

На правах рукописи

Карпечко Юрий Васильевич

**ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА ВОДОРСБОРЫ В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ  
ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ**

**Специальность**

**25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
доктора географических наук**

**Санкт-Петербург  
2004**

Работа выполнена в Институте водных проблем Севера  
Карельского научного центра РАН

Официальные оппоненты:

Доктор географических наук,  
профессор

А.М. Догановский

Доктор географических наук,  
профессор

Н.И. Коронкевич

Доктор физико-математических наук,  
профессор

С.А. Кондратьев

Ведущая организация: Санкт-Петербургский научно-  
исследовательский центр  
экологической безопасности

Защита диссертации состоится 18 ноября 2004 г. в 15<sup>30</sup> часов на  
заседании диссертационного совета Д 212.197.02 при Российском  
государственном гидрометеорологическом университете по адресу:  
195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., д. 98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского  
государственного гидрометеорологического университета

Автореферат разослан "15" октября 2004 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
кандидат географических наук

  
В.Н. Боробов

2005-4  
13536

899275

## Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** Преобразование атмосферных осадков в сток является следствием различных процессов, протекающих в атмосфере, почвогрунтах и растительном покрове, в значительной степени подвергающихся антропогенному воздействию, гидрологическая роль которого до настоящего времени остается недостаточно изученной. Хозяйственной деятельностью охвачена значительная часть площади суши нашей планеты и, как утверждает Л.Н. Гумилев (1989), девственных земель к настоящему времени не осталось. Однако проявление этой деятельности в водном балансе водосборов зависит от ее видов, темпов развития различных направлений и физико-географических условий, поэтому региональные исследования гидрологической роли хозяйственной деятельности являются важной частью «антропогенного направления» в гидрологии.

В таежной зоне одним из основных антропогенным факторов является заготовка древесины и связанные с ней лесохозяйственные работы. Формирование лесных экосистем происходит здесь на значительных площадях под влиянием лесохозяйственной деятельности человека. Средообразующая роль этих лесов меняется с возрастом. По составу растительных сообществ и возрастным показателям они отличаются от девственных, и до настоящего времени остается нерешенным вопрос о допустимом соотношении площадей естественных и преобразованных биогеоценозов с точки зрения их природообразующих и экологических функций. Большие проблемы в оценке влагооборота в лесу возникают в связи с возможными преобразованиями условий произрастания растительности, вызванными долгопериодными колебаниями климатических характеристик.

Требуют дальнейшего изучения долгосрочные последствия выполненных ранее гидромелиоративных работ. Осушение болот ведет к существенному преобразованию водного и теплового режимов переувлажненных территорий, их взаимосвязей с окружающими ландшафтами. При этом процессы трансформации торфяной залежи не прекращаются во времени в связи с разложением и потреблением органического вещества торфа, его уплотнением и осадкой. Интенсивность этих процессов зависит от вида использо-

РОС. НАЦИОНАЛЬНАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
С.Петербург  
09 300 4804

вания торфяников и метеорологических характеристик. Кроме того, осадка и сработка торфа, а также совершенствование способов осушения приводят к необходимости проведения ремонтных работ и реконструкций осушительных систем, при которых могут значительно меняться глубина и густота дренажной сети, уровень почвенно-грунтовых вод (УПГВ) и другие характеристики, определяющие гидрологическую роль данного объекта. Поэтому гидрологические исследования мелиорируемых земель на фоне противоречивых оценок изменений годового и максимального стока продолжают оставаться актуальными.

Одним из возможных направлений развития энергетики в Карелии является строительство малых и средних ГЭС (Г.А. Борисов, Г.И. Сидоренко, 1999). В этой связи интерес представляет оценка природоформирующей роли уже существующих здесь водохранилищ. К настоящему времени за пределами исследований, выполненных в рассматриваемом регионе, остались такие важные, с точки зрения экологии, задачи, как оценки антропогенной составляющей уровня режима водохранилищ и изменения элементов водного баланса.

Недостаточно изучено преобразование гидрологических процессов под влиянием градостроения и дорожного строительства. В результате урбанизации резко преобразуются условия формирования элементов водного баланса, изменяется водообмен поверхностных и подземных вод. Кроме того, в пределах городских территорий для удовлетворения нужд населения во влагооборот вовлекается большой объем воды. Действие всех этих факторов может привести к нежелательным хозяйственным и экологическим последствиям.

При оценке влияния антропогенного фактора на формирование элементов водного баланса практически не учитывается форма воздействия и временная структура процессов, возникающих и преобразованных в результате хозяйственной деятельности на водосборе. Серьезным недостатком при решении задач, связанных с оценкой влияния на сток лесопромышленной деятельности, является отсутствие в гидрологических исследованиях дифференциации лесов на коренные и производные. Поэтому усовершенствование методологии изучения гидрологической роли антропогенного фактора в различных природных условиях является в настоящее время важной и актуальной задачей.

**Цель исследований.** Целью исследований является разработка методологии и методов оценки влияния хозяйственной деятельности на формирование элементов водного баланса в условиях таежной зоны Европейского Севера России (ЕСР) и оценка гидрологической роли наиболее распространенных здесь видов антропогенного воздействия, в том числе в условиях долгопериодных колебаний климатических характеристик.

**Задачи исследований.** Данная цель исследований предполагает решение следующих задач:

- распределить все виды антропогенного воздействия, характерные для исследуемого региона, по формам воздействия, определяющим устойчивость преобразованных геосистем, продолжительность переходных периодов и выбор метода гидрологической оценки;

- разработать методы оценки влияния лесопромышленных работ, гидротехнической мелиорации, строительства водохранилищ, дорог и городов на элементы водного баланса с учетом временной структуры преобразовательных процессов и форм воздействия;

- разработать и апробировать методы определения элементов водного баланса водосборов, преобразуемых в результате антропогенного воздействия;

- разработать методы определения биометрических и таксационных характеристик растительного покрова, необходимых для расчета испарения;

- оценить влияние возраста и условий произрастания производных лесов на испарение с них и выявить особенности их влагооборота по сравнению с девственными (коренными);

- разработать метод оценки влияния возможных изменений и колебаний климатических характеристик на продуктивность и испарение лесов;

- собрать информацию о преобразовании водно-физических свойств осушаемых торфяников и оценить изменения элементов водного баланса и максимального стока в результате осушения болот и заболоченных лесов;

- оценить величину антропогенной составляющей уровня режима озерных водохранилищ и изменение испарения с водосборов в результате строительства водохранилищ;

- оценить гидрологическую роль строительства дорог и городов в зависимости от вида покрытия дорожного полотна и плотности городской застройки;

- оценить комплексное влияние хозяйственной деятельности на годовую сток с водосборов исследуемой территории.

**Объекты и методы исследований.** Решение поставленных задач основывалось на комплексном подходе, включающем полевые исследования гидрофизических и гидрологических процессов на нарушенных антропогенным фактором водосборах; теоретические обобщения особенностей формирования элементов водного баланса в различных природных условиях; теоретические обоснования, разработку и апробацию методов определения элементов водного баланса в условиях воздействия наиболее распространенных на ЕСР видов хозяйственной деятельности.

Полевые работы с участием автора выполнялись в период с 1978 по 2002 г. в основном на Корзинском мелиоративном стационаре (южная Карелия, среднетаежная подзона тайги).

Исследования выполнялись в рамках тем фундаментальных исследований Институты биологии и водных проблем Севера КарНЦ РАН: «Изучение влияния мелиораций на гидрофизические свойства почв, водосборов и окружающую среду в Карельской АССР» (1980–1984 гг., № 0285. 0035369); «Изучение путей регулирования основных режимов осушаемых почв для получения планируемых урожаев с учетом экологических последствий хозяйственной деятельности в условиях Севера» (1985–1990 гг., № 01.85. 0009892); «Исследование влияния хозяйственной деятельности на водосборе на режим и качество поверхностных и подземных вод Карелии» (1991–1995 гг., № 01.9.300033400); «Эколого-гидрологические и гидрогеологические последствия антропогенного воздействия в природно-территориальных комплексах Карелии» (1996–1998 гг., № 01950006056); «Эколого-гидрологические проблемы хозяйственного освоения водосборов» (1999–2002 гг., № 01.99.0007153).

Исследования проводились при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 02-05-97510), программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН «Изменения природно-территориальных комплексов России в зонах интенсивного техногенного воздействия» (проект 9).

**Предмет защиты.** Решение важной проблемы оценки влияния хозяйственной деятельности на формирование речного стока в таежной зоне ЕСР, являющегося одним из необходимых критериев при решении экологических задач и планировании водохозяйственных мероприятий. На защиту выносятся:

- методы оценок и теоретические обоснования их выбора при определении гидрологической роли наиболее распространенных в таежной зоне ЕСР видов хозяйственной деятельности;

- методы расчета элементов водного баланса водосборов в условиях антропогенного воздействия;

- оценки гидрологической роли лесопромышленных работ, гидротехнической мелиорации, строительства водохранилищ, дорог и городов на водосборах.

**Научная новизна:**

- предложена классификация видов хозяйственной деятельности на водосборах ЕСР в зависимости от формы воздействия и продолжительности начального периода освоения территорий, позволяющая более объективно подойти к выбору метода оценки преобразований элементов водного баланса;

- предложены формулы для расчета отдельных биометрических характеристик леса (прироста стволовой древесины, массы хвои (листвы), листового индекса), необходимых при решении гидрологических задач;

- разработаны и апробированы методы определения составных частей среднесезонных величин суммарного испарения с леса (испарения с полога леса твердых и жидких осадков, испарения с наземного покрова за год и за зимний период) и вырубок за год и по сезонам;

- получена зависимость соотношения величин испарения с хвойного леса и поля от массы хвои;

- установлена зависимость динамики и общей величины суммарного испарения с эксплуатируемого леса от условий произрастания древостоя;

- рассчитана динамика годовой величины суммарного испарения с наиболее распространенных для ЕСР типов леса;

- разработан метод оценки изменения продуктивности леса и суммарного испарения при преобразовании климатических характеристик и рассчитана динамика суммарного испарения с наиболее

распространенных для ЕСР типов леса для условий приращения среднегодовой температуры воздуха в пределах от  $-1$  до  $+2^{\circ}\text{C}$ ;

- рассчитаны величины суммарного испарения с некоторых типов девственных лесов и для них получена динамика антропогенной составляющей испарения, как относительно спелого производного (относительная оценка), так и относительно девственного (абсолютная оценка) леса;

- разработан метод расчета влагозапасов осушаемых низинных торфяников;

- разработан метод оценки изменения элементов водного баланса при гидролесомелиорации, с помощью которого рассчитано изменение стока после осушения различных типов заболоченных лесов и болот для условий Карелии;

- разработан метод расчета и получена динамика антропогенной составляющей стока с осушаемых болот и заболоченных лесов за период их освоения и эксплуатации в сельскохозяйственном производстве;

- оценено изменение элементов водного баланса при строительстве водохранилищ, дорог и городов на территории Карелии и Мурманской области и получена зависимость изменения испарения от климатических факторов;

- выполнена оценка влияния осушения болот на максимальные расходы весеннего половодья и дождевых паводков и предложены методы их расчета.

