиственные насаждения	хвойно-лиственные	кустарники	сложные хвойнолиственные	
1	2	2	3	2	5	3	Предпочтительное облесение ивняками и другими вегетативно возобновляющимися растениями Повышение продуктивности местообитаний, облесение В соответствии с целями хозяйства
	4				5		
Относительно полно все типы растительности							
5	4	4	4	4—5	2—3	5	Перевод в сложные насаждения
3	4	4	4	4—5	3	5	То же
2	3	4	4	3	3	2	Изреживание хвойных, увеличение доли лиственных
3	4	4	4	3	4	5	Перевод в сложные насаждения
2	3	4	5	3	3	2	Изреживание хвойных, увеличение доли лиственных насаждений
5	4	3	2	4	1	5	Увеличение доли хвойных и сложных насаждений
2	5	4	5	3	3	2	Чередование насаждений и открытых пространств, изреживание хвойных насаждений
5	4	3	2	4	1	5	Увеличение доли хвойных и сложных насаждений
2	3	3	4	3	5	1	Изреживание хвойных насаждений

схема И. В. Тюрина [172] как наиболее полная и последовательная (табл. 9.3).

Другие элементы структуры насаждений (возраст, густота, продуктивность, строение) учитываются через рекомендуемые мероприятия. Нам представляется, что такая классификация достаточно проста для применения и может успешно использоваться

в процессе лесоустройства или при других видах проектирования. Для этого достаточно ознакомиться с основными положениями относительно гидрологической роли лесов и ввести в существующие формы таксационных описаний название элемента водосбора (можно номером или шифром). При поглощении стока с сопредельных площадей отметка делается знаком «+». Балльная оценка желательна в поле с последующим уточнением при камеральной обработке материалов, но она может проставляться и только при камеральной обработке материалов, так как для этого в описании будут содержаться все необходимые данные.

Проектирование целесообразно проводить, привязываясь к конкретным водосборам различного ранга. В зависимости от целей и степени детализации работ границы их могут выделяться на планах (схемах) лесонасаждений либо отражаться в пояснительных записках к лесоустроительному проекту.

Подобные работы (проектирование, исследование) важно начинать с определения тех водохозяйственных задач, которые актуальны для данного водосбора или региона (увеличение стока, уменьшение поверхностной составляющей из леса, перехват стока, поступающего с полей, повышение качества вод и т. п.). В качестве объектов могут выступать и водосборы рек различного ранга, и санитарные зоны охраны водных источников, и запретные полосы вдоль рек, и водосборы водохранилищ, и другие территориальные подразделения. Более узкая задача (например, на водосборе малой реки) должна соподчиняться с задачей более крупного ранга (например, с водосбором крупной реки или ее части). Так, для Волги в целом в качестве генеральных могут выступать задачи как увеличения суммарного стока, так и повышения качества воды. Для более мелких водосборов (вплоть до элементарных) эти задачи могут конкретизироваться, а в отдельных случаях иметь и противоположную направленность (повышение испарения как средства борьбы с заболачиванием; усиление инфильтрационных свойств как средства перехвата стока, поступающего с сопредельных площадей, и т. п.).

Нам представляется удачным и весьма интересным «водосборный» принцип проектирования и осуществления комплекса водоохраных мероприятий, предложенный чехословацкими исследователями применительно к бассейнам горных рек, питающих водохранилища питьевой водой [216, 217]. Этим проектом предусматривается весь комплекс мероприятий, которые целесообразны для сочетания задач лесного и водного хозяйства (дорожная сеть, инженерные гидротехнические сооружения, способы и методы рубок и т. п.). Подсчитано, что водоохраные функции могут использоваться без ограничения лесопользования, но при условии дополнительных затрат на ведение хозяйства и осуществление названных выше мероприятий.

К сожалению, в настоящее время водоохраным мероприятиям

на водосборах, используемых в лесном и сельском хозяйстве, уделяется крайне недостаточное внимание. Те же мероприятия, которые проводятся (например, лесным хозяйством), характеризуются эпизодичностью, не всегда научно обоснованы и не регламентированы определенными положениями. Сложилось довольно *парадоксальное положение, при котором основные усилия научных, проектных и производственных организаций направлены на решение гидрологических проблем не на водосборах, а непосредственно в реках, водоемах и других конечных звеньях концентрации вод.* Однако мероприятия здесь направлены не на профилактику, а на предотвращение последствий и поэтому не всегда достигают цели или требуют неоправданно больших затрат. Такие же замечания можно высказать и относительно решения проблемы истощения водных ресурсов. Усилия концентрируются на использовании имеющихся запасов вод в источниках, включая и межрегиональную переброску вод, при минимальном внимании к «водосборной гидрологии», с помощью которой можно решать не менее масштабные задачи с неизмеримо меньшими затратами.

9.3.3. Экономическая оценка гидрологической роли лесов

Вопросы экономической оценки гидрологической роли, как и других средоохранных и средообразующих функций лесов, начали разрабатываться сравнительно недавно. Методические подходы к такой оценке наиболее обстоятельно рассмотрены И. В. Туркевичем [171]. Он предложил оценивать водорегулирующую роль леса по дифференциальной ренте R в рублях, используя формулу

$$R = Vr/E, \quad (9.1)$$

где V — объем зарегулированного стока с 1 га леса, м³; r — водная дифференциальная рента р./м³; E — коэффициент фактора времени.

Формула дает возможность определять те затраты, которые приходилось бы нести в случае потери лесными площадями способности воздействовать на увеличение грунтового стока.

Такую оценку Туркевич выполнил для ряда бассейнов рек Украины. В расчетах использованы показатели приращения объема грунтового стока под влиянием леса (относительно поля), полученные А. И. Миховичем, путем сравнения его значений в бассейнах различной лесистости. Другие попытки оценок влияния лесов на сток также ограничиваются учетом только грунтовой составляющей, поверхностный сток в расчет не принимается, он обычно рассматривается в отрицательном плане. Другими словами, оценивается только составляющая водорегулирующей роли лесов.

При оценке гидрологической роли лесов мы исходим не только из их водорегулирующей функции, но и из эффекта воздействия на суммарный сток и качество воды (водоохранная количественная и качественная функции). Такой подход при наличии количественных данных по влагообороту в насаждениях в зависимости от их состава, возраста, густоты и других элементов структуры позволяет оценивать гидрологическую роль дифференцированно, применительно к конкретным объектам и решаемым задачам, определять возможный экономический эффект от различных видов воздействия на леса как целенаправленного, так и непреднамеренного [99].

В оценке, кроме объема поверхностного и подземного стока, находят отражение затраты на очистку вод, а также на зарегулирование стока и исключение эрозионных явлений, которые имели бы место при отсутствии леса. Для составляющей грунтового стока эти затраты практически исключаются, а для поверхностного они принимаются равными расчетным для конкретных районов [171].

Поверхностный сток с лесных водосборов также нельзя приравнивать к полевому. Он поступает более рассредоточенно и практически не обуславливает эрозионных явлений, характеризуется хорошим качественным составом. Содержание химических веществ, взвешенных частиц и микроорганизмов в нем обычно не выходит за пределы стандартов на питьевую воду [28]. Только в отдельных случаях, например в рекреационных лесах или в лесах, подвергающихся интенсивному промышленному загрязнению, по-видимому, не исключено его существенное отклонение от стандарта. Поэтому затраты на очистку поверхностного стока, из лесов мы принимаем равными 50 % их значений для речных бассейнов.

С учетом изложенного, формула (9.1) представляется нами в следующих вариантах:

для оценки влияния леса на объем грунтового стока (водорегулирующая роль)

$$R_{гр} = (V_{л}r - V_{п}r)/E; \quad (9.2)$$

то же на поверхностный сток (объем, качество) и предотвращение эрозионных явлений

$$R_{пв} = [(V'_{п}r + V'_{п}k + f) - (V'_{л}r + V_{л} \cdot 0,5k)]/E. \quad (9.3)$$

Суммарное влияние (гидрологическая или водоохранно-защитная роль) оценивается по формуле

$$R_{\Sigma} = R_{гр} + R_{пв};$$

здесь $V_{л}$ — объем грунтового стока в лесу, м³/га; $V_{п}$ — объем грунтового стока в поле, м³/га; $V'_{л}$ — объем поверхностного стока в лесу, м³/га; $V'_{п}$ — объем поверхностного стока в поле, м³/га; r —

Таблица 9.4

Пример экономической оценки (по отношению к полю) гидрологической роли лесных насаждений

Объект	Сток, м ³ га		р. га							
	поверхностный	грунтовый	Затраты на очистку воды	Ущерб от эрозии почв	Годовой эффект		Приращение эффекта по отношению к полю		Экономическая оценка на перспективу	
					водорегулирующий	суммарный	водорегулирующий	суммарный	водорегулирующей роли	суммарная
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Поле	670	1120	53,6	30,0	13,3	-78,3	—	—	—	—
Лес:										
еловый	220	990	8,8	—	11,8	0,4	-1,5	78,7	-30,0	1574
лиственный	220	2130	8,8	—	25,6	14,2	12,3	92,5	246,0	1850
смешанный ¹	220	1430	8,8	—	17,1	5,7	3,8	84,0	76,0	1680

Примечания: 1. В качестве исходных взяты насаждения на объектах Истринского опорного пункта со свойственными им закономерностями влагооборота (см. табл. 6.11).

2. Затраты на зарегулирование поверхностного стока для поля равны 8,0 р./га (670 м³ поверхностных вод умножить на 0,012 р.), для леса 2,6 р./га (220·0,012)

¹ Интерполированные данные.

дифференциальная водная рента, р./м³; k — затраты на очистку поверхностного стока, р./м³; f — затраты на предотвращение эрозии, р./га; E — временной коэффициент, равный 0,05 (для перехода к эффекту за неограниченно долгий срок), иногда принимается равным 0,02—0,03.

Значения r , k и f приняты равными соответственно 0,012 и 0,08 р./м³ и 30 р./га [171].

При закономерном преобладании или равенстве (еловый лес) подземного стока в лесу и поле суммарный сток в лесу может быть выше (лиственные и смешанные насаждения) и ниже (густые ельники), чем в поле. Однако поскольку основные затраты связаны с использованием поверхностного стока, преобладающего в поле (очистка, предотвращение эрозии) и незначительного в лесу, гидрологическая роль лесов всегда имеет положительные значения относительно поля. В нашем варианте (табл. 9.4) суммарный годовой экономический эффект составляет 79—92 р./га и 1574—1850 р./га по экономической оценке для многолетней перспективы при $E=0,05$.

Затраты на очистку стока (графа 4 табл. 9.4) получены как произведение объемов поверхностного стока (м³) на стоимость очистки 1 м³ воды (для поля 670·0,08=53,6 р., для леса (220·0,08)×0,5=8,8 р.): годовой эффект водорегулирующей роли (графа 6)

определен как уменьшение затрат, которые обуславливаются грунтовой составляющей стока (для поля $1120 \cdot 0,012 = 13,3$ р., для лиственного леса $2130 \cdot 0,012 = 25,6$ р.); суммарный годовой эффект (графа 7) представляет собой разность между водорегулирующим эффектом (положительное влияние) и суммой затрат на очистку поверхностного стока, защиту почв от эрозии и зарегулирование поверхностного стока — отрицательные влияния (для поля $13,3 - (53,6 + 30,0 + 8,0) = -78,3$ р., для лиственного леса $11,8 - (8,8 + 2,6) = 0,4$ р.; приращение годового эффекта и суммарного эффекта по отношению к полю (графы 8 и 9) определяется по разности соответствующих значений для леса и поля (например, для лиственного леса $25,6 - 13,3 = 12,3$ р. и $14,2 - (-78,3) = 92,5$ р.; экономическая оценка (графы 10 и 11) равна приращению годового эффекта с учетом временного фактора ($E = 0,05$).

В целом данные оценки показывают, какой ущерб понесет общество при потере лесами гидрологической роли в случае передачи площади, занятой ими, под сельскохозяйственные угодья (под поля). Если перевод будет осуществлен под другие виды пользования, например в урбанизированные территории, в расчеты должны быть внесены соответствующие изменения (гидрологические параметры поля заменяются на соответствующие значения, характерные для урбанизированных территорий).

Приведенные данные относятся к одинаковой площади (1 га) полевых и лесных угодий. В случаях необходимости оценки водосборов в целом или их частей в расчетах должно найти отражение соотношение площадей отдельных видов угодий, структура лесных насаждений и свойственные им характеристики стока (объем, качество).

Минимальную экономическую оценку имеет гидрологическая роль густых еловых лесов, характеризующихся наименьшим суммарным стоком. Существенные различия в оценке вызывают густота, возраст, продуктивность и другие элементы структуры лесных насаждений, что свидетельствует о возможностях их целенаправленного регулирования.

В рассмотренных подходах к экономической оценке гидрологической роли лесов не нашло отражения их влияние на увеличение осадков, а также на перевод поступающего с нелесных видов угодий поверхностного стока в грунтовой, что связано с отсутствием материалов, количественно характеризующих эти явления. Ясно, что введение в расчеты этих данных увеличит полноту оценки. Получение таких данных, как и накопление других количественных критериев влагооборота для отдельных насаждений, — важная задача дальнейших гидрологических исследований.

В целом представленные в данной работе материалы показывают, что актуальнейшая проблема нашего времени — *истощение и загрязнение водных ресурсов — может и должна решаться через управление гидрологическими процессами на водосборах в боль-*

шей мере, чем это имеет место в настоящее время. Леса выступают как важнейший элемент системы и фактор влагооборота, воздействуя на которые можно решать масштабные задачи по охране и рациональному использованию водных ресурсов.

Настоятельной является необходимость усиления внимания к проблеме «водосборной гидрологии» (к сожалению, в настоящее время наблюдается противоположный процесс) и объединения усилий специалистов различного профиля (гидрологов, почвоведов, лесоводов, водохозяйственников, экономистов и др.) по дальнейшему познанию процессов и закономерностей влагооборота водосборов применительно к физикогеографическим условиям.

В числе других задач проблемы можно назвать: сбор сведений о водосборах и различных их звеньях, включая почвы, леса сельскохозяйственные угодья и т. п.; переход на новый уровень землеустройства и проектирования, при котором наряду с учетом интересов отдельных отраслей народного хозяйства решались бы проблемы межотраслевого порядка; разработку региональных (по водосборам) схем охраны вод и рационального использования водных ресурсов посредством комплекса мероприятий на водосборах; установление целесообразного соотношения лесных и безлесных площадей (лесистость); упорядочение размещения лесов в пределах водосборов в соответствии с их гидрологической ролью и решаемыми задачами.

Заключение

Несмотря на более чем 100-летний опыт изучения гидрологической роли лесов, многие вопросы этой сложной и весьма разносторонней проблемы до настоящего времени остаются нерешенными. Более того, по ряду аспектов проблемы усиливается размежевание точек зрения. Свидетельством этому является наличие противоположных, взаимоисключающих концепций относительно основного вопроса проблемы — влияния лесов на объем суммарного стока.

Анализ состояния проблемы позволил выделить основные причины, с которыми связана отмеченная выше разноречивость положений и их дискуссионность. К их числу относятся:

- некритическое использование часто несравнимых методических приемов исследований, включая пробелы и даже отсутствие описаний структур лесных фитоценозов;

- ограниченность и кратковременность материалов наблюдений за влагооборотом на водосборах и в экосистемах в зависимости от факторов среды и структуры самих фитоценозов;

- недооценка влагооборота переходных и холодного периодов года при одновременном преувеличении значения теплого или вегетационного периода;

- недостаточное внимание, уделяемое почвенному звену влагооборота;

- одностороннее преувеличение потенциально возможной испаряющей способности экосистем при недооценке или полном игнорировании реальных условий и закономерностей расходования влаги;

- придание статуса всеобщности закономерностям, установленным в отдельных регионах, имеющих специфические условия и др.

Наши исследования показали, что влагооборот в лесных и других экосистемах целесообразно рассматривать применительно к фитоценолотическому (надземному) и почвенно-гидрологическому (подземному) звеньям системы и соответственно к их зонально-географическим условиям, а в их пределах в зависимости от структуры самих лесных фитоценозов (породный состав, густота,

возраст, продуктивность и т. п.) и по сезонам года. Эти факторы и условия порой оказывают более существенное влияние на испарение и другие элементы влагооборота, чем выявляющееся при сравнении лесного и полевого типов растительности.

Любой фитоценоз, водосбор или отдельные их звенья целесообразно также анализировать как систему, состоящую из звеньев, способствующих экономии влаги (защитные функции) и ее расходованию (испаряющие функции). Звено экономии влаги включает факторы, способствующие исключению влаги из зоны физического и биологического (транспирация) испарения и ухода ее из системы в результате фильтрации за пределы корнеобитаемой зоны почвы либо поверхностного стока.

В пологе леса защитная и испаряющая функции обуславливаются соотношением перехвата осадков кронами и уменьшения испарения с поверхности почвы, в почвенном звене — различиями в мощности корневых систем и водно-физических свойств почв (фильтрационная способность, влагоемкость, капиллярность).

С этих позиций особенно наглядной становится гидрологическая специфичность фитоценозов в холодный и переходные периоды года. Травянистые фитоценозы в это время практически «не работают» как система. Весной создаются исключительно благоприятные условия для испарения с почвы (неограниченное увлажнение, сухость воздуха, большое количество солнечной радиации, высокая прозрачность атмосферы, значительная продолжительность светлого времени суток). Во всех лесных фитоценозах до 70—90 % воздействия данных факторов гасится инертным в этот период лесным пологом. При этом в фитоценозах из лиственных пород проявляются в основном физические защитные функции, направленные на уменьшение испарения влаги, а в хвойных лесах наряду с этим значительны испаряющие функции, проявляющиеся через перехват влаги кронами и частично транспирацию.

По этим же причинам неоднозначны соотношения испарения названных угодий в зависимости от условий увлажнения холодного и переходных периодов года. При малом количестве осадков в эти сезоны практически все леса испаряют меньше, чем открытые пространства. С увеличением осадков различия испарения с лесных и открытых полевых биогеоценозов сначала сближаются, а затем в темнохвойных лесах существенно превышают испарение на открытых пространствах. В лиственных лесах (березовые, осиновые) испарение остается меньшим, чем на открытых пространствах, при любом количестве осадков. Различия испарения с лиственного леса и поля практически всегда (исключая крайне засушливые годы) меньше, чем с лиственного и хвойного леса. Это связано с тем, что при влажной погоде на открытых пространствах испарение уменьшается вследствие дефицита ресурсов тепла и других метеорологических факторов (содержание влаги

в этот период не выступает как ограничивающий фактор), а в хвойных лесах большая поверхность смачивания (в 10—20 раз большая, чем занимаемая фитоценозом площадь) обеспечивает испарение всей перехваченной пологом влаги практически при любых погодных условиях. В лиственных лесах расход осадков на смачивание и последующее испарение незначителен при любом типе погоды, защитные же функции против подпологового испарения сохраняются в полной мере и фитоценоз выступает как своего рода «ловушка» для осадков.

Эти положения крайне важны для познания механизма проявления лесами и открытыми пространствами гидрологической роли не только во временном, но и в пространственном (зонально-географическом) отношении: чем больше осадков выпадает в холодный период в регионе, тем вероятнее различия испарения и стока в лиственных и хвойных лесах, а также в лесных насаждениях и на открытых пространствах. При этом в северных районах взаимоотношения складываются в основном по типу открытые пространства — хвойные леса, а на юге открытые пространства — лиственные леса. Вместе с тем в южных районах резко возрастают особенности гидрологической роли отдельных фитоценозов, обуславливаемые различиями в мощности корнеобитаемой зоны; в северных районах такие различия практически отсутствуют.

Наряду с количеством осадков большое значение для познания и оценки гидрологической роли экосистем имеет их распределение во времени и соотношение с водно-физическими свойствами почв. Это связано с тем, что испарение и влияние на сток фитоценозов зависит не столько от их потенциально возможной испаряющей и тем более транспирационной способности, как это обычно трактуется в литературе, сколько от наличия периодов и факторов, обуславливающих возможность ухода влаги за пределы зоны испарения (биологического звена влагооборота). Важнейшими факторами такого порядка является неравномерность поступления влаги на полог растений и поверхность почвы (выпадение осадков, интенсивность снеготаяния), способность почвогрунтов отводить влагу за пределы экосистемы поверхностным стоком либо через фильтрацию ниже корнеобитаемой зоны. В последнем процессе крайне важное значение имеет мощность корневых систем, которую необходимо рассматривать как один из важнейших факторов гидрологической роли фитоценоза. При глубоких грунтовых водах влага, ушедшая за пределы зоны испарения, практически не может быть возвращена в биологическое звено оборота несмотря на любую последующую потребность в ней растений. Сами же фитоценозы способны относительно нормально существовать и развиваться в определенных границах дефицита влаги. Недооценка реальных закономерностей расходования влаги при переоценке потенциальных возможностей экосистем в этом отношении — одна из наиболее распространенных и существен-

нейших ошибок при построении различного рода гидрологических концепций. Транспирацию нельзя рассматривать в качестве основного фактора гидрологической роли, поскольку она опосредуется через влажность и влагоемкость почвогрунтов и в значительной мере нивелируется в различных фитоценозах, особенно в условиях ограниченной (равной для различных фитоценозов) мощности корнеобитаемой зоны. Более того, повышенная транспирация часто является показателем не уменьшения, а увеличения стока. Это закономерно, поскольку оба процесса (транспирация и сток) находятся в прямой зависимости от одного и того же фактора — влагообеспеченности почв.