**Практическая ценность и внедрение результатов исследований.** На основании результатов исследований формирования стока на осушаемых для сельскохозяйственного использования болотах были подготовлены (в соавторстве) рекомендации для расчета максимальных расходов дождевых паводков и переданы для практического использования в Карельское отделение института «Ленгипроводхоз».

Результаты исследований по оценке изменений элементов водного баланса вошли в выполненный по заданию Министерства экологии и природных ресурсов РК раздел комплексной программы 4.2.2 «Заонежье» «Поверхностные и подземные воды Заонежья и прилегающих заливов Онежского озера, влияние на них хозяйственной деятельности человека» и использовались в дальнейшем при оценке и контроле за состоянием природных



ресурсов в Заонежье и проведении экспертиз проектов развития этого района.

Исследования влияния строительства водохранилищ на водный баланс водосборов и гидрологический режим рек и озер нашли применение при проведении экспертизы "Правил эксплуатации водохранилищ каскада ГЭС на р. Кеми".

Разработаны и переданы в комитет по природным ресурсам РК рекомендации, направленные на улучшение экологической ситуации в Карелии при лесопользовании.

Некоторые результаты исследований вошли в подготовленные автором методические указания к выполнению лабораторных и практических работ и используются в курсах "Агрометеорология", "Мелиорация" и "Лесная метеорология" при обучении студентов агрономической и лесохозяйственной специальностей.

**Апробация работы.** Результаты исследований докладывались и обсуждались на различных конференциях и совещаниях, в том числе, на конференциях по мелиоративной географии в г. Перми (1983), в г. Смоленске (1991), на международном семинаре «Биотическая регуляция окружающей среды» в г. Петрозаводске (1998), на международных конференциях «Биологические основы изучения, освоения и охраны животного и растительного мира, почвенного покрова Восточной Фенноскандии» и «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера» в г. Петрозаводске (1999).

#### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 53 работы, в том числе 1 монография (соавтор И. М. Нестеренко), 9 статей в рецензируемых изданиях и 4 учебно-методические работы.

#### **Объем и структура работы**

Диссертация состоит из введения, 10 глав, заключения, приложения и списка литературы. Объем диссертации составляет 303 страницы текста, включая 100 таблиц, 44 рисунка и 8 приложений.

## Содержание работы

**Во введении** обосновывается актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, показаны научная новизна и практическая значимость работы, представлены основные положения

ния, выносимые на защиту. Приводятся сведения об апробации исследований и внедрении их результатов.

**В первой главе** сформулированы задачи, решаемые при исследовании гидрологических последствий антропогенного воздействия на водосборы. Все задачи взаимосвязаны, поэтому в основном они решаются комплексно, и целью большинства работ являлась оценка изменения различных характеристик речного стока и водных ресурсов исследуемых территорий. Большое внимание, уделяемое стоку, объясняется ростом дефицита высококачественных водных ресурсов в отдельных регионах, необходимостью совершенствования методов расчета его характеристик для строительства водохозяйственных сооружений и решения экологических задач. В работе подчеркивается, что большая заслуга в решении данных гидрологических задач принадлежит ученым многих стран, и одно из ведущих мест занимают российские исследователи.

Приводится анализ региональных особенностей проявления в водном балансе водосборов наиболее распространенных в таежной зоне ЕСР видов хозяйственной деятельности.

Большая часть территории ЕСР, включающей Архангельскую, Вологодскую, Мурманскую области и республики Карелию и Коми, расположена в таежной зоне и, соответственно, имеет высокую залесенность. Средняя лесистость территории ЕСР составляет около 47%. Поэтому здесь одним из основных видов хозяйственной деятельности человека является заготовка древесины. С различной степенью интенсивности леса ЕСР эксплуатировались уже с XVI века.

В зависимости от состава растений и возрастной структуры леса таежной зоны делят на девственные (коренные) и производные (эксплуатируемые). Коренные леса представляют собой относительно устойчивую фазу естественного развития лесных сообществ, наиболее соответствующую экологическим условиям данной местности в данный период геологического времени (А.Д. Волков, 1998). Временная устойчивость возрастного и породного состава, характеризующая коренные леса, обуславливает устойчивость условий формирования в них элементов водного баланса.

Коренные леса, разрушенные деятельностью человека или природными факторами, называют производными. Основная, с

гидрологической точки зрения, особенность производных лесов заключается в значительной вариации площадей, занятых древостоем различного породного состава и возраста. Это определяет как пространственные, так и временные вариации элементов водного баланса.

Гидрологическая роль лесов во многом определяется условиями произрастания древостоя и его продуктивностью. Большая часть лесопокрытой площади на исследуемой территории занята зеленомошными, долгомошными и сфагновыми группами типов. Наиболее продуктивными являются зеленомошные леса, среди которых преобладают черничники и брусничники. Абсолютная величина класса бонитета уменьшается в южном направлении, что свидетельствует о повышении продуктивности древостоя с улучшением климатических условий и увеличении плодородия почв. В пределах рассматриваемой территории изменение бонитета по направлению с севера на юг происходит в среднем от V.5-V до IV.5-IV класса.

При расчете транспирации используются характеристики фитомассы, в качестве которых обычно принимают массу листвы ( $m$ ) и листовой индекс ( $LAI$ ). Для их вычисления автором предложены формулы:

$$m = MKc \exp(-dh), \quad (1)$$

$$LAI = k_1 m, \quad (2)$$

где  $m$  - масса листового аппарата, т/га;  $M$  - запас стволовой древесины, м<sup>3</sup>/га;  $K$  - коэффициент, показывающий долю хвои (листвы) в общем запасе зелени и равный для сосны 0.78, для ели - 0.60, для березы - 0.56;  $c$ ,  $d$  - коэффициенты регрессии, равные соответственно для сосны 0.25, 0.088; для ели - 0.77, 0.088 и для березы - 0.28, 0.079;  $k_1$  - переходный коэффициент, равный 0.35 для сосны, 0.28 для ели, 0.62 для березы и 0.52 для кедра, га/т.

Для расчета средней высоты древостоя в зависимости от его возраста и бонитета на основании существующих таксационных таблиц получены и приведены в работе регрессионные уравнения. Нами разработан метод расчета прироста стволовой древесины. Для северо- и среднетаежной подзон на основании обобщения большого количества опубликованных данных для наиболее распространенных типов леса и бонитета в лаборатории гидрологии и водохозяйственных исследований ИВПС КарНЦ РАН под руково-

дством и при непосредственном участии автора получены аппроксимирующие зависимости высоты и запаса стволовой древесины от возраста древостоя.

В работе приводятся результаты анализа зависимости продуктивности древостоя от климатических факторов, выполненного под руководством автора. Было установлено, что изменчивость класса бонитета ( $K_B$ ) в каждом типе леса обуславливается в основном температурным фактором. Для наиболее распространенных типов сосняков, ельников и березняков были получены расчетные зависимости класса бонитета от суммы температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  ( $\Sigma T_{>10}$ ):

$$K_B = a + b \cdot \ln(\Sigma T_{>10}), \quad (3)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты регрессии, зависящие от типа леса.

Характерной особенностью ЕСР является большая заболоченность. Более 30% территории представлено болотами и заболоченными лесами. Следствием неблагоприятного для развития сельского и лесного хозяйств водного режима почв на значительной части территории является широкое развитие гидромелиоративных работ. Работы по осушению болот на севере России для расширения площадей сельхозугодий и для лесного хозяйства регулярно ведутся с XIX века.

Наибольшее развитие гидротехническая мелиорация получила в 60-е годы и достаточно интенсивно проводилась почти до 1990 г. В настоящее время на территории ЕСР доля осушенных угодий не превышает нескольких процентов от общей площади. Однако их распределение по территории неравномерное. Основной объем мелиоративных работ выполнялся в более благоприятных в климатическом отношении районах, поэтому здесь на отдельных небольших водосборах осушаемые земли занимают более 10% от площади бассейна.

Значительная часть водохранилищ Карелии и Мурманской области создана в результате подтопления озер и к настоящему времени в этих регионах затоплено соответственно около 1.6 и 1.4 тыс. км<sup>2</sup> суши. При этом только на водосборах отдельных рек увеличение площади водной поверхности незначительно превышает 3%. Водоохранилища создавались в основном для целей гидроэнергетики и нужд лесной промышленности (для лесосплава). Кроме того, они используются для водоснабжения, судоходства, рыболовства и

рыбоводства, могут служить целям рекреации. Строительство их на Севере начато еще в начале XVIII века, однако наиболее интенсивное гидротехническое строительство было развернуто в 30-е годы XX века и продолжалось до 90-х годов того же столетия.

Города и сельские населенные пункты, а также дороги, связывающие их, существенно меняют условия формирования элементов водного баланса. Однако, их гидрологическая роль до настоящего времени на территории ЕСР остается невысокой. Это обусловлено в первую очередь низкой плотностью населения, которая изменяется по республикам и областям региона от 2 до 9 человек на 1 км<sup>2</sup>. Влияние этих видов деятельности на водный баланс может быть заметным только на отдельных малых бассейнах.

**Во второй главе** рассмотрены методологические особенности исследований влияния хозяйственной деятельности на элементы водного баланса. К важным факторам, определяющим успешность решения этих задач, принадлежит временная структура процессов, преобразующих компоненты ландшафта при переходе его после воздействия в другое состояние. Вместе с тем, сейчас фактор времени, к сожалению, мало учитывается при гидрологическом анализе и оценке проводимой на водосборе хозяйственной деятельности. Особенно велико значение времени в гидрологических процессах после гидроресомелиорации и рубок. На протяжении всего периода после рубок вплоть до климаксовой стадии развития леса (более 300 лет) происходят непрерывные преобразования растительного покрова, которые определяют изменение влагооборота всего биогеоценоза.