Неоднозначно влияние лесов на грунтовые воды. В общих чертах это влияние сводится к следующему: при глубоком (не доступном для корней) залегании грунтовых вод уровень их под лесами повышается, при обратном соотношении — как правило, понижается; вероятность повышения уровней грунтовых вод под лесами более значительна на почвах с ограниченной мощностью корнеобитаемой зоны (северные районы), чем на глубоких почвах с различной глубиной укоренения древесных и травянистых растений (южные районы).

Перечисленные и некоторые другие особенности влагооборота биогеоценозов положены в основу дифференцированной оценки их гидрологической роли применительно к составу, возрасту, густоте и другим параметрам структуры насаждений, а также условиям местопроизрастания. Такой подход позволил существенно уточнить либо рассмотреть по-новому отдельные закономерности влагооборота экосистем и выявить следующие свойственные им особенности испарения и стока:

а) в гидрологическом отношении наиболее благоприятны мягколиственные насаждения или насаждения со значительным участием лиственных пород в их составе. Они обеспечивают значительную прибавку суммарного стока как по сравнению с хвойными (еловыми) лесами, так и по отношению к полям. Основные различия влагооборота складываются в холодный и переходные периоды года. В летний период обычно усиливаются тенденции соотношений испарения отдельными фитоценозами, определившиеся накануне вегетации. При несколько большем расходовании влаги на транспирацию в лиственных лесах, чем в хвойных, суммарное испарение в первых всегда остается меньше, чем во вторых;

б) влияние возраста насаждений на процессы влагооборота наиболее существенно в хвойных лесах: довольно интенсивное возрастание испарения в первые 20—30 лет жизни фитоценоза сменяется относительно стабильными значениями расходования влаги в средневозрастных и приспевающих древостоях и некоторым снижением испарения в спелых и перестойных лесах. Приводимые в литературе данные по возрастной динамике влагопотребления

насаждений (А. А. Молчанов) основываются на потенциальных потребностях фитоценозов во влаге и поэтому существенно увеличены: фактическая кривая влагопотребления в различном возрасте имеет более плавный ход.

Влагооборот в лиственных насаждениях в несравненно меньшей степени зависит от их возраста, что связано с низкой плотностью полога всех насаждений в холодный и переходные периоды года, когда формируются основные особенности водного режима. При оценке гидрологической роли отдельных насаждений важно учитывать весь спектр их возрастного влияния на протяжении всей жизни фитоценоза. В работе приводится методика таких расчетов и их результаты;

в) снижение густоты насаждений в пределах от полной до сомкнутости крон 0,4—0,5 и даже менее сопровождается уменьшением суммарного испарения, однако лишь в тех случаях, когда под пологом интенсивно не разрастается травянистая растительность либо не наблюдаются другие отрицательные явления (ветровал, бурелом, снеголом, нападение вредителей и т. п.). Предельной можно считать полноту 0,5—0,6, ниже которой ее не целесообразно снижать, в том числе и в гидрологических целях. Влагооборот в лиственных насаждениях под влиянием изменения густоты трансформируется в значительно меньшей степени, чем это характерно для хвойных лесов по тем же причинам, которые отмечены для возраста насаждений;

г) при повышении продуктивности фитоценозов обычно имеет место тенденция к увеличению расхода влаги на испарение. Однако такой расход изменяется далеко не пропорционально продуктивности, особенно в условиях, где имеется дефицит влаги. Последний обычно выступает в качестве лимитирующего и ведущего фактора испарения;

д) влияние лесосушительных мелиораций на испарение неоднозначно и зависит от характера смены видового состава растительности, степени доступности грунтовых вод растениям, изменения продуктивности фитоценозов, обусловленной осушением;

е) существенные возможности для регулирования влагооборота связаны с рациональным соотношением лесных и открытых пространств на водосборах. Небольшие открытые пространства (поляны, просеки, вырубki малых размеров и т. п.) наиболее благоприятны в гидрологическом отношении, поскольку, используя защитную роль окружающих стен леса против испарения, они в то же время получают практически все выпадающие осадки;

ж) наряду с уменьшением испарения в ряде случаев приходится решать задачу его повышения, в частности для исключения избыточного увлажнения и заболачивания почв; актуальны в ряде случаев и другие аспекты гидрологического влияния лесов (очистка вод от загрязнения, усиление водорегулирующей роли, пре-

дотвращение эрозии и т. п.). Другими словами, дифференцированная оценка гидрологических влияний требует и дифференцированного подхода при планировании мероприятий по целенаправленному регулированию влагооборота на водосборах. При этом с помощью насаждений могут решаться противоположные по значимости задачи, например увеличения стока и усиления испарения. В этой связи воздействие на гидрологические функции лесов должно быть строго конкретным, базироваться на четко сформулированных задачах и осуществляется с помощью конкретных мероприятий. Игнорирование этих положений приводит к серьезным просчетам и издержкам. Примеры такого порядка содержатся в работе.

Дифференцированный подход к оценке гидрологической роли лесов и планированию мероприятий по ее повышению положен в основу разработанных автором рекомендаций по классификации гидрологических функций лесов, площадей и отдельных насаждений, а также предложений по оценке и регулированию этих функций с помощью хозяйственных мероприятий.

Такой подход позволил критически осмыслить существующие концепции гидрологической роли лесов. Сделан вывод, что основной недостаток большинства концепций связан с недоучетом всего разнообразия влагооборота в лесных фитоценозах и попытками сведения его к каким-то общим для всех насаждений и условий положения об увлажняющей или иссушающей роли лесов.

Недостатки отдельных концепций сводятся к следующему:

— концепция об иссушающем влиянии лесов (Г. Н. Высоцкий) в своей основе верна применительно к районам с резким дефицитом влаги и неограниченной мощностью корнеобитаемой зоны почв. Нет оснований для перенесения ее на более северные районы. Г. Н. Высоцкий неоднократно отмечал незавершенность и противоречивость отдельных положений своей концепции при попытках ее проверки в лесной зоне, однако последователи или критики положений Высоцкого обычно принимают эту концепцию без оговорок;

— концепция об односторонней увлажняющей роли лесов (В. В. Рахманов и др.) базируется главным образом на недостаточно обоснованных логических посылах. Некоторые положения этой концепции находят подтверждение на примере отдельных насаждений (например, лиственных в лесной зоне), но это лишь случайное совпадение, противоречащее теоретическим положениям ее авторов;

— концепция неопределенной гидрологической роли лесов (А. А. Молчанов и др.) исходит из предположения, что эта роль не остается постоянной, изменяется в зависимости от структуры насаждений и условий местопроизрастания. Однако эти положения зиждятся не на вскрытии каких-либо закономерностей влагооборота, а на материалах чисто эмпирического порядка, притом

нередко вытекающих из недостатков методики исследований либо анализа их результатов;

— концепция иссушающе-увлажняющей роли лесов сочетает в себе положение об иссушающем влиянии лесов, сформулированное Высоцким, и положение об их увлажняющей роли за счет дополнительного выпадения осадков над лесными территориями. Нет, однако, оснований для вывода о том, что дополнительные осадки (наличие их остается проблематичным) способны обусловить увеличение стока в тех размерах, которые принимаются авторами. Учитывая существующие закономерности влагооборота в фитоценозах, можно сделать вывод, что такие осадки, выпадая в основном в периоды дефицита влаги, будут расходоваться на испарение, обуславливая лишь изменения влагообеспеченности растений.

В целом лесные экосистемы являются одним из важнейших звеньев влагооборота на водосборах и факторов его регулирования. В целенаправленном воздействии на это звено лежит реальный путь решения важных водохозяйственных задач, включая усиление стока, в том числе наиболее ценного подземного, улучшение его качественного состава. Требуется резко повысить внимание к данной проблеме. При этом в современный период важнейшим путем воздействия на влагооборот на водосборах следует считать не изменение в соотношении лесных и безлесных площадей (лесистости), а управление водным режимом самих лесных экосистем в заданном направлении. Наряду с целенаправленным влиянием на экосистемы (рубки, лесовосстановление, изменение продуктивности и видового состава и т. п.) крайне актуальной становится задача оценки гидрологических последствий от тех огромных изменений в природных экосистемах, которые выступают как непреднамеренный результат других технологических процессов (промышленные выбросы, гидрологические сооружения, разработки полезных ископаемых и т. п.).

Ориентировочные экономические расчеты свидетельствуют, что посредством целенаправленного влияния на гидрологические функции лесов можно получать ощутимый экономический эффект и решать масштабные водохозяйственные задачи, сравнимые по своей значимости с эффектом от крупных гидротехнических сооружений. Решение этих задач требует объединения усилий различных ведомств, прежде всего лесного и водного хозяйства, и резкого усиления внимания к проблеме со стороны научных, проектных и производственных организаций.