На преобразуемых в ходе хозяйственного освоения территориях мы выделяем три существенно различающихся по условиям формирования, динамике и соотношениям элементов водного баланса периода: период воздействия (строительный), переходный период и период динамической стабилизации.

В строительный период выполняются соответствующие для каждого вида хозяйственной деятельности работы. С гидрологической точки зрения данный этап характеризуется, в большинстве случаев, снижением испарения с осваиваемой территории и увеличением стока, что при гидротехнической мелиорации происходит также из-за появления дополнительного стока с осушаемых и прилегающих к ним угодий за счет снижения уровня подземных вод и

трансформации торфяника. Продолжительность периода зависит от ряда объективных и субъективных факторов и в зависимости от вида деятельности может длиться от нескольких месяцев до нескольких лет.

В переходный период наблюдается интенсификация всех процессов, направленных на возврат данного геокомплекса в старое или переход в новое, отвечающее измененным условиям состояние. Продолжительность периода зависит от вида хозяйственной деятельности.

При гидротехнической мелиорации за окончание второго этапа можно принять завершение интенсивных преобразований водно-физических характеристик почвогрунтов, обуславливающих достаточно высокий дополнительный сток с торфяника за счет его уплотнения, сработки и осадки поверхности. Рассчитанная по данным наблюдений в южной Карелии среднегодовая величина дополнительного стока за первые 5 лет сельскохозяйственного освоения болота составила 65 мм (~25% среднерегionalной величины речного стока). После 5 лет осушения интенсивность уплотнения торфа и понижения его поверхности значительно снижается, величина дополнительного стока уменьшается до уровня в 10 – 20 мм/год. Поэтому продолжительность переходного периода при мелиорации в северных условиях мы принимаем равной 3-5 годам. Такая длительность интенсивных преобразований характерна как при сельскохозяйственной мелиорации, так и при гидроресомелиорации.

При лесопромышленной деятельности после рубок главного пользования окончание переходного периода соответствует завершению лесовосстановительного процесса, который, по мнению лесоводов, продолжается не более 15 лет. За это время более 90% вырубок покрывается деревьями (С.С. Зябченко, 1984). Интенсивность их зарастания определяет интенсивность изменения элементов водного баланса. Наибольшее увеличение суммарного испарения отмечается в первые 5 лет. За этот период относительная величина испарения с вырубки (в сравнении с испарением со спелого леса) в среднем возрастает от 45% до 75%, а с 10-летней вырубки испаряется уже около 90% от величины эвапотранспирации со спелого леса.

После рубок промежуточного пользования преобразования элементов водного и теплового баланса происходят в узких преде-

лах на фоне последовательных изменений этих элементов, обусловленных естественным развитием лесного биогеоценоза. Все это делает выделение переходного периода в данном случае нецелесообразным при решении практических задач.

Длительность переходного этапа при сооружении водохранилищ соответствует периоду его заполнения, и в зависимости от объема регулирующей емкости продолжительность этого периода для многих крупных водоемов составляет несколько лет, изменяясь, по мнению некоторых исследователей, от 2 до 8 лет.

При строительстве дорог и населенных пунктов, когда жестко закрепляются компоненты геоконструкса на определенном уровне развития, преобразование водного баланса завершается практически за период воздействия.

В третий период существенно снижается интенсивность всех вызванных антропогенным вмешательством процессов, определяющих изменение водного баланса на преобразуемой человеком территории. Продолжительность этого периода может составлять от нескольких десятков лет до столетий.

В каждый из периодов (воздействия, переходный и динамической стабилизации) тот или иной вид хозяйственной деятельности может иметь различные гидрологические последствия, поэтому при оценке и прогнозе преобразований элементов водного баланса важным фактором является продолжительность периодов. Длительность периодов воздействия и переходного невелика. Происходящие в это время изменения, часто на сравнительно небольших территориях практически не влияют на влагооборот крупных бассейнов. Наибольший интерес вызывает оценка гидрологической роли хозяйственной деятельности в период динамической стабилизации. Для определения момента ее начала приводится обобщенная информация о продолжительности периода от даты начала строительства до окончания интенсивных преобразований на водосборе (табл. 1).

Для подавления реакций системы, возвращающих ее после воздействия в прежнее положение, и поддержания состояния геоконструкса в преобразованном виде, который соответствует требованиям хозяйственной деятельности человека, нужны дополнительные затраты энергии. Это выражается в необходимости периодического проведения ремонтных работ на различных объектах (дорогах, мелиоративных системах и т. д.) и рубок в эксплуатируемых лесах.

При отсутствии таких энергозатрат сохраняется возможность возврата геокомплексов в прежнее или близкое к нему состояние. В зависимости от вероятности возврата геокомплекса к прежнему состоянию мы предлагаем все виды хозяйственной деятельности разделить по формам воздействия, представляя эти формы как мягкую, жесткую и полужесткую (табл. 1). С формой воздействия связаны продолжительность переходного периода, количество компонентов-реципиентов, устойчивость геокомплекса в период динамической стабилизации и выбор метода оценки влияния данного вида деятельности на водный баланс.

Таблица 1

**Распределение различных видов хозяйственной деятельности по формам воздействия и продолжительности начального периода**

Виды хозяйственной деятельности	Продолжительность периода*	Формы воздействия
Леспром. деятельность	Большая (п.в. + 10+15 лет)	Мягкая
Гидротех. мелиорация для сельского хозяйства	Средняя (3+5 лет)	Полужесткая
для лесного хозяйства	Средняя (3+5 лет)	
Стр-во водохранилищ	Средняя (п.в. + 2+8 лет)	Жесткая
Стр-во и расширение населенных пунктов	Короткая (п.в.)	Жесткая
Стр-во дорог	Короткая (п.в.)	Жесткая
Стр-во пром. объектов	Короткая (п.в.)	Жесткая

Примечание. \* п.в. - период воздействия (строительства).

Наиболее вероятен возврат геокомплекса в прежнее состояние при лесопромышленной деятельности, когда основным компонентом-реципиентом является только растительный покров. Возникшие на вырубках производные леса, в случае отсутствия воздействия, могут в ходе последовательных сукцессий достичь климаксовой стадии развития - своего наиболее устойчивого состояния. Этот процесс продолжительный (несколько столетий), однако уже в спелом возрасте, когда древостой вырубает, антропогенные составляющие элементов водного баланса приближаются к минимальным значениям. Данную форму воздействия мы называем мягкой.



При таких видах хозяйственной деятельности, как строительство дорог, населенных пунктов, водохранилищ и др. устойчивое состояние преобразованных геокомплексов обеспечивается закреплением соответствующих природных компонентов на определенном уровне их естественных или искусственных преобразований или сооружением дополнительных рукотворных компонентов. В результате такого воздействия, которое мы называем жестким, создаются новые ландшафты, возврат от которых к старым в принципе исключается. И хотя древостой в лесной зоне, как указывается некоторыми исследователями, теоретически способен восстанавливаться даже на асфальтированных ранее участках, практическое осуществление этого события маловероятно. Закрепление границ преобразования при жесткой форме воздействия ускоряет переход геокомплекса в новое состояние.

При гидротехнической мелиорации новое состояние геокомплекса закрепляется осушительной сетью каналов и дренажей, глубина которых с течением времени уменьшается за счет заиления и зарастания каналов, сработки и осадки поверхности торфяника. Для поддержания необходимого для хозяйственной деятельности состояния геокомплекса требуется регулярный уход за осушительной сетью и ее ремонт. После прекращения интенсивного использования болота в сельском или лесном хозяйствах возможно возобновление торфонакопления на новом уровне развития болота. При этом скорость возврата старых условий функционирования болота зависит от метода и способа осушения. Такую форму воздействия, после которой новое состояние геокомплекса приходится поддерживать регулярным и частым проведением определенных мероприятий, можно назвать полужесткой.

**Третья глава** посвящена проблеме определения испарения с леса. Различные преобразования растительного покрова, происходящие как естественным путем, так и в результате хозяйственной деятельности человека, непосредственно отражаются на испарении. Вместе с тем во многих доведенных до практического использования и рекомендуемых в настоящее время методах почти не учитывается многообразие лесов, характеризующее их биометрическими и таксационными показателями. Поэтому применение таких методов является малополезным для гидрологических оценок хозяйственной деятельности в лесу, которая приводит к образованию определенного цикла

его развития, характеризуемого изменениями растительного покрова, возраста древостоя и запасов фитомассы.

При решении задач, связанных с исследованием влияния хозяйственной деятельности на гидрологические процессы в лесу, наиболее целесообразным является дифференцированный подход к рассмотрению испарения различными элементами леса:

$$E = E_t + E_i + E_s, \quad (4)$$

где  $E_t$  - транспирация древостоя;  $E_i$  - испарение задержанных пологом леса атмосферных осадков;  $E_s$  - испарение с наземного покрова.

В работе анализируются существующие методы расчета слагаемых уравнения (4) и рассматриваются возможности их использования для решения практических задач. В зависимости от временного шага все методы разделены на две группы: 1) для получения значений испарения за сутки и более короткие интервалы времени (З.П. Старцева, 2000; М. Ettala, 1988; М.Ј. Lexer, 1995 и др.) и 2) для расчета сезонных или годовых величин испарения (О.И. Крестовский, 1986; А.А. Книзе, О.И. Крестовский, 1993; Ю.В. Карпечко, В.И. Саковец, 1997; С.Ф. Федоров, 1977 и др.). Такое разделение определяет и необходимый объем информационной базы. Удлинение временного шага позволяет обойтись меньшим количеством более доступной информации, в то время как использование моделей с короткими временными шагами ограничивается в настоящее время возможностями получения необходимых для расчетов данных. Вместе с тем, для решения значительного количества водохозяйственных задач, связанных с расчетом или прогнозированием водных ресурсов, более важными являются сведения о среднесезонных или среднегодовых значениях суммарного испарения. Для получения этих величин нами предложены формулы расчета испарения с наземного покрова и осадков, задержанных пологом леса, а также уточнены параметры формулы для расчета транспирации древостоем:

$$E_t = m K_{tr}, \quad (5)$$

$$E_{il} = k_{Ei} P \ln(m+1), \quad (6)$$

$$E_{ils} = 0.01 P m, \quad (7)$$

$$E_{tws} = 0.065 d LAI n, \quad (8)$$

$$E_s = 0.8 E_0 \exp(-0.3 LAI), \quad (9)$$

где  $K_{tr}$  - коэффициент транспирационной активности, равный для

сосны, ели и березы 19, 8.5 и 35 мм/т;  $E_{II}$  – испарение жидких осадков с полога леса, мм;  $k_{E_I}$  – коэффициент, равный для сосны, ели и березы соответственно 0.105, 0.100, 0.108;  $P$  – атмосферные осадки, мм;  $E_{IIs}$  – испарение осадков с полога леса в переходный период, мм;  $E_{Iws}$  – испарение снега с полога леса, мм;  $d$  – среднесуточная величина дефицита влажности воздуха, ГПа;  $n$  – продолжительность расчетного периода, сут;  $E_0$  – испаряемость, мм.