Список литературы

1. Абражко А. М. Закономерности распределения и фракционный состав биомассы подземных частей.— В кн.: Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. Л., 1973, с. 102—109.
2. Авдеев В. Р. Об оценке испарения в переходные периоды года.— Тр. ГГИ, 1975, вып. 224, с. 33—37.
3. Алпатьев А. М. Влагообороты в природе и их преобразования.— Л.: Гидрометеоздат, 1969.—223 с.
4. Ананьев П. П. Изменение водного баланса дубовых лесов при различных способах главных рубок: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. с.-х. наук. Харьков, 1980.—17 с.
5. Андрущенко А. П. Проникновение осадков под полог сосняков различного возраста.— Тр. Харьков, с.-х. ин-та, 1977, т. 240, с. 29—34.
6. Басс С. В. Ожидаемые изменения водного баланса бассейна Волги.— В кн.: Водный баланс СССР и его преобразование. М., 1969, с. 218—239.
7. Белый Г. Д. Влияние рубок ухода в молодых культурах дуба на снегонакопление и снеготаяние.— Лесоводство и агролесомелиорация, 1972, вып. 30, с. 60—65.
8. Бочков А. П. Влияние леса и агролесомелиоративных мероприятий на водность рек лесостепной зоны европейской части СССР.— Л.: Гидрометеоздат, 1954.—135 с.
9. Братцев С. А. Гидрологическая роль леса в условиях КомиАССР.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1979, № 6, с. 45—56.
10. Булавко А. Г. Водный баланс речных водосборов.— Л.: Гидрометеоздат, 1971.—304 с.
11. Булавко А. Г. Прогнозирование изменений водного баланса под влиянием хозяйственной деятельности.— Водные ресурсы, 1973, № 4, с. 50—59.
12. Вайчис М., Данусявичюс Ю. Влияние березы на свойства почвы под сосновым насаждением.— Почвоведение, 1978, № 1, с. 113—123.
13. Вендров С. Л. Проблемы преобразования речных систем СССР.— Л.: Гидрометеоздат, 1979.—207 с.
14. Вершинина Л. К., Крестовский О. И. Учет водопоглотительной способности водосборов при прогнозах стока весеннего половодья.— Тр. ГГИ, 1980, вып. 265, с. 3—31.
15. Водогрецкий В. Е. Влияние агролесомелиораций на годовой сток.— Л.: Гидрометеоздат, 1979.—184 с.
16. Воейков А. И. Воздействие человека на природу.— М.: Географгиз, 1949, с. 40—90.
17. Воронков Н. А. Некоторые особенности водного режима сосны в засушливых условиях юго-востока европейской части СССР.— Вестн. МГУ. Сер. биол., 1965, № 3, с. 42—53.
18. Воронков Н. А. Элементы влагооборота лесных водосборов.— В кн.: Докл. сов. ученых на Междунар. симпоз. по влиянию леса на внешнюю среду. Т. 1, М., 1970, с. 79—98.

19. Воронков Н. А. Влагооборот и влагообеспеченность сосновых насаждений.— М.: Лесная промышленность, 1973.—184 с.
20. Воронков Н. А. О некоторых методических вопросах изучения гидрологической роли леса.— В кн.: Всесоюз. совещ. по водоохранно-защитной роли горных лесов: Тезисы докл. Ч. 1. Красноярск, 1975, с. 40—42.
21. Воронков Н. А. Элементы водного баланса леса в зависимости от почвенно-грунтовых условий и породного состава насаждений.— Вопросы географии, 1976, вып. 102, с. 122—134.
22. Воронков Н. А., Данилов Н. И., Кожевникова С. А. Суммарное испарение в условиях неограниченного увлажнения и его лесогидрологическое значение.— В кн.: Почвенные и гидрологические исследования в лесах. М., 1979, с. 82—92.
23. Воронков Н. А., Кожевникова С. А. К вопросу о промерзании почв в лесах Подмосквья.— Лесоведение, 1970, № 1, с. 82—88.
24. Воронков Н. А., Кожевникова С. А., Павлушкин Л. Т., Шомполова В. А. Гидрологическая и метеорологическая роль лесных насаждений разного породного состава.— Лесоведение, 1976, № 1, с. 3—10.
25. Воронков Н. А., Кожевникова С. А., Шомполова В. А. Формирование снежного покрова в лесу и в поле в Подмосквье.— Лесоведение, 1972, № 3, с. 30—37.
26. Воронков Н. А., Кожевникова С. А., Шомполова В. А. Температурный режим почв под лесом и залежью в условиях Подмосквья.— Почвоведение, 1979, № 6, с. 90—99.
27. Воронков Н. А., Павлушкин Л. Т. Изучение испаряемости в лесных фитоценозах с помощью микроиспарителей.— Лесоведение, 1973, № 2, с. 77—85.
28. Воронков Н. А. Влияние лесных насаждений на сток и качество воды малых рек.— Вопросы географии, 1981, вып. 118, с. 97—108.
29. Воронков Н. А., Кожевникова С. А., Данилов Н. И. Сток летних осадков по стволам деревьев.— В кн.: Почвенные и гидрологические исследования в лесах. М., 1979, с. 93—98.
30. Воронков Н. А., Невзоров В. М. Транспирационный расход влаги и рост культур сосны при остром дефиците увлажнения.— Лесоведение, 1979, № 3, с. 31—40.
31. Воронков Н. А., Невзоров В. М. Корневая система сосны в связи с водным режимом песчаных почв.— Лесоведение, 1981, № 6, с. 14—23.
32. Воронков Н. А., Шомполова В. А. Об учете атмосферных осадков при лесогидрологических исследованиях.— В кн.: Почвенные и гидрологические исследования в лесах. М., 1979, с. 108—123.
33. Временные указания по введению поправок в месячные суммы осадков при расчетах водных балансов речных бассейнов.— Валдай: Изд. ГГИ, 1967.— 24 с.
34. Высоцкий Г. Н. О взаимных соотношениях между лесной растительностью и влагой преимущественно в южно-русских степях.— СПб, 1904.— 221 с.
35. Высоцкий Г. Н. К вопросу о влиянии леса на надземную влажность в России.— В кн.: Тр. 3-го съезда деятелей по сельскохозяйственному опытному делу. 1905, с. 116—152.
36. Высоцкий Г. Н. О гидрологическом влиянии лесов.— М., Гослестехиздат, 1938.— 67 с.
37. Высоцкий Г. Н. О гидроклиматическом значении лесов для России.— В кн.: Избранные труды. М., 1960, с. 125—150.
38. Гаель А. Г. Облесение бугристых песков засушливых областей.— М.: Географиз, 1952.— 218 с.
39. Голев В. Д., Письмеров А. В., Воробей П. М. Защитно-водоохранные леса вдоль рек.— Лесное хозяйство, 1979, № 12, с. 23—26.
40. Голубев В. С. Изучение точности учета атмосферных осадков.— Тр. ГГИ, 1969, вып. 176, с. 149—163.

41. Данилик В. Н. Снегонакопление, снеготаяние и сток в горных темнохвойных лесах Среднего Урала.— Леса Урала и хозяйство в них, 1975, вып. 8, с. 77—92.
42. Данилик В. Н. Классификация горных темнохвойных лесов Урала по их водоохранно-защитной роли.— Леса Урала и хозяйство в них, 1977, вып. 10, с. 3—15.
43. Данилик В. Н. Повышение водоохранно-защитной роли насаждений путем рационального размещения хвойных и лиственных пород.— Леса Урала и хозяйство в них, 1978, вып. II, с. 23—30.
44. Данилик В. Н. Водоохранно-защитная роль горных темнохвойных лесов Урала.— В кн.: Тез. докл. конф. «Защитное лесоразведение и рациональное использование земельных ресурсов в горах». Ташкент, 1979, с. 36—38.
45. Данилик В. Н. Изменение речного стока под влиянием лесных пожаров.— Лесоведение, 1982, № 4, с. 78—81.
46. Дроздов О. А. К вопросу об изменении осадков в связи с системой полезастных мероприятий в степных и лесостепных районах Европейской территории СССР.— В кн.: Вопросы гидрологической эффективности полезастного лесоразведения. Л., 1950, с. 30—37.
47. Дьяков В. Н. Влияние состава насаждений на водный режим горных лесов Карпат.— Лесоведение, 1976, № 1, с. 11—17.
48. Жилкин Б. Д. Опыт оценки влияния леса на водный баланс.— Тр. Брянск. лесохоз. ин-та, 1940, т. 40, с. 35—114.
49. Зайдельман Ф. Р. Подзоло- и глееобразование.— М.: Наука, 1974.— 208 с.
50. Зеликов В. Д. Водный режим дерново-подзолистых почв под ельником разного возраста: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. с.-х. наук. М., 1959.— 25 с.
51. Зеликов В. Д. Водный режим дерново-подзолистых почв под ельниками разного возраста.— Тр. МЛТИ, 1970, вып. 33, с. 113—130.
52. Змиева Е. С., Субботин А. И. О точности измерения запасов воды в снежном покрове стандартным плотномером.— Метеорология и гидрология, 1977, № 6, с. 115—117.
53. Зюбина В. И. Влияние леса на климат прилегающих территорий в лесостепных районах Сибири.— В кн.: Стационарные гидрологические исследования в лесах Сибири. Красноярск, 1975, с. 9—42.
54. Зюбина В. И., Лебедев А. В. Гидрологические особенности лесных и заболоченных водосборов Ишимо-Тобольской лесостепи.— В кн.: Стационарные гидрологические исследования в лесах Сибири. Красноярск, 1975, с. 99—113.
55. Иванов Л. А. Гидрологическое значение расходования влаги лесом в различных зонах европейской части СССР.— Докл. АН СССР, 1953, т. 90, № 4, с. 673—676.
56. Иванов Л. А., Силина А. А., Цельникер Ю. Л. О методе быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях.— Ботанический журнал, 1950, № 2, с. 171—186.
57. Ивернова М. И. К вопросу об испарении со снежного покрова на территории СССР.— В кн.: Роль снежного покрова в природных процессах. М., 1961, с. 36—53.
58. Идзон П. Ф. Лес и водные ресурсы.— М.: Лесная промышленность, 1980.— 153 с.
59. Исаков И. П. Учет транспирационного расхода влаги древостоями кедра сибирского.— Лесоведение, 1974, № 1, с. 29—36.
60. Казанкин А. П. К вопросу о влиянии леса на сток рек.— Лесное хозяйство, 1973, № 8, с. 15—17.
61. Казимиров Н. И. Оптимальная структура еловых насаждений.— В кн.: Питание древесных растений и проблема повышения продуктивности лесов. Петрозаводск, 1972, с. 124—136.

62. Калинин Г. П. Роль леса в распределении осадков.—Метеорология и гидрология, 1950, № 1, с. 14—20.
63. Карпачевский Л. О. Лес и лесные почвы.—М.: Лесная промышленность, 1981.—262 с.
64. Кауричев И. С., Комаринцева Л. Г. Качественный состав гумуса почв под различной растительностью.—Изв. ТСХА, 1971, № 2, с. 21—37.
65. Качинский Н. А. Физика почвы. Ч. 2. Водно-физические свойства и режимы почв.—М.: Высшая школа, 1970.—358 с.
66. Кнорре Е. К. К вопросу о влиянии Бузулукского лесного массива на увеличение количества атмосферных осадков в прилегающей местности.—Тр. по лесному и агролесомелиоративному опытному делу, 1932, вып. 1, с. 56—84.
67. Коваль И. И., Битюков Н. А. Количественная оценка водорегулирующей роли горных лесов Черноморского побережья Кавказа.—Лесоведение, 1972, № 1, с. 3—11.
68. Константинов А. Р. Оценка влияния полесажитных лесонасаждений на атмосферные осадки.—Тр. ГГИ, 1952, вып. 34, с. 93—111.
69. Коронкевич Н. И. Косвенные антропогенные воздействия на водные ресурсы СССР в прошлом, настоящем и будущем.—В кн.: Оптимизация природной среды: Тезисы докл. Всесоюз. симпоз. «Оптимизация воздействия общества на окружающую природную среду». М., 1981, с. 285—287.
70. Костюкевич Н. И. Лесная метеорология.—Минск: Высшая школа, 1975.—288 с.
71. Крестовский О. И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек.—Л.: Гидрометеиздат, 1986.—118 с.
72. Крестовский О. И., Постников А. Н., Сергеева А. Г. Оценка испарения из леса в ранний весенний период.—Тр. ГГИ, 1979, вып. 259, с. 75—86.
73. Крестовский О. И., Сергеева А. Г. Роль испарения в формировании потерь весеннего стока на водосборах лесной зоны.—Тр. ГГИ, 1977, вып. 233, с. 79—96.
74. Крестовский О. И., Соколова Н. В. Весенний сток и потери талых вод в лесу и поле.—Тр. ГГИ, 1980, вып. 265, с. 32—60.
75. Кузьмин П. П. Формирование снежного покрова и методы определения снегозапасов.—Л.: Гидрометеиздат, 1960.—172 с.
76. Кулик Н. Ф. О физическом испарении влаги из песков и песчаных почв.—Почвоведение, 1967, № 11, с. 86—99.
77. Кулик Н. Ф., Зюзь Н. С., Саломахина Т. И. Опыт устройства искусственных корнеходов и рыхления толщ кварцевых песков методом глубинных взрывов.—Бюл. ВНИИЛМИ, 1979, вып. 2(30), с. 9—11.
78. Лалл Г. И. Возможности увеличения полного стока посредством лесохозяйственных мероприятий.—В кн.: Докл. иностр. ученых на Междунар. симпоз. по влиянию леса на внешнюю среду. М., 1970, с. 80—99.
79. Лархер В. Экология растений. Пер. с нем.—М.: Мир, 1978.—384 с.
80. Лебедев А. В. Водоохранное значение леса в бассейнах Оби и Енисея.—М.: Наука, 1964.—64 с.
81. Лебедев А. В. Гидрологический режим кедровников северного склона хребта Кулумыс (Западный Саян).—В кн.: Средаобразующая роль леса. Красноярск, 1974, с. 30—43.
82. Лебедев А. В., Протопопов В. В. Гидрологические последствия рубки леса на экспериментальных водосборах в Западном Саяне.—В кн.: Тезисы докл. конф. «Защитное лесоразведение и рациональное использование земельных ресурсов в горах». Ташкент, 1979, с. 60—62.
83. Лейтон Л., Родда Дж. К. Леса и осадки.—В кн.: Докл. иностр. ученых на Междунар. симпоз. по влиянию леса на внешнюю среду. М., 1970, с. 3—20.
84. Лир Х., Польштер Г., Фидлер Г.-И. Физиология древесных растений: Пер. с нем.—М.: Лесная промышленность, 1974.—424 с.

85. Лохов Д. П. Учет осадков, задерживаемых лесом, методом дождевания.— Метеорология и гидрология, 1938, № 6, с. 97—104.

86. Луганский Н. А., Макаренко Г. П. Влияние молодняков различного состава на восстановление стокорегулирующей роли лесов.— В кн. Изменение водоохранный-защитных функций лесов под влиянием лесохозяйственных мероприятий. Пушкино, 1973, с. 102—106.

87. Лучшев А. А. Испарение и испаряемость в лесу и в поле.— Тр. ВНИИЛХ, 1940, вып. 18, с. 269—278.

88. Лучшев А. А. Осадки под пологом леса.— Тр. ВНИИЛХ, 1940, вып. 18, с. 113—148.

89. Львович М. И. Человек и воды. Преобразование водного баланса и речного стока.— М.: Географгиз, 1963.—567 с.

90. Львович М. И. Водный баланс и урожай.—Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1965, № 3, с. 35—47.

91. Львович М. И. Водные ресурсы будущего.— Просвещение, 1969.— 174 с.

92. Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее.— М.: Мысль, 1974.—448 с.

93. Мамаев В. В. Масса корней в сосняке и березняке кислично-черничном.— В кн.: Лесоводственные исследования в подзоне южной тайги. М., 1977, с. 61—67.

94. Матвеев П. Н. Формирование снежного покрова в еловых лесах Тянь-Шаня.— Лесоведение, 1968, № 1, с. 79—83.

95. Матвеев П. Н. Водоохранное значение лесных насаждений в условиях Тянь-Шаня.— Лесоведение, 1969, № 4, с. 3—8.

96. Матвеев П. Н. Гидрологическая и защитная роль горных лесов Киргизии.— Фрунзе: Илим, 1984.—240 с.

97. Мелехов И. С. Значение и использование леса как составной части окружающей среды.— М.: Изд. МЛТИ, 1977.—48 с.

98. Мельчанов В. А., Данилик В. Н. Изменение стокорегулирующей роли лесов Среднего Урала под влиянием рубок.— В кн.: Изменение водоохранный-защитных функций лесов под влиянием лесохозяйственных мероприятий. Пушкино, 1973, с. 67—81.

99. Методические рекомендации по оценке и повышению гидрологической роли лесов/Сост. Н. А. Воронков, В. М. Невзоров, Н. И. Данилов.— М.: Изд. ВАСХНИЛ, 1984.— 31 с.

100. Михович А. И. Методика количественной оценки водорегулирующей роли леса.— Киев: Урожай, 1969.—24 с.

101. Михович А. И. Регулируемое лесосушение.— М.: Лесная промышленность, 1979.—165 с.

102. Михович А. И. Водоохранные лесонасаждения.— Харьков: Прапор, 1981.—64 с.

103. Молчанов А. А. Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах.— М.: Изд-во АН СССР, 1952.—487 с.

104. Молчанов А. А. Гидрологическая роль леса.— М.: Изд-во АН СССР, 1960.—454 с.

105. Молчанов А. А. Лес и климат.— М.: Изд-во АН СССР, 1961.— 278 с.

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

107. Молчанов А. А. Поверхностный сток на элементарных площадках и малых водосборных бассейнах в Европейской части СССР.— Тр. Тбил. ин-та леса, 1974, вып. 21, с. 9—29.

108. Молчанов А. А. Экспериментальный способ определения водоохранной роли лесов в природных условиях ЕТС.— В кн.: Принципы выделения защитных лесных полос. М., 1977, с. 5—27.

109. Морозов Г. Ф. Учение о лесе.— М.: Гослесбумиздат, 1959.—456 с.

110. Муратов М. Э. Изменение гидрологического режима рек под влия-

нием сплошных рубок на Южном Урале.— В кн.: Изменение водоохранный-защитных функций лесов под влиянием лесохозяйственных мероприятий. Пушкино, 1973, с. 118—132.

111. Мурашов С. И., Рутковский В. И. Методика изучения снегового режима в лесах.— Пушкино: Изд. ВНИИЛХ, 1940,—320 с.— (Тр. ВНИИЛХ. Вып. 14).

112. Мурзаева М. К., Помазнюк В. А. Динамика влажности почвы в лесу и на вырубках.— Леса Урала и хозяйство в них, 1975, вып. 8, с. 100—107.

113. Назаров Г. В. Гидрологическая роль почвы.— Л.: Наука, 1981.— 216 с.

114. Невзоров И. М., Хиров А. А. Культура сосны с березой.— Сб. работ по лесному хозяйству (Боровая ЛОС им. А. П. Тольского), 1974, № 3, с. 213—233.

115. Недялков С., Раев И. Хидрологичен ефект на горските екосистема: Обзор.— София, 1980.—102 с.

116. Онуфриенко Л. Г. Влияние леса на среднегодовой сток малых рек.— Тр. УкрНИГМИ, 1955, вып. 4, с. 172—176.

117. Опритова Р. В. Водоохранная роль лесов южного Сихотэ-Алиня.— М.: Наука, 1978.— 96 с.

118. Орлов А. Я., Кошельков С. П., Осипов В. В., Соколов А. А. Типы лесных биогеоценозов южной тайги.— М.: Наука, 1974.—226 с.

119. Осипов В. В. К вопросу о влиянии леса на распределение осадков.— Лесоведение, 1967, № 4, с. 76—80.

120. Осипов В. В. Некоторые составляющие водного баланса водосборов с различной лесистостью.— В кн.: Гидрологические исследования в лесу. М., 1970, с. 94—118.

121. Отоцкий П. В. Грунтовые воды, их происхождение, жизнь и распределение.— СПб., 1906.—300 с.— (Тр. опытных лесничеств. Вып. 4).

122. Паулюкявичюс Г. Б. Оценка роли леса в экологической оптимизации холмистых ландшафтов Литвы.— Вильнюс, 1978.—182 с.

123. Пенман Х. Л. Растения и влага: Пер. с англ.— Л.: Гидрометеоздат, 1968.—162 с.

124. Письмеров А. В., Письмерова Р. С., Воробей П. М. Изменение водно-физических свойств лесных подстилок и почв в насаждениях разного состава.— Лесоведение, 1980, № 2, с. 40—48.

125. Побединский А. В. Влияние рубок на стокорегулирующую роль еловых лесов.— Лесоведение, 1971, № 2, с. 48—57.

126. Побединский А. В., Бобруйко Б. И. Влияние сплошных рубок на сток рек.— Лесное хозяйство, 1972, № 2, с. 26—31.

127. Побединский А. В. Влияние лесохозяйственных мероприятий на водоохранный-защитную роль леса.— М.: ЦБНТИлесхоз, 1975.—49 с.

128. Побединский А. В. Водоохранная и почвозащитная роль лесов.— М.: Лесная промышленность, 1979.—176 с.

129. Поляков А. Ф. Об оценке водоохранный-защитных свойств горных лесов Крыма.— Лесоведение, 1971, № 1, с. 70—79.

130. Поляков А. Ф. Водорегулирующая роль горных лесов Украины и пути ее оптимизации при ведении хозяйства: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра с.-х. наук. Киев, 1984.—36 с.

131. Протопопов В. В. Среднеобразующая роль темнохвойного леса.— Новосибирск: Наука, 1975.—328 с.

132. Протопопов В. В., Зюбина В. И., Лебедев А. В. и др. Леса КАТЭКа как фактор стабилизации окружающей среды.— Красноярск: Изд. Ин-та леса и древесины СОАН СССР, 1983.—160 с.

133. Раев И., Димитров Е. П. Хидрологичен ефект на почвите в смърчови насаждения от различни класове на възраст.— Горскостоп. наука, 1978, 15, № 5, с. 75—89.