Для определения годовой величины испарения с вырубок за период лесовосстановления (~15 лет) нами предлагается следующая зависимость:

$$E_{sl_\tau} = E_f(0.45 + 0.16(\ln(\tau + 1))), \quad r = 0.89, \quad (10)$$

где  $E_{sl_\tau}$  – испарение с вырубки, возраст которой  $\tau$ , мм;  $E_f$  – испарение со спелого леса, мм;  $\tau$  – продолжительность периода после сплошных рубок, годы.

Нужно отметить, что уравнение (4) до практического применения с годовым временным шагом было доведено О.И. Крестовским (1986), хотя способы расчета его отдельных составляющих за сезонные и годовые отрезки времени предлагались многими исследователями. Поэтому такой подход к расчету среднегодовых и среднесезонных значений суммарного испарения с использованием таксационных и биометрических показателей в дальнейшем мы называем методом Крестовского.

Проверка этого метода выполнена на 30 речных водосборах, расположенных в средней и северной подзонах тайги, где проводились гидрометеорологические наблюдения. Для каждого водосбора были получены данные о распределении покрытой лесом площади и запасов насаждений по преобладающим породам, классам возраста и бонитета. Характеристики древостоя лесных участков исследуемых водосборов в достаточно полной степени отражают все многообразие свойств северных лесов.

Средние значения испарения определялись традиционными методами и методом Крестовского для теплого сезона (май - октябрь) и для года за период 1979 - 1984 гг. В качестве традиционных способов расчета использовались метод водного баланса для определения средней величины годового испарения и комплексный метод - для теплого сезона. Метод Крестовского был реализован с нашими изменениями и дополнениями, представленными

выше (формулы (5) – (9)), а необходимые для расчета характеристики древостоя определялись по (1) и (2).

Испарение по Крестовскому определялось с лесных участков, с - вырубок по формуле (10), участие в расходовании влаги на испарение остальных угодий вычислялось по среднемноголетним значениям с помощью карт. Итоговое испарение с водосбора определялось как средневзвешенное по площадям из испарения леса и безлесных территорий. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

При вычислении годовых величин неоправданно большой разброс экстремальных значений получен по уравнению водного баланса (табл. 2), что, по-видимому, объясняется низкой точностью определения зимних атмосферных осадков, хотя и скорректированных всеми видами поправок. Вместе с тем отмечается хорошее соответствие между усредненными значениями испарения, определенными разными методами за каждый из расчетных периодов. Поэтому можно констатировать, что метод определения среднемноголетнего годового испарения по таксационным и биометрическим характеристикам, который мы называем «метод Крестовского», вполне пригоден для решения многих гидрологических задач.

Таблица 2

**Суммарное испарение с речных водосборов, мм**

Характеристика	Год		Теплый период (V - X)	
	Методы		Методы	
	Водного баланса	Крестовского	Комплексный	Крестовского
Среднее	374	377	323	329
Максимум	558	410	381	368
Минимум	195	304	273	257

**В четвертой главе** рассмотрены методы определения испарения с осушаемых для сельского хозяйства болот. В исследуемом регионе значительную часть осваиваемых болот занимают многолетние травы, поэтому эта культура стала объектом нашего внимания. Характерной особенностью региона является высокая увлажненность. Благодаря этому снижение влагозапасов ниже оптимального уровня даже в стандартных почвенных испарителях без пере-

садки монолитов наблюдается крайне редко и возможно только во второй половине вегетационного периода засушливых лет. Пересадка монолита не спасает от ошибок, так как при этом искажается процесс транспирации в первые дни после пересадки в связи с неизбежным повреждением корневой системы трав в новом монолите. В среднем снижение испарения с многолетних трав в течение 5-8 дней после перезарядки по нашим наблюдениям на осушаемом торфянике может составлять более 40% от суммы этого периода.

На величину испарения значительное влияние оказывает состояние травостоя в испарителях. Отмечается наличие тесной линейной связи между потерями влаги на испарение из монолита и урожайностью трав в испарителе.

Анализ влагооборота осушенного торфяника показывает, что в начале летнего периода (июнь) атмосферные осадки и запасы влаги в слое 0-30 см обеспечивают потребность трав в воде. В дальнейшем при возрастании интенсивности испарения во влагооборот вовлекаются нижние горизонты. При этом объем влаги в полуметровом слое вместе с выпадающими осадками в большой степени обеспечивают влагопотребление многолетних трав. Оптимальный для растительного покрова уровень запасов влаги поддерживается также поступлением к корнеобитаемому слою почвенно-грунтовых вод.

Для расчета водообмена между почвенно-грунтовыми водами и зоной аэрации осушаемого болота за продолжительные периоды (месяц, сезон), включающие как дождливые, так и засушливые дни, мы предлагаем применять следующую формулу:

$$K^I = (E_0 - P) / \exp(1.4(Z - 0.5)), \quad (11)$$

где  $K^I$  - разница между притоком почвенно-грунтовых вод в зону аэрации и инфильтрацией дождевых вод, мм;  $E_0$  и  $P$  - испаряемость и осадки за расчетный период, мм;  $Z$  - глубина залегания почвенно-грунтовых вод, м.

В отличие от формулы Б.С. Маслова (1974), которую можно использовать только в засушливые периоды, в формуле (11) косвенно учитывается изменение водоаккумулирующей емкости торфа после выпадения осадков.

Поступление почвенно-грунтовых вод различной обеспеченности в зону аэрации осушаемого торфяника Корзинской низины (южная Карелия) в целом за вегетационный период при среднем

значении УПГВ 109 см (пределы колебаний 83-131 см), вычисленное по формуле (11), приведено в табл. 3.

При превышении количества осадков над испаряемостью расход почвенно-грунтовых вод на испарение ниже инфильтрации атмосферных осадков. По результатам воднобалансовых исследований поступление вод из нижележащих горизонтов в зону аэрации торфяника в среднем за вегетационный период при УПГВ 125-135 см составляет 25-35 мм. Эти величины хорошо согласуются с представленными в табл. 3, что подчеркивает возможность практического применения формулы (11).

Таблица 3

## Приток грунтовых вод в зону аэрации

Показатель	Вероятность превышения, %					
	5	20	30	50	70	80
$K'$ , мм	90	67	58	43	28	19

Достаточная для произрастания многолетних трав влагообеспеченность осушаемого торфяника вследствие его высокой влагоемкости и поступления влаги к корнеобитаемому слою из нижележащих горизонтов в засушливые периоды определяет тесную зависимость испарения от метеорологических факторов. Отмечается хорошее соответствие между измеренными значениями испарения и испаряемостью, определяемой по методу Будыко-Зубенок. В периоды высокого увлажнения и низких температур (май, сентябрь) наблюдаются близкие величины испарений с трав и с водной поверхности. В период активной вегетации травы расходуют на 23-27% влаги больше, чем испаряется из испарителя ГГИ-3000.

По данным наблюдений на Корзинском стационаре нами была получена тесная линейная связь между испарением с многолетних трав и дефицитом влажности воздуха в наблюдаемом диапазоне их изменений. Отмечена надежная связь между испарением и остаточным членом радиационного баланса, также как и для неосушенного болота (В.В. Романов, 1961):

$$E = \alpha B, \quad (12)$$

где  $B$  - остаточный член радиационного баланса, МДж/м<sup>2</sup>;  $\alpha$  - коэффициент.

Значения коэффициента « $\alpha$ » получены нами по данным наблюдений на Корзинской низине (табл. 4). Верхние пределы месячных величин коэффициента « $\alpha$ » используются при урожайности трав более 150-200 ц/га, и они хорошо согласуются со значениями, полученными белорусскими исследователями.

Таблица 4

Значения коэффициента « $\alpha$ » в формуле (12)

Коэффициент	Май	Июнь	Июль	Август
$\alpha$	0.28-0.30	0.28-0.36	0.31-0.35	0.28-0.30

**В пятой главе** предлагаются методы оценки влияния различных видов хозяйственной деятельности на элементы водного баланса. При выборе методов необходимо учитывать динамику и продолжительность следующих за воздействием преобразований природной среды. При мягкой и полужесткой формах воздействия достаточно интенсивные преобразования растительного покрова и почвогрунтов, которые отражаются на водном балансе территорий, затрагивают и период динамической стабилизации. Это затрудняет или делает невозможным использование методов, в которых при выполнении оценок изменений влагооборота ряды гидрологических величин рассматриваются как стационарные. При жесткой форме - основные преобразования окружающей среды и водного баланса водосборов завершаются, практически, сразу же после воздействия. Гидрологическая роль происходящих в этом случае изменений в подстилающей поверхности может быть определена различными, включающими и арсенал статистических, методами.

Лесопромышленные работы ведутся с большей или меньшей интенсивностью на большей части площади лесного фонда. Данный вид хозяйственной деятельности характеризуется преобразованием элементов водного баланса в течение всего периода роста леса, и на каждом этапе его развития разница значений элементов влагооборота, полученных для данного леса и для исходного, изменяется. Изменение среднесноголетней величины годового стока ( $dY$ ) для водосбора, на котором имеются несколько разновозрастных вырубок, оценивается уравнением:

$$dY = \sum(-dE_i) f_i, \quad (13)$$

где  $dE_i$  - изменение испарения после рубки  $i$ -той лесосеки спустя  $t$  лет, мм;  $f_i$  - доля площади  $i$ -той лесосеки.

Изменение испарения определяется в соответствии с выражением:

$$dE_{i\tau} = (E_{i\tau} - E_i) + (E_{i\tau} - E_i) + (E_{s\tau} - E_s), \quad (14)$$

где  $E_{i\tau}$ ,  $E_{i\tau}$  и  $E_{s\tau}$  - транспирация древостоем, испарение осадков с полога леса и испарение с наземного покрова после рубки  $i$ -той лесосеки спустя  $\tau$  лет, мм.