134. Раев И., Димитров Е., Михайлов В. По взросу за гидрологичный эффект на почвите в бялброви насаждения от различни класове на възраст.—Горскостоп. наука, 1980, кн. 5, с. 31—42.
135. Ракццкий П. Ф. Основы вариационной статистики для биологов.— Минск: Изд. БГУ, 1961.— 221 с.
136. Раунер Ю. Л. О гидрометеорологической роли леса.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1965, № 4, с. 40—51.
137. Рахманов В. В. Водоохранная роль лесов.— М.: Гослесбумиздат, 1962.— 136 с.
138. Рахманов В. В. Речной сток и агротехника.— Л.: Гидрометеоздат, 1973.— 200 с.— (Тр. Гидрометцентра СССР. Вып. 114).
139. Рахманов В. В. Водорегулирующая роль лесов.— Л.: Гидрометеоздат, 1975.— 192 с.— (Тр. Гидрометцентра СССР. Вып. 153).
140. Рахманов В. В. Лесная гидрология: Обзор.— В кн.: Итоги науки и техники. Сер. лесоведение и лесоводство. М., 1981.— 181 с.
141. Рахманов В. В. Гидроклиматическая роль лесов.— М.: Лесная промышленность, 1984.— 241 с.
142. Рахтеенко И. Н. Рост и взаимодействие корневых систем древесных растений.— Минск: Изд-во АН БССР, 1963.— 256 с.
143. Роговой П. П. Гидрологическая роль лесов БССР.— Тр. Ин-та леса АН СССР, 1954, т. 22, с. 45—53.
144. Роде А. А. Методы изучения водного режима почв.— М.: Изд-во АН СССР, 1960.— 241 с.
145. Роде А. А., Смирнов В. Н. Почвоведение. Изд. 2-е.— М.: Высшая школа, 1972.— 480 с.
146. Романов В. В. Испарение с болот Европейской территории СССР.— Л.: Гидрометеоздат, 1962.— 227 с.
147. Рутковский В. И. Гидрологическая роль леса и лесное хозяйство.— Тр. ВНИИЛХ, 1940, вып. 18, с. 65—112.
148. Рутковский В. И. Климатическая и гидрологическая роль леса.— В кн.: Тр. 2-го Всесоюз. геогр. съезда. Т. 2. М., 1948, с. 378—405.
149. Рутковский В. М. Влияние динамики климатических и гидрологических условий на лесные культуры.— В кн.: Бузулукский бор. Т. 4. М.; Л., 1950.— 141 с.
150. Рутковский В. И., Кузнецова З. И. Влияние насаждений на снеговой режим.— Тр. ВНИИЛХ, 1940, вып. 18, с. 149—179.
151. Сабо Е. Д. Некоторые результаты исследований формирования снежного покрова в лесу.— В кн.: Снежный покров, его распределение и роль в народном хозяйстве. М., 1962, с. 98—103.
152. Сахаров М. И. Промерзание и размерзание почвы в лесных фитоценозах.— Метеорология и гидрология, 1938, № 11-12, с. 136—148.
153. Сахаров М. И. Зависимость температурного режима почвы от характера лесного покрова.— Почвоведение, 1948, № 3, с. 157—166.
154. Смарагдов Д. Г. Водоохранная роль леса.— Тр. ВНИИЛХ, 1939, вып. 8, с. 5—26.
155. Созыкин Н. Ф. Особенности микрорельефа и поверхности почвы в лесу.— Лесное хозяйство, 1938, № 6, с. 80—83.
156. Созыкин Н. Ф. Гидрологическое значение лесной подстилки и физических свойств лесных почв.— Тр. ВНИИЛХ, 1939, вып. 8, с. 125—205.
157. Созыкин Н. Ф. Влияние леса на водные свойства почв.— Тр. ВНИИЛХ, 1940, вып. 18, с. 197—232.
158. Соколов А. А. О чем шумит русский лес?— Л.: Гидрометеоздат, 1982.— 95 с.
160. Субботин А. И. Некоторые особенности стока дождевых вод в условиях лесной зоны Европейской территории СССР.— Л.: Гидрометеоздат, 1969.— 99 с.— (Тр. Гидрометцентра СССР. Вып. 46).
161. Субботин А. И. Сток талых и дождевых вод с лесных и безлесных водосборов (процессы стока и методика исследований).— В кн.: Докл. сов.

- ученых на Междунар. симпоз. по влиянию леса на внешнюю среду. Т. 1. М., 1970, с. 165—188.
162. Субботин А. И. Влияет ли лес на осадки? — Лесоведение, 1979, № 5, с. 13—18.
163. Субботин А. И. О систематических ошибках измерений и однородности многолетних гидрометеорологических данных. — Водные ресурсы, 1981, № 5, с. 20—28.
164. Субботин А. И., Дыгало В. С. Многолетние характеристики гидрометеорологического режима в Подмоскowie: Материалы наблюдений Подмоскoвнoй воднобалансoвoй станции. Ч. 1, 2. — М.: Изд. Госкомгидромета СССР, 1982. — Ч. 1. — 158 с.; ч. 2. — 162 с.
165. Таранков В. И. Гидрологический режим хвойно-широколиственных лесов Южного Приморья. — Л.: Наука, 1970. — 120 с.
166. Терентьева В. Т., Жирова А. Н. Некоторые показатели интенсивности транспирации древесных пород и водного режима в насаждениях Красносамарского лесничества. — В кн.: Вопросы лесной биогеоценологии. Экологии и охраны природы в степной зоне. Куйбышев, 1977.
167. Краченко М. Е. Общее лесоводство. Изд. 2-е. М.; Л.: Госбумиздат, 1952. — 599 с.
168. Тольский А. П. Климат сосновых насаждений Бузулукского бора Самарской губернии. — Метеорологический вестник, 1918, № 4, с. 1—20.
169. Третьяков Н. В., Горский П. В., Самойлович Г. Г. Справочник таксатора. — М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. — 855 с.
170. Троицкий В. А. Размещение лесов на территории водоохранной зоны. — Лесное хозяйство, 1939, № 10, с. 4—14.
171. Туркевич И. В. Кадастровая оценка лесов. — М.: Лесная промышленность, 1977. — 167 с.
172. Тюрин И. В. Опыт классификации лесных площадей водоохранной зоны по их водоохранной роли. — Исследования по лесному хозяйству, 1949, вып. 26, с. 5—56.
173. Урываев В. А. Экспериментальные гидрологические исследования на Валдае. — Л.: Гидрометеоздат, 1953. — 232 с.
174. Фалалеев Э. Н., Гордина Н. П. Обоснование возраста защитной спелости леса по комплексным показателям. — Лесное хозяйство, 1980, № 7, с. 47—48.
175. Федоров С. Ф. Испарение с леса при различном составе насаждений. — Тр. ГГИ, 1967, вып. 142, с. 62—71.
176. Федоров С. Ф. Исследования элементов водного баланса в лесной зоне Европейской территории СССР. — Л.: Гидрометеоздат, 1977. — 264 с.
177. Федоров С. Ф., Марунич С. В., Буров А. С., Ральцевич Н. Д. Изменение структуры водного и теплового баланса залесенных территорий под влиянием вырубок. — Тр. ГГИ, 1981, вып. 279, с. 20—31.
178. Хьюлетт Д. Д. Обзор метода определения полного стока посредством экспериментальных водосборов. — В кн.: Докл. иностр. ученых на Междунар. симпоз. по влиянию леса на внешнюю среду. М., 1970, с. 80—99.
179. Чубатый О. В. О формировании стока с горных склонов под букoвыми и словoвыми лесами Карпат. — Лесоведение, 1971, № 3, с. 72—80.
180. Чубатый О. В. Вoдooхрoннi гiрськi лiси. — Ужгород: Карпати, 1972. — 119 с.
181. Чубатый С. В. Влияние леса на речной сток и его зарегулированность в Карпатах. — Лесоведение, 1978, № 2, с. 10—16.
182. Шахова О. В. Суммарное испарение травяным покровом на лесных и безлесных водосборах в условиях южной тайги. — Лесоведение, 1967, № 2, с. 61—66.
183. Шахова О. В. Насыщенность почвы корнями в сосняке и березняке кислично-черничных. — Лесоведение, 1976, № 1, с. 88—92.
184. Шебеко В. Ф. Гидрологический режим осушаемых территорий. — Минск: Урожай, 1970. — 299 с.

185. Шикломанов И. А. Антропогенные изменения водности рек.— Л.: Гидрометеоздат, 1979.—301 с.
186. Шпак И. С. Влияние леса на водный баланс водосборов.— Киев: Наукова думка, 1968.—283 с.
187. Шумаков В. С. Типы лесных культур и плодородие почвы.— М.: Лесная промышленность, 1963.—183 с.
188. Aussenac G. Action du couvert forestier sur la distribution an sol des precipitations.— Ann. Sci. Forest., 1970, vol. 27, N 4, p. 383—399.
189. Baker M. B., Brown H. E. Multiple use evaluations on ponderosa pine forest land.— In: 18th Ann. Ariz. Watershed Symp. Proc. Phoenix., 1974, p. 18—25.
190. Běle J. Příspěvek ke zjištění strat vody intercepčním výparem ve smrkových porostech.— Lesnictví, 1975, roč. 21(48), p. 633—652.
191. Běle J. Tvorba zásob sněhuve smrkove hospodářské skupine.— Lesnictví, 1980, roč. 26 (53), p. 729—736.
192. Benecke P. Soil water relations and water exchange of forest ecosystems.— Ecol. Stud., 1976, N 19, p. 101—131.
193. Benecke P., Van der Ploeg R. R. Wald und Wasser. I. Komponenten des Wasserhaushaltes von Waldökosystemen.— Forstarchiv., 1978, Bd 49, N 1, S. 1—7.
194. Benecke P., Van der Ploeg R. R. Nachhaltige Beeinflussung des Landschaftswasserhaushaltes durch die Baumartenwahl.— Forstarchiv., 1975, Bd. 46, N 5, S. 97—112.
195. Cifra J. Vytvárania porastov s hydraulickou funkciou v medzihrádzových priestoroch.— Vedecke prace Vyskumupcho Ustavu lesneho hospodarstva vo Zvolene, 1976, vol. 23, p. 329—342.
196. Delfs J., Friedrich W., Kiesekamp H., Wagenhoft. Der Einfluß des Waldes und des Kahlschlages auf den Abflußvorgang, den Wasserhaushalt und den Bodenabtrag.— Aus dem Walde, 1958, H. 3, 328 S.
197. Gash J. H. C., Wright I. R., Lloyd C. R. Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great Britain.— J. Hydrol., 1980, vol. 48, N 1-2, p. 89—105.
198. Gathy P. L'eau et la forêt.— Bull. Soc. Roy. Forest. Belg., 1972, vol. 79, N 4, p. 225—236.
199. Harris A. R. Infiltration rates affected by soil freezing under three cover types.— Soil. Sci. Soc. Amer. Proc., 1972, vol. 36, N 3, p. 489—492.
200. Hibbert A. R. Potential for augmenting flow of the Colorado river by vegetation management.— In: 21st Ann. Ariz. Watershed Symp. Proc. Tucson, Ariz., 1977, p. 16—21.
201. Hilding A. P., Van der Berg C. The relation between pore volume and formation of root systems in soil with sandy layers.— In: Trans. 7th Int. Congr. Soil Sci. Madison, USA, 1960, p. 369—373.
202. Kantor P. Intercepce horských smrkových a bukových porostů.— Lesnictví, 1981, vol. 27, N 2, p. 171—192.
203. Kantor P. Optimalizace druhove skladby ve vodohospodářsky významných lesních středohorských poloh: Autoref. dis. k získání vědecké hodnosti kand. zemědělsko-lesnických věd CSR. Opočno, 1981.— 25 p.
204. Křeček J. Metody určování vlivu lesních porostů na infiltraci vody do půdy.— Vodní hosp., 1978, A28, N 2, p. 41—46.
205. Krečmer V. Das Mikroklima der Kieferlockhahlschläge.— Wetter und Leben, 1968, Bd. 20, N 7-8.
206. Krečmer V., Fojt V. Intercepční proces v horské smrčíně (význam horizontálních kapalných srážek z mlhy).— Vedecké práce Vúskumného ustavu lnsneho hospodarstva vo Zvolene, 1974, p. 19—43.
207. Krečmer V., Fojt V. Intercepce smrčíní chlumní oblasti.— Vodohosp. Cas., 1981, N 29, č. 1, p. 33—49.
208. Krečmer V., Křeček J. Lesnatost jako hydrologická charakteristika povodi.— Lesnictví, 1981, roč. 27 (54), p. 461—470.

209. Krečmer V., Peřina V. Funkce horských lesů v ochrane a tvorbě vodních zdrojů v souběhu s funkcí dřevoprodukční (přispěvek k problematice funkční integrace).—Opera corcontica, 1981, N 18, p. 13—51.

210. Kreutzer K., Hüser R. Der Einfluß der Waldbewirtschaftung auf die Wasserspende und die Wasserqualität.—Forstwiss. Cbl., 1978, Bd. 97, N 2, S. 80—92.

211. Kühnert H. Die Bedeutung des Waldes für den Wasserhaushalt der Natur und seine Gefährdung durch die Technik.—Natur und Land, 1978, Bd. 64, N 1, S. 23—33.

212. Lützke R. Der Einfluß des Waldes auf den Wasserhaushalt.—Naturschutzarb. Berlin und Brandenburg, 1969, Bd 5, N 1-3, S. 55—59.

213. Lützke R., Simon K.-H. Zur Bilanzierung des Wasserhaushalts von Waldbeständen auf Sandstandorten der DDR.—Beitr. Forstwirt., 1975, Bd 9, N 1, S. 5—12.

214. Lützke R., Simon K.-H. Großlysimeter aus Plaste zur Bilanzierung des Wasserhaushalts von Waldbestockungen.—Beitr. Forstwirt., 1976, Bd 10, N 1, S. 23—27.

215. Mathur R. N., Singh R. P., Gupta M. K. Comparative study of infiltration in soils under forest cover and agriculture in temperate climate.—Indian Forest, 1982, vol. 108, N 10, p. 648—652.

216. Peřina V., Krečmer V., Kadlus Z., Běle J. Možnosti víceúčelového hospodařeni s cíli produkčními a vodohospodarskými na příkladi Orlickýchhor.—Prace Vizkumneho ustavu lesního hospodářství a museivosti, 1973, sv. 43, c. 70—117.

217. Peřina V., Krečmer V. (ed.). Víceúčelové obhospodařování lesu v pavodích vodarenských nadzří.—In: Zborník celostatní konf. Ostrava, 1979.—124 p.

218. Peřina V., Krečmer V. Active environmental functions of forests for soil and water concervation — a concept of functionally integrated forestry.—Communications Institutu Forestalis Cechosloveniae, 1981, vol. 12, p. 207—222.

219. Polster H. Gesichertes und Ungesichertes über den Wasserhaushalt des Waldes.—Forst. u. Jagd, 1954, vol. 4, N7/3.

220. Prebble R. E., Stirk G. B. Throughfall and stemflow on silverleaf ironbark (*Eucalyptus metanophloia*) trees.—Austral. J. Ecol., 1980, vol. 5, N 4, p. 419—427.

221. Rajev I. Výsledky výzkumu v oblasti lesní hydrologie a jejich využití v lesním hospodářství BLR.—In: Lesníke vodní hospodářství v tvorbě Životního prostředí. Praha, 1982, p. 36—41.

222. Schmalz von I. Die Bedeutung des Waldes für den Wasserkreislauf. Aus dem Institut für Waldbau-Technik der Universität Göttingen.—Forstarchiv, 1969, 7/8.

223. Smith M. K., Watson K. K., Pilgrim D. H. A comparative study of the hydrology of Radiata Pine and eucalypt forests at Lidsdale, New South Wales.—Civ. Eng. Trans. Inst. Eng. Austral., 1974, vol. 16, N 1, p. 82—86.

224. Thompson J. P. Water yield reseach in Arizon's mixed conifer forest.—In: 18th Ann. Ariz. Watershed Symp. Proc. Phoenix, Ariz., 1974, p. 15—17.

225. Turner H. Der heitige Stand der Forshung über den Einfluß des Waldes auf das Klima.—Schweikerische zeitschrift für Forstwesen, 1968, Bd. 113, N 4/5, S. 335—348.

226. Urie D. H. Influence of forest cover on ground water recharge timing and use.—In: Symp. Hydrology. Oxford: Pergamon Press, 1967, p. 313—324.

227. Wind G. H. Influence of spatial arrangement of foliage area on light interception and pasture growth.—In: Proc. 8th Int. Grassl. Congr. Reading, 1960.

Предметный указатель

- Верховодка почвенная 15, 29, 43, 125, 141, 143
Влага почвенная
— — буферные запасы 122
— — дефицит 41, 125, 127, 132, 224
— — запасы 130, 176, 232
— — инфильтрация (фильтрация) 43, 144, 224, 229
— — потенциально доступная 118
— — фактически доступная 118
Влажность
— воздуха 104
— почв 231, 237
— — связь с возрастом насаждений 183
— — хроноизоплеты 128
Воднобалансовая площадка 13
Водный баланс (влагооборот)
— — внутрigoдовая структура 106, 212, 214
— — вырубok 187, 238, 266
— — годовой 172, 180, 188, 192, 207
— — за теплый период года 17, 157, 169, 176, 207
— — за холодный и переходные периоды года 17, 69, 168, 207, 224
— — зонально-географические закономерности 215, 218
— — леса 157, 165, 168, 172, 188, 196, 205, 224, 229
— — лиственных насаждений 168, 172, 185, 207
— — многолетние закономерности 208, 215
— — открытых пространств (полей) 157, 165, 167, 172, 205, 207, 215, 238
— — по периодам года 207
— — по типам леса 229
— — связь с возрастом насаждений 180, 185
— — связь с густотой насаждений 188, 191
— — смешанных насаждений 168, 207
— — формула 41
— — хвойных насаждений 168, 172, 185, 207, 229
Водорегулирующая емкость
— — лесов 25, 96
— — почв 99
Водосборные бассейны 30, 32, 224
Гидрологическая роль
— — возраста насаждений 180, 247, 265
— — вырубok 236, 238
— — густоты насаждений 188, 240, 247, 266
— — классификация насаждений 240, 253
— — — площадей 254

- — концепции 205, 262, 267
- — — иссушающая 205, 220, 267
- — — иссушающе-увлажняющая 205, 225, 267
- — — неопределенная 205, 228, 267
- — — увлажняющая 205, 230, 267
- — корневых систем 18, 117, 233
- — критерии оценки 240, 245, 265
- — лесных насаждений 172, 180, 188, 196, 205
- — лесосушительные мелиорации 202, 266
- — лиственных насаждений 172, 242, 265
- — методы регулирования 240
- — открытых пространств 157, 165, 205, 215, 217, 235, 249, 266
- — подстилки 94
- — полога леса 45
- — почвогрунтов 99, 102, 217
- — породного состава насаждений 172, 245
- — продуктивности насаждений 196, 248, 266
- — рекомендации по повышению 250
- — структуры лесов 251
- — термины 18, 23, 24
- — условий местопроизрастания 240
- — хвойных насаждений 172, 242, 265
- — холодный период года 158, 165
- — экономическая оценка 257, 268
- Гидрологическая спелость лесов 187
- Гидрологические процессы
 - — в пологе леса 45
 - — в почвогрунтах 94
 - — под пологом леса 72
- Грунтовые воды
 - — баланс 151, 154
 - — влияние леса 147, 156, 256
 - — динамика уровней 149
 - — классификация 156
 - — питание 154
 - — расход на транспирацию 153
 - — типы режима 224
 - — утепляющая роль для почв 112
- Иллювиальный горизонт почв 15, 29, 43
- Испарение (испаряемость)
 - — механический состав почвы 40
 - — переходные периоды года 162, 166, 209
 - — подпологовое 84
 - — потенциальное 17, 215
 - — почва и напочвенный покров 11, 84, 87, 93, 224, 229, 231
 - — с полога леса (см. осадки — задержание)
 - — со снега 39, 74, 190
 - — роль подстилки 89
 - — структура по сезонам года 162, 207, 209, 212
 - — суммарное
 - — — возраст насаждений 83, 180, 185
 - — — вырубки 237
 - — — густота насаждений 83, 91, 189, 190
 - — — лес 163, 206, 226, 231
 - — — переходные и холодный периоды года 158, 165, 206, 209
 - — — поле 163, 206, 209
 - — — природные зоны 138, 218
 - — — состав насаждений 85, 87, 92, 159, 163, 172, 177, 179, 182, 209, 229

- — — структура по видам 138
- — — структура по сезонам года 158, 209, 212
- — фактическое 17, 215
- Испарители 39, 40
- Испаритель-лизиметр 39

Корневые системы

- — водорегулирующий аспект 117
- — водоохраный аспект 117
- — гидрологическая роль 18, 117, 211, 233
- — глубина в почве 22, 27, 117, 118, 121, 124, 130, 133, 211
- — классификация по влагопотреблению 130, 211
- — корнеобитаемая зона 15, 17, 38, 99, 130, 211
- — насыщенность почв 119
- — почвогрунты песчаные 117, 118, 130, 132, 211
- — — суглинистые 118, 130, 211