Величина осадков принимается одинаковой и равной климатической норме как для покрытого древесной растительностью участка, так и для вырубki. При определении изменения испарения и стока для леса возраста  $\tau$  лет в качестве исходного можно принимать коренной или спелый производный лес того же типа, что и исследуемый. В первом случае полученные величины изменения мы предлагаем принимать как абсолютные оценки влияния лесопромышленной деятельности на элементы водного баланса (рис. 1).

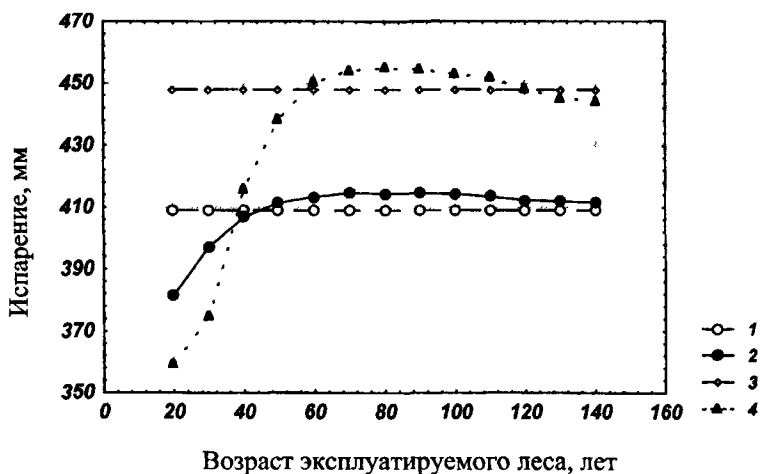


Рис. 1. Возрастные изменения суммарного испарения с эксплуатируемых сосняка брусничного (2) и ельника черничного (4) (для сравнения показано испарение с коренных сосняка брусничного (1) и ельника черничного (3))

Сложность получения таких оценок заключается в отсутствии таксационных описаний для многих типов коренных лесов, что затрудняет расчет испарения с них.



Оценки, при получении которых исходные величины испарения и стока определяются для участка производного леса непосредственно до удаления деревьев, характеризуют изменение элементов водного баланса относительно спелого леса (относительные оценки). Для производных лесов, занимающих большую площадь освоенных регионов ЕСР, данный подход является, по-видимому, правильным. Вместе с тем следует понимать, что спелый производный лес не относится к устойчивым природным образованиям, и все его характеристики будут еще изменяться с течением времени.

Влияние сельскохозяйственной гидротехнической мелиорации на сток зависит от типа болота, продолжительности его осушения, условий использования и уровня агротехники. Изменение стока для условий, когда площади осушаемого болота и зоны влияния на смежной территории равны между собой (что является справедливым для большинства случаев), оценивается с помощью уравнений:

с незамкнутого водосбора

$$dY_{\tau} = f_b(dE_{\tau} + U_{ch_{\tau}} + dU_{\tau} + Y_{b_{\tau}} + Y_{l_{\tau}}), \quad (15)$$

с замкнутого водосбора

$$dY_{\tau} = f_b(dE_{\tau} + Y_{b_{\tau}} + Y_{l_{\tau}}), \quad (16)$$

где  $dY_{\tau}$  - разница стока с болота или заболоченного леса после  $\tau$  лет мелиорации и до мелиорации, мм;  $dE_{\tau}$  и  $dU_{\tau}$  - разница между величинами испарения и подземного водообмена до и после  $\tau$  лет мелиорации, мм;  $U_{ch_{\tau}}$  - дополнительный приток грунтовых вод в осушительную сеть при ее заглублении в подстилающие торфяник водоносные горизонты после  $\tau$  лет осушения, мм;  $Y_{b_{\tau}}$  - величина дополнительного стока непосредственно с болота, равная сумме стока из осушаемого слоя и из слоя сработки торфяника, спустя  $\tau$  лет после начала осушения, мм;  $Y_{l_{\tau}}$  - слой сработки грунтовых вод на смежной территории при понижении УПГВ на осушаемом участке спустя  $\tau$  лет после начала осушения, мм;  $f_b$  - доля площади осушаемого болота на водосборе.

Критическая площадь бассейнов, разделяющая их на малые с незамкнутым водным балансом и на большие, устанавливается на основании анализа зависимости стока от площади водосбора. Для рек Карелии наибольший разброс точек от усредняющей линии на графике наблюдается в диапазоне площадей 0-30 км<sup>2</sup>, что объясня-

ется несовпадением поверхностных и подземных водосборов и неполным дренированием грунтовых вод. Для рек с большей площадью водосборов врезанность русла обеспечивает полный приток грунтовых вод, характерный для данной местности. Такую величину критической площади бассейнов можно принимать для большей части исследуемого региона, что подтверждается анализом литературных данных.

Изменение испарения при гидролесомелиорации заболоченного леса или залесенного болота определяется по следующему уравнению:

$$dE_{k_{\tau\tau}} = E_{db_{k_{\tau\tau}}} - E_{b_{k_{\tau}}} = dE_{t_{k_{\tau\tau}}} + dE_{i_{k_{\tau\tau}}} + dE_{s_{k_{\tau\tau}}} \quad (17)$$

где  $E_{db_{k_{\tau\tau}}}$  и  $E_{b_{k_{\tau}}}$  - испарение с заболоченного леса спустя  $\tau$  лет после начала осушения и до осушения при возрасте древостоя  $k\tau$ ;  $dE_{t_{k_{\tau\tau}}}$ ,  $dE_{i_{k_{\tau\tau}}}$  и  $dE_{s_{k_{\tau\tau}}}$  - разница в транспирации древостоем, испарении осадков с полога леса и испарении с наземного покрова спустя  $\tau$  лет после начала осушения для леса  $k\tau$  класса возраста.

Для получения оценки изменения влагооборота для каждого момента времени в постмелиоративный период именно за счет улучшения условий роста древостоя разницу составных частей суммарного испарения мы предлагаем рассчитывать между осушенным и неосушенным лесами одинакового возраста. При этом характеристики леса после мелиорации нужно определять по натурным обследованиям, а для ненарушенных (естественных) условий произрастания древостоя того же возраста характеристики могут быть установлены по стандартным таксационным таблицам.

Для водосборов, на которых гидролесомелиорация проводилась на различных типах болот и лесов, изменения испарения и стока следует рассчитывать дифференцированно. Величина изменения как испарения, так и стока в целом с водосбора определяется с учетом доли площади каждого типа осушаемых объектов.

После создания водохранилища изменение объема воды, стекающей за год переходного периода по руслу реки ниже створа плотины, равняется сумме изменения объема испаряющейся с бассейна влаги из-за увеличения площади водной поверхности и объема воды, идущей на заполнение чаши водохранилища и емкости подземных вод дна, берегов и прилегающей территории. В период динамической стабилизации основным фактором, определяющим

преобразование элементов водного баланса, является испарение, поэтому для этого периода изменение слоя речного стока оценивается по уравнению:

$$dY = (E_w - E_l) df_w, \quad (18)$$

где  $E_w$ ,  $E_l$  - испарение с водной поверхности и с участка суши до его затопления водохранилищем, мм;  $df_w$  - доля площади водосбора, затопленная после создания водохранилищ.

Многие исследования, в том числе и наши, показывают, что результаты расчета по методу М.И. Будыко соответствуют максимальным из наблюдаемых значений, а метод А.Р. Константинова дает более низкие результаты. Поэтому испарение с суши для каждого водосбора принимали как среднеарифметическое значение из рассчитанных по этим методам величин.

В настоящей работе испарение с затопленной части водохранилищ принималось равным испарению с наземного испарительного бассейна. Эту величину определяли, основываясь на показаниях наземных водных испарителей ГГИ-3000, для перехода от которых к испарению с бассейна применялся коэффициент, предложенный П.П. Кузьминым (1979). Для дополнительной оценки полученных значений использовались расчеты испарения с некоторых водохранилищ, выполненные на гидрометеорологических станциях, и построенная В.С. Вуглинским (1991) карта испарения с водной поверхности.

Величину годового стока с автомобильных дорог, тротуаров и зданий устанавливали по уравнению водного баланса, используя полученные методом аналога коэффициенты стока. При таком подходе для определения испарения принимаем следующее выражение:

$$E = \sum n_i P_i (1 - \alpha), \quad (19)$$

где  $n_i$  - число случаев с дождями  $i$ -той величины;  $P_i$  - дождь  $i$ -той величины, мм;  $\alpha$  - коэффициент поверхностного стока, равный отношению стока к осадкам.

Начальную величину испарения при определении его изменения после сооружения дорог и завершения строительства зданий принимали как среднеарифметическое значение из рассчитанных по методам А.Р. Константинова и М.И. Будыко величин. При определении испарения со зданий учитывалась не только влага, задержанная после дождя на крышах, но также и на стенах строений.

**В шестой главе** рассматриваются особенности формирования элементов водного баланса в производных лесах. Показана зависимость испарения от возраста и продуктивности леса.

Динамика суммарного испарения имеет достаточно строгое обоснование. В эксплуатируемом лесу сразу же после рубок начинается период, в течение которого происходят смена растительного покрова, заканчивающаяся восстановлением характерных для данного участка древесных пород, рост и развитие древостоя вплоть до его созревания. Все это сопровождается изменениями интенсивности прироста биомассы и ее общего запаса для различных моментов времени, что вызывает непрерывные изменения влагооборота.

Основная доля суммарного испарения суходольных лесов приходится на транспирацию и испарение задержанных кронами деревьев осадков, в связи с чем динамика этих элементов водного баланса повторяет динамику фитомассы. Энергия, поглощаемая и преобразуемая листовым аппаратом, затрачивается как на поддержание существующей биомассы, так и на ее прирост (Г.Ф. Хильми, 1957, 1966). Поэтому количество фитомассы должно соответствовать определенным соотношениям прироста древесины и ее запаса. При лучших условиях произрастания и более интенсивном приросте древесины потребность в максимальных запасах листовой биомассы в древостое в более раннем возрасте, в худших условиях роста леса увеличение листового аппарата продолжается еще и в приспевающем и спелом древостое. При этом общий объем биомассы, создаваемый за период роста леса, уменьшается со снижением плодородия почв. В зависимости от лесорастительных условий максимальное для каждого типа леса количество листовой биомассы формируется к возрасту древостоя в среднем от 30-40 лет до 90-100 и более лет. Поэтому ухудшение лесорастительных условий приводит к снижению суммарного испарения и смещению его максимальной за весь период роста леса величины в сторону большего возраста. По нашим расчетам ухудшение условий роста древостоя на 1 класс бонитета сопровождается уменьшением максимального суммарного испарения с сосняков на 22 мм, с ельников на 11 мм и с березняков на 14 мм. Для усредненной за 140 лет роста леса эвапотранспирации эти величины составляют соответственно 18, 7 и 11 мм.