Леса

- водоохранная роль 18, 23, 26, 141, 240
- водоохранно-защитная роль 19, 23, 241
- — — соподчиненность функций 24
- водорегулирующая емкость 5, 25, 96
- водорегулирующая роль 19, 23, 25, 120, 141, 240
- десукционная роль 267
- защитное значение 20, 25
- классификация гидрологических функций 23, 24, 240, 253
- коэффициент защитности 25
- метеорологический режим 102, 189
- перехват солнечной радиации 103, 189
- терморегулирующее значение 5, 102, 105

Методика наблюдений

- — верховодка почвенная 45
- — влагозапасы почв 32, 166
- — влажность воздуха 32
- — влажность почвы 32, 37
- — водный баланс 165
- — — грунтовые воды 38, 41, 42, 151
- — задержание (перехват) осадков 35, 53
- — запасы воды в снеге 37, 53
- — испарение с почвы и напочвенного покрова 39, 43, 92
- — испарение снега 39, 161
- — испарение суммарное 160, 165
- — — испаряемость 32, 39, 42, 81
- — поступление осадков 35
- — промерзание почв 32
- — сток поверхностный 39
- — — суммарный 42, 166, 170
- — температура почвы 32
- — транспирация 41, 43, 134

Методы исследований 9, 11, 13, 14, 16

Микроиспаритель 39, 81

- Мощность корнеобитаемой зоны почв 15, 17, 38, 99, 130, 211
- — — неограниченная 130, 148, 211
- — — ограниченная 131, 148, 211

Объекты наблюдений 7, 28, 32

- — воднобалансовые бассейны 30, 32
- — гидрологические площадки 32

- метеорологические условия 34, 35, 189
- почвы 29, 34
- районы 7, 28
- таксационная характеристика 30, 33
- экспериментальные площадки 30, 32
- Осадки атмосферные
 - влияние лесов на выпадение 45, 226
 - емкость задержания 55
 - задержание пологом 32, 35, 52, 54, 172, 179, 182, 185, 192, 194, 229
 - годовые 61, 77
 - жидкие 62, 64, 67, 77
 - смешанные 69, 77
 - твердые 72, 76, 77
 - возраст насаждений 63, 182, 185
 - густота насаждений 65, 192, 194
 - переходные периоды года 69
 - породный состав насаждений 58, 65, 172, 175, 179, 229
 - продуктивность насаждений 66
 - конденсационные (горизонтальные) 48, 73, 219
 - сток по стволам деревьев 32, 50, 68

Переходные периоды года 17, 69

Подстилка лесная

- влагоемкость 96
- влияние на испарение 85, 89, 93
- водопоглощение 98
- запасы 94

Промерзание почвогрунтов 102, 111

- густота насаждений 114
- поле 112
- породный состав насаждений 106, 112
- пространственная изменчивость 116
- снежный покров 114, 116
- сроки оттаивания 113

Почвы и грунты

- влажность завядания 29, 123
- водно-физические свойства 29, 99, 123
- водопоглощающая способность (влагоемкость) 29, 99, 123
- водопроницаемость 99, 101
- водорегулирующая емкость 99
- гидрологические константы 29, 125
- гидрологическая роль 99, 101
- глубина проникновения корней 117, 118, 121, 123
- механический состав 29, 34, 123, 125
- плотность 100, 123
- промерзание 102, 111
- температура 32, 104
- типы по мощности корнеобитаемой зоны 130, 211

Рекомендации по повышению гидрологической роли лесов 251

Снежный покров

- возраст насаждений 79
- густота насаждений 79
- испарение 72
- породный состав насаждений 74
- продолжительность таяния 164
- сроки схода 164

Сток влаги

- — грунтовый 140, 224, 244
- — поверхностный 25, 140, 171, 224, 244
- — почвенный 140, 224, 244
- — суммарный 216, 224, 234
- — — возраст насаждений 182, 185
- — — густота насаждений 188, 194
- — — лесные водосборы 224, 226
- — — лесистость 236
- — — полевые водосборы 224, 226
- — — породный состав насаждений 172, 175, 179
- — — формула определения 41, 42

Температура

- воздуха 89, 103
- леса и поля 104
- почвогрунтов 104
- — активная 110
- — породный состав насаждений 106, 109

Транспирационное сопротивление 12, 134

Транспирация 121, 133, 210

- влажность почв 140
- возраст насаждений 134, 182, 185
- густота насаждений 192, 194
- зонально-географические особенности 137
- интенсивность 12, 134
- коэффициент транспирационный 15, 135
- метеорологические факторы 12, 139
- относительная 12
- породный состав насаждений 134, 140, 172, 175, 177, 182, 185, 299
- почвенно-грунтовые условия 140
- соотношение с задержанием осадков пологом 210

Увлажнение почвогрунтов

- — неограниченное 130, 211
- — ограниченное 130, 211
- — типы 130, 211

Экспериментальные площадки 30, 32

Оглавление

Предисловие редактора	3
Предисловие	5
1. О методических подходах к изучению и оценке гидрологической роли лесов	9
1.1. Методы исследований	—
1.1.1. Сравнительные наблюдения на речных водосборах	—
1.1.2. Расчетные способы определения суммарного испарения и стока	11
1.1.3. Наблюдения на элементарных бассейнах, стоковых и водно-балансовых площадках	13
1.1.4. Воднобалансовый метод	—
1.2. Некоторые вопросы организации исследований и анализа результатов наблюдений	16
1.3. Некоторые терминологические вопросы. Классификация гидрологических функций лесов	18
2. Объекты исследований, состав, продолжительность и методика наблюдений	28
2.1. Объекты исследований и продолжительность наблюдений	—
2.2. Методика наблюдений	35
2.3. Анализ результатов исследований, определение суммарного испарения и стока	41
3. Гидрологическая роль полога леса	45
3.1. Влияние лесов на выпадение осадков	—
3.2. Конденсационные осадки	48
3.3. Задержание осадков пологом леса	52
3.3.1. О методике учета осадков	53
3.3.2. Общие закономерности задержания осадков	54
3.4. Влияние структуры насаждений на задержание осадков	58
3.4.1. Породный состав насаждений	—
3.4.2. Возраст насаждений	63
3.4.3. Густота насаждений	65
3.5. Сток осадков по стволам деревьев	68
3.6. Особенности задержания осадков в переходные периоды года	69
4. Гидрологические процессы под пологом леса и факторы, их обуславливающие	72
4.1. Некоторые особенности баланса твердых осадков	—
4.2. Структура насаждений как фактор снегонакопления	74
4.2.1. Породный состав насаждений	—

4.2.2. Возраст и густота насаждений	79
4.3. Испаряемость и испарение	81
4.3.1. Испаряемость	—
4.3.2. Испарение	84
5. Гидрологические процессы и влагооборот в почвогрунтах	94
5.1. Гидрологическая роль лесной подстилки	—
5.2. Гидрологическая роль почвогрунтов	99
5.2.1. Водно-физические свойства почвогрунтов	—
5.2.2. Промерзание почвогрунтов и факторы, его обуславливающие	102
5.3. Гидрологическая роль корневых систем	117
5.4. Влагооборот в почвенно-грунтовой толще	122
5.5. Расход влаги из почвы на транспирацию	133
5.5.1. Различия транспирации в зависимости от породного состава и возраста насаждений	134
5.5.2. Зонально-географические особенности транспирации насажде- ниями	137
5.6. Поверхностный и почвенный сток	140
5.7. Влияние лесов на питание и расход грунтовых вод	147
6. Водный баланс лесов и открытых пространств, их влияние на испаре- ние и сток	157
6.1. Гидрологические особенности отдельных периодов года	—
6.2. Водный баланс лесов и открытых пространств в холодный и пере- ходные периоды года	165
6.3. Особенности влагооборота в теплый период года, их определение	169
6.4. Особенности годового влагооборота в насаждениях различной струк- туры	172
6.4.1. Состав насаждений	—
6.4.2. Возраст насаждений	180
6.4.3. Густота насаждений	188
6.4.4. Продуктивность фитоценозов	196
6.5. Гидрологические последствия осушительных мелиораций	202
7. Анализ основных закономерностей влагооборота в лесах и на открытых пространствах	205
7.1. Особенности внутригодовой структуры влагооборота в лесах и на открытых пространствах	206
7.2. Многолетние и зонально-географические закономерности влагообо- рота в лесах и на открытых пространствах	215
8. Анализ основных концепций гидрологической роли лесов	220
8.1. Концепция иссушающей роли лесов	—
8.2. Концепция иссушающе-увлажняющей роли лесов	225
8.3. Концепция неопределенной роли лесов	228
8.4. Концепция всеобщей увлажняющей роли лесов	230
8.5. Соотношение гидрологической роли полей и открытых пространств среди леса. Антропогенные воздействия на сток	235
9. Критерии оценки, пути и методы целенаправленного регулирования гид- рологической роли лесов	240
9.1. Существующие требования к лесам гидрологического значения, их недостатки	—
9.2. Дифференцированные критерии гидрологической роли лесов	245
9.2.1. Породный состав насаждений	—

9.2.2. Возраст и густота насаждений	247
9.2.3. Продуктивность насаждений	248
9.2.4. Лесные и нелесные площади	249
9.3 Мероприятия по повышению гидрологической роли лесов	250
9.3.1. Рекомендации по дифференцированной оценке и повышению гидрологической роли лесных насаждений	251
9.3.2. Классификация лесных площадей и насаждений по их гидрологической роли	253
9.3.3. Экономическая оценка гидрологической роли лесов	257
Заключение	262
Список литературы	269
Предметный указатель	279

Монография

Николай Александрович Воронков

Роль лесов в охране вод

Редактор Т. С. Шмидт. Художник Е. Е. Городная. Технический редактор Г. В. Ивкова. Корректор Л. А. Сандлер. ИБ № 1558. Сдано в набор 28.03.88. Подписано в печать 3.08.88. М-38299. Формат 60×88¹/₁₆. Бумага типографская № 1. Литературная гарнитура. Печать высокая. Печ. л. 18,0. Кр.-отт. 18,0. Уч.-изд. л. 20,58. Тираж 2720 экз. Индекс ГЛ-66. Заказ № 827. Цена 3 р. 50 к. Гидрометеиздат. 199226. Ленинград, ул. Беринга, 38. Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14. ►

Отпечатано с набора в Ленинградской типографии № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 190000, Ленинград, Прачечный переулок, 6. Зак. 481.