В эксплуатируемых лесах возраст древостоя и лесорастительные условия в значительной степени определяют пространственную ва-

риацию суммарного испарения. В большинстве типов леса за период роста древостоя эвапотранспирация изменяется более чем на 20%, а после проведения сплошных рубок она снижается почти на 50%.

Для условий Карелии, характеризуемых сравнительно низкой продуктивностью лесов, понижение стока в сравнении со средне-районными значениями отмечается при увеличении площади хвойных и лиственных насаждений IV-VIII классов возраста, а наиболее ошутимое влияние оказывает лес VI класса возраста (Карпечко, 1994).

Наши исследования показали, что основным фактором, определяющим вариацию классов бонитета однотипных лесов, является температура воздуха. Долговременные повышения или понижения температуры приводят к изменению продуктивности леса. Эти преобразования наиболее ошутимы в северной подзоне тайги в хвойных высокопродуктивных типах леса, где при повышении температуры до 2<sup>0</sup>С бонитет улучшается более чем на 1 класс. При таких же температурных условиях продуктивность сфагнового леса увеличивается только на 0.6 класса бонитета. Вместе с тем наибольшие изменения испарения при преобразовании продуктивности древостоя отмечаются в низкопродуктивных сфагновых лесах, а менее значимые – в черничных и брусничных. Величина и знак изменения зависят от возраста древостоя, что является отражением влияния лесорастительных условий на интенсивность его развития (рис. 2, 3). Однако во всех типах леса при приращении среднегодовой температуры воздуха на  $-1 \div +2^0\text{C}$  изменение испарения в большинстве случаев находятся в пределах  $\pm 10\%$  (табл. 5).

При прогнозировании изменения водного баланса под влиянием антропогенного фактора и выполнении ретроспективных расчетов для определения среднемноголетней величины суммарного испарения наиболее приемлемым в настоящее время, по нашему мнению, является метод аналогов. Выбор аналогов должен основываться на том, что однотипные леса равных продуктивности и возраста испаряют одинаковое, в пределах естественных и ограниченных колебаний их таксационных характеристик, количество влаги. Для использования этого метода в каждом регионе с определенными климатическими условиями необходимо иметь информацию о динамике испарения для всех или основных произрастающих здесь типов леса. Эта работа была выполнена нами для северной и сред-

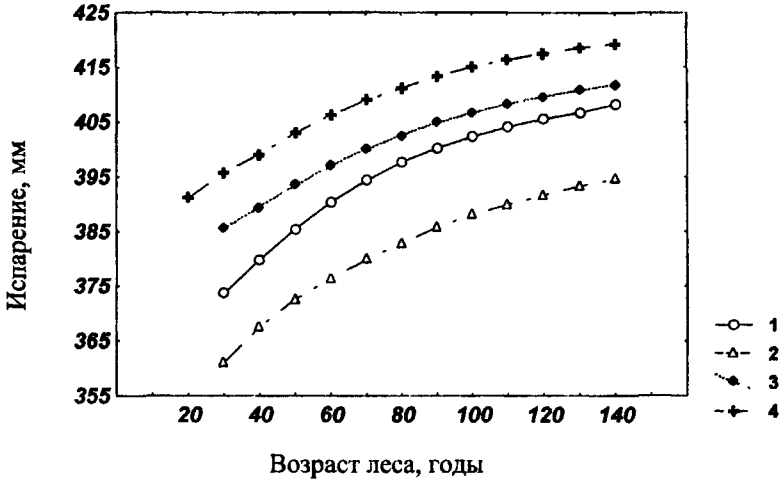


Рис. 2. Испарение с сосняка сфагнового (Va класс бонитета) при среднегодовой температуре воздуха 2.4°C (1), 1.4°C (2), 3.4°C (3), 4.4°C (4)

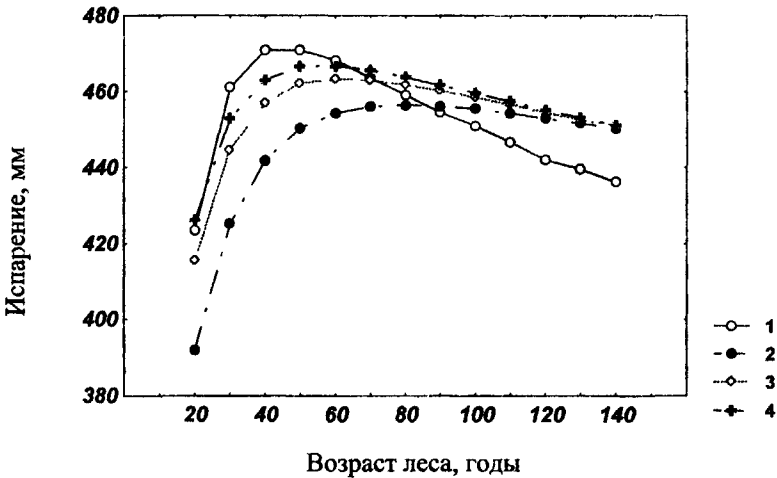


Рис. 3. Испарение с сосняка брусничного (III класс бонитета) при среднегодовой температуре воздуха 2.4°C (1), 1.4°C (2), 3.4°C (3), 4.4°C (4)

ней подзона тайги с использованием метеорологических характеристик Кольского полуострова и Карелии. Расчеты выполнялись по приведенному в главе 3 методу Крестовского со всеми нашими дополнениями и уточнениями.

Таблица 5

**Изменение средних за период роста древостоя значений испарения с леса при возможных колебаниях температуры воздуха, мм**

$\Delta T$ $^{\circ}\text{C}$	Мурманская область			Карелия					
	Северная подзона тайги						Средняя подзона тайги		
	Сосна	Ель	Береза	Сосна	Ель	Береза	Сосна	Ель	Береза
-1	-16	-8	-10	-12	-6	-9	-10	-6	-8
1	14	7	7	12	6	8	10	6	8
2	26	12	12	23	11	16	21	9	14

Усредненные за период роста древостоя значения испарения изменяются в зависимости от типа леса в среднем от 360 до 430 мм в северной и от 380 до 450 мм – в средней подзонах тайги Карелии. Для таежных условий Мурманской области полученное нами испарение с различных типов леса колеблется от 330 до 360 мм.

Испарение с коренных лесов определялось нами только для ельника черничного и сосняка брусничного среднетаежной подзоны. Эти значения составили соответственно 448 и 409 мм (рис. 1). Для этих типов были получены и приводятся в работе значения абсолютной и относительной оценок влияния лесопромышленной деятельности на данный элемент водного баланса для периода от рубок до созревания древостоя. Если принимать возраст вырубаемого леса равным 100 годам, то разница этих оценок в течение периода роста производного леса для обоих типов составляет 5 мм.

При исследовании формирования весеннего стока важной задачей является оценка особенностей снегонакопления в лесу. Значительную роль в пространственном распределении снегозапасов играет структура лесного фонда на водосборе. В настоящее время общепризнана зависимость снегонакопления в лесах от их таксационных характеристик. Установлено, что в хвойных лесах с увеличением плотности древостоя и сомкнутости крон снижаются снегозапасы и возрастает количество задержанных пологом леса и испарившихся твердых осадков. Заметное влияние на распределение

снегозапасов на лесных участках оказывают наличие и размеры полян (вырубок). Средние пределы колебаний предвесенних запасов воды в снеге на полянах (вырубках), вызванных их размерами, составляют по нашим данным около 40%.

В условиях Карелии на больших вырубках или полях снега накапливается меньше, чем на лесных участках. Значительную роль в этом играют зимние оттепели. По данным наблюдений на сети гидрометеорологических станций нами получена зависимость разницы снегозапасов в лесу и в поле от суммы положительных температур холодного периода:

$$\Delta S = 0.39 + 1.9 \Sigma_{t>0}, \quad r = 0.61, \quad (20)$$

где  $\Delta S$  – разница между лесными и полевыми снегозапасами, мм;  $\Sigma_{t>0}$  – сумма положительных температур.

Кроме того, детальный анализ снегонакопления показал, что в большинстве случаев (83%) лес играет положительную роль в формировании снежного покрова на водосборе и в безоттепельные периоды.

Соотношение величин испарения снега с хвойного леса и поля зависит от массы хвои. Этот фактор изменяется в довольно широких пределах, и наиболее часто встречаемые запасы хвои в северных лесах колеблются от 3-4 до 20-25 т/га. Расчеты показали, что значения испарения с леса и поля остаются практически равными (расхождения не превышают 5%) при изменении фитомассы в пределах от ее минимальных величин до 12–14 т/га. Такие запасы хвои характерны для большей части северных сосновых лесов. С высокопродуктивных сосновых лесов и с основной части еловых снега испаряется больше, чем с поля, и при массе хвои 20-25 т/га это превышение может достигать 17-30%. Для определения соотношения испарения с леса и поля в зависимости от массы хвои предлагается следующее уравнение:

$$E_n/E_n = 0.75 + 0.15 \exp(0.052m). \quad (21)$$

**В седьмой главе** исследуются преобразования различных компонентов природной среды при гидротехнической мелиорации и их влияние на элементы водного баланса.

Важным фактором функционирования болот является подземный вертикальный водообмен. Его величина определяется соотношением уровней почвенно-грунтовых вод болота и грунтово-



напорных вод (УГНВ) подстилающих торфяник горизонтов, которое зависит от планового расположения исследуемых участков на болоте, метеорологических характеристик, стадии развития болотного массива и геоморфологических условий его залегания. Многолетние наблюдения на осушаемом болоте Корзинского стационара показывают, что колебания УГНВ имеют меньшую амплитуду, чему соответствует более высокий уровень напорных вод в меженные сезоны и меньший - в паводочные периоды, по сравнению с уровнем болотных вод. Получена теоретически обоснованная зависимость величины подземного вертикального водообмена за теплые сезоны и год от атмосферных осадков.

Ограждающей, а в отдельных случаях также проводящей и регулирующей, сетью уменьшается приток напорных вод к торфянику. Снижение напора подстилающих торфяник водоносных горизонтов и увеличение стока с болота приводят к уменьшению УПГВ. При этом среднее соотношение уровней, и, следовательно, величина водообмена может оставаться без изменений.

Пространственное и временное распределение условий формирования элементов водного баланса в большой степени определяется изменчивостью водно-физических характеристик почвогрунтов. Вместе с тем, при мелиорации этот компонент природной среды подвергается наиболее мощному воздействию, что приводит к существенным преобразованиям его характеристик, растягиваемым на длительный период.

Снижение УПГВ сопровождается осадкой и уплотнением торфяника и интенсификацией процессов минерализации органического вещества, что определяет рост значений объемной массы. На неосушенном болоте объемная масса торфа составляет 50-100 кг/м<sup>3</sup>, а спустя 15 лет после начала осушения в условиях Карелии на низинном болоте эта величина возрастает до 250-300 кг/м<sup>3</sup> в верхнем 10-сантиметровом слое. Наиболее существенные изменения объемной массы происходят в первые 3-5 лет после начала осушения, а спустя 10-15 лет в случае использования торфяника для выращивания многолетних трав отмечается стабилизация его плотности.

Большой стабильностью при осушении болота характеризуется плотность твердой фазы. По нашим измерениям на низинном болоте после 30 и 40 лет осушения колебания этой величины по глуби-

не и в пространстве составляли 1300 – 1700 кг/м<sup>3</sup>, что мало отличается от значений для торфа в его естественном состоянии.

Снижение УПГВ и уплотнение торфа приводят к изменению распределения влагозапасов по глубине зоны аэрации. Предложены эмпирические формулы для расчетов эпюр влагозапасов и их сумм для всей зоны аэрации в зависимости от метеорологических характеристик и УПГВ. Равновесное распределение влагозапасов в зоне аэрации осушенного низинного торфяника достаточно хорошо описывается экспоненциальным уравнением (22), на основании которого предложено уравнение (23) для определения суммы влагозапасов:

$$W = W_{fw\%} \exp(-0.0012 Z), \quad (22)$$

$$W = (W_{fw\%} / 0.012)(1 - \exp(-0.0012Z)), \quad (23)$$

где  $W_{fw\%}$  - величина полной влагоемкостью почвогрунтов, в процентах от объема, для осушаемого низинного торфа  $W_{fw\%} = 85\%$ ;  $Z$  - глубина залегания почвенно-грунтовых вод, см.

Наибольшие изменения испарения в связи с освоением болот происходят при использовании их, как это следует из литературных источников, для выращивания зерновых и многолетних трав. Последние занимают в северных регионах основную часть осушенных земель, что объясняет наш интерес к этим культурам. По наблюдениям за 14 лет в среднем за весь теплый период испарение с освоенного и занятого многолетними травами болота на 14% больше, чем с неосушенного. Однако в зависимости от уровня агротехники, определяющего урожайность трав на осушенном торфянике, испарение с него может быть как выше, так и ниже водопотребления болотной растительностью. При колебаниях урожайности трав на дату их цветения от 30 до 210 ц/га расхождения в испарении в отдельные периоды может составлять более 200%. При высоком уровне агротехники в северных регионах испарение с торфяника, занятого многолетними травами, соответствует испаряемости, определяемой по методу Будыко-Зубенок.

По многолетним наблюдениям на Корзинской низине средняя величина годового испарения с торфяника, занятого многолетними травами, равна 478 мм. Режим влагозапасов на осушаемых минеральных почвогрунтах является менее благоприятным для выращивания сельскохозяйственных культур, поэтому при использовании под травы испарение с них составляет в среднем 404 мм. Неосу-

шенное низинное болото, расположенное вблизи освоенного, по нашим данным испаряет 435 мм, а испарение с различных типов заболоченного леса в среднем составляет 364 мм.

При строительстве и в начале переходного периода, когда УПГВ понижен и выполняются культуртехнические работы, растительный покров нарушен. При этих условиях испарение составляет, как показывают наши наблюдения, около 60% от величины испарения с многолетних трав. Причем это соотношение справедливо для торфяников и для тяжелых по механическому составу минеральных почв. Продолжительность этого периода для каждого поля в среднем равна 2 годам.

Динамика дополнительного стока с болота, формирующегося за счет снижения УПГВ, уплотнения, осадки и сработки торфа, была рассчитана за весь период осушения (41 год) по данным наблюдений за трансформацией водно-физических свойств торфа, за УПГВ и влагозапасами зоны аэрации и понижением поверхности болота (табл. 6). Средняя мощность осушаемого слоя равна 1 м, а при расчете стока воды из этого слоя принимали, что влагозапасы до мелиорации соответствуют полной влагоемкости (для торфа  $W_{fv\%} = 94\%$ ). После осушения распределение влаги в зоне аэрации принимали равновесным и для определения запаса влаги использовали уравнение (23). В начальный период освоения болота динамику снижения полной влагоемкости устанавливали по данным наблюдений за объемной массой и плотностью твердой фазы. Для периода динамической стабилизации среднее значение полной влагоемкости осушаемого торфяника по всему рассматриваемому слою составляет 85% его объема. При определении дополнительного стока из слоя осадки и сработки торфа его влажность для начального периода осушения принимали равной полной влагоемкости, в последующее время – равной наименьшей влагоемкости (70% от объема торфа).

Для исследуемого болота площади зоны влияния на прилегающей территории и осушаемого участка оказались равными, поэтому изменение стока для замкнутого и полностью осушенного водосбора оценивалось по уравнению (16) (табл. 7).

Интегральная величина дополнительного стока при гидроресомелиорации, вычисленная нами по опубликованным данным наблюдений за уплотнением торфяника и понижением его поверхно-

сти для сосняков травяно-сфагнового и кустарничково-сфагнового, за 20 лет осушения составила 237 и 258 мм, что в два раза меньше, чем после осушения для целей сельского хозяйства. Это различие обусловлено в первую очередь тем, что при сельскохозяйственном использовании болот требуется более глубокое их осушение, чем для лесовыращивания. При этом, в последнем случае основная часть стока образована за счет понижения поверхности, вызываемого уплотнением, а не сработкой торфяника. Поэтому есть все основания считать, что весь этот сток формируется в первые 5 лет в период интенсивного уплотнения торфа.

Таблица 6

**Динамика дополнительного стока с осушаемого болота  
Корзинской низины из-за уплотнения, осадки и сработки торфа  
за период наблюдений с 1960 по 2001 г., мм**

Показатель	1960	1965	1978	1985	1988	2001
Период осушения, лет	0	5	18	25	28	41
Расчетный период, лет	0	5	13	7	3	13
Слой стока за год расчетного периода, мм	0	65	9	10	4	13
Интегральный слой стока, мм	0	325	441	513	524	689

Таблица 7

**Динамика среднегодовых значений антропогенной составляющей стока с торфяных и минеральных почвогрунтов за различные периоды осушения, мм**

Показатель	Период осушения, лет							
	1	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-40
Торф.	264	111	-35	-35	-30	-35	-35	-30
Минер.	197	42	-40	-40	-40	-40	-40	-40

Оценка изменения испарения для осушаемых в течение 20 лет лесов была выполнена нами по таксационным характеристикам, полученным лабораторией лесоведения и лесоводства Института леса КарНЦ РАН в основном на территории Карелии (Ю.В. Карпечко, В.И. Саковец, 1997). Расчеты выполнялись для всех типов осушаемых лесов. В подавляющем большинстве случаев отмечается увеличение транспирации древостоем и испарения задержанных

кронами осадков и уменьшение испарения с наземного покрова. Это объясняется более интенсивным приростом всей биомассы на осушаемых землях.

Изменение испарения зависит в первую очередь от влияния таких факторов, как возраст леса и продуктивность болот на момент их осушения. Незначительное увеличение и даже снижение суммарного испарения отмечается в низкопродуктивных и перестойных лесах. Существенное увеличение испарения наблюдается при совпадении таких факторов, как продолжительный период осушения, продуктивный возраст древостоя и лучшие лесорастительные условия. В среднем для Карелии после 20 лет осушения залесенных болот увеличение испарения с них и соответствующее снижение стока составило 42 мм.

**В восьмой главе** приводятся оценки изменения гидрологического режима водосбора после сооружения водохранилищ в Карелии и в Мурманской области.

Здесь дано теоретическое обоснование зависимости амплитуды уровня озер от величины удельного водосбора и озерности бассейнов. На основании этой зависимости и уровенных наблюдений на водохранилищах рассчитана антропогенная составляющая амплитуды годового хода уровня воды. В большинстве случаев эта величина превышает возможную ошибку расчета и составляет на многих водохранилищах региона 1.0-1.5 м, но в отдельных случаях достигает больших величин. Наличие такого диссонанса между естественным и наблюдаемым уровенными режимами свидетельствует о заметной роли антропогенного фактора в водном балансе водохранилищ. Полученная оценка в большей степени обусловлена преобразованием внутригодового режима стока и практически не связана с его годовой величиной.

Регрессионный анализ факторов формирования стока свидетельствует о возможном положительном влиянии роста водной поверхности на водосборе на его величину на территории Мурманской области и отрицательном влиянии в Карелии. Разница между вычисленными по методам, изложенным в главе 5, величинами испарения с водной поверхности и с суши для 8 зарегулированных речных водосборов изменяется в пределах  $-20 \div 30$  мм, что не превышает ошибки расчета. В целом для водосборов изменения испарения и стока не превышают 1 мм.

Большую роль в изменчивости величины  $dE$  в различных климатических условиях играет испарение с суши, что обусловлено зависимостью этого элемента водного баланса от соотношения энергетических ресурсов и увлажненности территории. Это обстоятельство объясняет наличие достаточно тесной экспоненциальной связи между отношением изменения испарения к атмосферным осадкам с одной стороны и индексом сухости - с другой (24):

$$dE/P = 0.20 \exp(1.05B/PL) - 0.36, \quad r = 0.93, \quad (24)$$

$L$  – скрытая теплота парообразования ( $L = 2.512$  МДж/кг).

Уравнение (24) было нами получено с использованием опубликованных В.С. Вуглинским (1991) результатов оценки изменения испарения после сооружения водохранилищ в различных климатических условиях на территории бывшего СССР.

**Девятая глава** посвящена исследованию роли дорог и населенных пунктов в формировании стока. Дороги как в населенных пунктах, так и за их пределами могут быть с покрытием (асфальтобетонные, черные, щебеночные) и без покрытия (грунтовые). Для дорог с покрытием величины испарения за месяцы теплого периода на территории Карелии были получены по формуле (19). Испарение с грунтовых дорог принималось равным испарению с поля без растительного покрова. За позднеосенний, зимний и ранневесенний периоды испарение приравнивалось к испаряемости. Расчет выполнялся только для земляного полотна по осредненным метеорологическим характеристикам для северной и средней таежных подзон. В зависимости от вида дорог испарение после их строительства снижается на 30 - 55%, а сток соответственно увеличивается на 35 - 70%. На крупных водосборах Карелии изменение испарения и стока из-за наличия дорог не превышает 0.5 мм. На небольших водосборах гидрологическая роль дорог может возрастать, однако при этом снижение испарения и возрастание стока ограничивается 2 - 3 мм. При увеличении густоты дорожной сети до уровня европейских стран это изменение стока достигнет 8 - 9 мм, что составит около 3% от его среднерайонной величины.

Благодаря дорогам увеличение стока в Карелии составляет приблизительно 10.3 млн. м<sup>3</sup>, что соответствует годовому стоку реки, площадь водосбора которой несколько больше 30 км<sup>2</sup>.

Разница между испарением с естественной территории и с дороги возрастает в южном направлении от тундры и тайги до лесо-

степной и степной зон. В более теплых и засушливых регионах (полупустыни и пустыни) отмечается уменьшение абсолютной величины  $dE$  со снижением осадков и увеличением поступления солнечной радиации. Доля осадков, составляющих изменение испарения, возрастает с севера на юг и в засушливых зонах практически не зависит от индекса сухости.

Наряду с преобразованием водного баланса на участке дороги, происходят изменения его элементов и на прилегающей территории. Это является следствием нарушения естественного стока воды грунтовым и поверхностным путем. При этом в большом числе случаев можно ожидать снижения испарения и роста стока, так как в результате подтопления и начала заболачивания происходит смена более продуктивного древостоя на болотную растительность. Анализ различных характеристик стока показывает, что в наибольшей степени наличие дорог отражается на минимальном стоке. Установлено статистически достоверное возрастание модуля летнего и зимнего 30-дневного минимального стока с увеличением густоты дорог.

Для исследуемого региона при доле водонепроницаемой площади, равной 15.3%, город снижает испарение, следовательно, увеличивает сток на ~38 мм (~13%). Возможное уплотнение городской застройки, приводящее к увеличению доли водонепроницаемой площади до 40 – 45%, будет сопровождаться ростом стока на 35 – 38%.

Увеличение объема стока с территории г. Петрозаводска, вызванное только наличием водонепроницаемых участков и зданий, равняется 4.4 млн. м<sup>3</sup>. Вместе с тем, безвозвратное водопотребление, полученное как разница между объемом использованной на хозяйственно-питьевые и производственные нужды воды и водоотведением, для г. Петрозаводска в среднем с 1968 по 1996 г. составило 4.0 млн. м<sup>3</sup> (данные по водохозяйственному балансу собраны и обработаны сотрудниками ИВПС КарНЦ РАН Т.Е. Гершензон и И.А. Литвиновой). Следовательно, в условиях небольших северных городов безвозвратные затраты воды на различные нужды практически компенсируются самим же городом вследствие его воздействия на природную среду.

**Десятая глава** посвящена анализу динамики годового стока за последние десятилетия. Наряду с этим исследуется влияние гидро-

технической мелиорации на максимальный сток весеннего половодья и дождевых паводков.

Речной сток является интегральным показателем гидрофизических процессов на водосборе, определяемых метеорологическими характеристиками и различными видами хозяйственной деятельности, которые оказывают как положительное, так и отрицательное влияние на водность рек. Роль этих факторов в формировании стока и преобладание на водосборе тех или иных видов деятельности и ее масштабы зависят от физико-географических условий и экономического развития региона. В таежной зоне приоритетным видом деятельности человека является лесозаготовка, а ее проявление в водном балансе в большой степени обусловлено соотношением площади вырубок и размерами исследуемой территории. Сток с вырубки зависит от продолжительности периода лесовосстановления, а с большого водосбора в целом, где имеется много вырубок на различных этапах лесовосстановления, – от изменчивости размеров расчетной лесосеки (объема вырубленного древостоя), определяющей возрастную структуру леса. При обоснованном и постоянном в течение длительного времени объеме заготавливаемой древесины изменение водного баланса и стока с большого водосбора практически не наблюдается. При снижении вырубленной древесины до 66% от расчетной лесосеки, как это происходит в настоящее время, в течение 200 лет будет наблюдаться снижение стока до 7%.

Сток некоторых рек Мурманской области и северной части Карелии, где мало развита хозяйственная деятельность, характеризуется с 1950 г. небольшим ростом (от 5 – 9 до 17 – 21 мм/10 лет). Такая тенденция, отмечаемая в отдельных случаях на фоне снижения атмосферных осадков на водосборах (от 1 до 14 мм/10 лет), может объясняться наблюдаемым снижением в последние десятилетия продуктивности древостоя (А.А. Книзе и др., 2000).

Для карельских рек бассейнов Онежского и Ладожского озер, где в 50-е и 60-е годы интенсивно вырубался лес, а в 60-е и 80-е проводились мелиоративные работы, наблюдается тенденция снижения стока. Однако эти изменения в большинстве случаев находятся в пределах точности их расчетов, и только для рек Шуя, Лососинка, Святрека бассейна Онежского озера полученная оценка снижения стока (50 – 80 мм) после 1966 г. достоверна при уровне значимости 5%.



В заключение можно отметить, что при существующем уровне развития хозяйственной деятельности в регионе определяющее влияние на колебания и изменения величины годового стока оказывает динамика метеорологических характеристик.

Выполненные нами исследования влияния различных типов болот Карелии на максимальный сток весеннего половодья показали, что верховые болота способствуют небольшому росту, а низинные - незначительному снижению максимальных расходов. Преобладание в Карелии верховых болот обуславливает положительную роль общей заболоченности водосборов в формировании максимальных расходов. Игнорирование влияния болот на величину расходов, что предлагается региональными рекомендациями, приводит к ошибке, не превышающей 3%.

Влияние осушения на максимальный сток изучалось нами на Корзинском мелиоративном стационаре в период с 1978 по 1986 г. Осушение для сельскохозяйственного использования низинных и переходных болот способствует снижению максимальных расходов весеннего половодья, а также дождевых паводков. Коэффициенты снижения максимальных расходов можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} & \text{для весеннего половодья} \\ \rho_{db} &= 1 - 0.8 \lg (0.1 f_{db} + 1), \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} & \text{для дождевых паводков} \\ \rho_{db} &= 1 - 0.005 f_{db}, \end{aligned} \quad (26)$$

где  $f_{db}$  – доля болот на водосборе, %.

## Заключение

В таежной зоне ЕСР наиболее развита лесохозяйственная и лесопромышленная деятельность. В южной части этой территории в XX веке интенсивно велись мелиоративные работы. Локальные изменения ландшафтов связаны с сооружением водохранилищ, строительством населенных пунктов и дорог.

Временная структура процессов, преобразующих компоненты ландшафта при переходе его после воздействия в другое состояние, чрезвычайно важна при исследовании гидрологической роли хозяйственной деятельности. Предложена обобщенная информация о

продолжительности периода от даты начала строительства до окончания интенсивных преобразований на водосборе для наиболее распространенных на территории ЕСР видов хозяйственной деятельности.

Для выбора метода оценки преобразований элементов водного баланса на водосборах ЕСР разработана классификация видов антропогенного воздействия в зависимости от формы воздействия, определяющей устойчивость преобразованных геоконплексов в течение периода эксплуатации.

Формализованы зависимости для расчета таксационных и биометрических характеристик древостоя (средней высоты древостоя, запаса стволовой древесины, прироста запаса древесины, массы листвы (хвои) и листового индекса), необходимых для расчета элементов водного баланса лесных водосборов.

Усовершенствованы и обоснованы методы расчета сезонных и годовых величин составных частей суммарного испарения с леса по биометрическим характеристикам древостоя, которые в наибольшей степени подвержены преобразованиям в результате хозяйственной деятельности.

Выполнен анализ влагообеспеченности осушаемых и осваиваемых для сельскохозяйственного производства болот, предложен метод расчета притока почвенно-грунтовых вод в зону аэрации.

Предложены методы оценки изменения элементов водного баланса под влиянием наиболее распространенных видов хозяйственной деятельности в таежной зоне ЕСР.

Исследована динамика составных частей суммарного испарения с эксплуатируемого леса в различных лесорастительных условиях. Максимальное испарение с леса в зависимости от условий его роста наблюдается в возрасте от 40 до 120 лет в хвойном и от 20 до 60 лет в лиственном древостое. Отмечено снижение суммарного испарения и транспирации и смещение их максимальных за период роста леса величин в сторону старшего возраста с ухудшением продуктивности леса. Ухудшение условий роста древостоя на I класс бонитета сопровождается снижением суммарного испарения в зависимости от лесорастительных условий и возраста леса в среднем на 10 – 30 мм.

В условиях Карелии рост испарения и понижение стока в сравнении со среднерайонными значениями отмечается при увеличе-

нии площади хвойных и лиственных насаждений IV-VIII классов возраста (70-150 лет для хвойных и 35-75 лет для лиственных насаждений), а наиболее ошутимое влияние оказывает лес VI класса возраста.

Продуктивность древостоя зависит от климатических характеристик, основным фактором, определяющим вариацию классов бонитета однотипных лесов, является температура воздуха. С использованием предложенного в работе метода получена оценка изменения продуктивности древостоя и испарения с леса при возможных долгопериодных колебаниях среднегодовой температуры воздуха. Для условий приращения среднегодовой температуры воздуха в пределах от  $-1$  до  $+2^{\circ}\text{C}$  изменение испарения в большинстве случаев находится в пределах 10%.

Для климатических условий Мурманской области и Карелии рассчитана динамика испарения с наиболее распространенных типов леса за период его роста. Для среднетаежной подзоны среднее многолетнее испарение с коренного (девственного) сосняка брусничного и ельника черничного на 1-2% меньше, чем максимально возможное испарение с производного леса и на 10-20% больше, чем с молодых лесов.

Соотношение величин испарения в зимний период с хвойного леса и поля зависит от типа леса. Разница испарения с соснового леса и поля в большинстве случаев не превышает 5%. С высокопродуктивных сосняков и с основной части ельников снега испаряется больше, чем с поля, и при массе хвои 20-25 т/га превышение может достигать 17-30%. Получена формула для расчета этого соотношения в зависимости от массы хвои.

Гидротехническая мелиорация болот и заболоченных лесов для сельскохозяйственного использования приводит к значительному росту стока в начальный период освоения, в первый год это увеличение достигает почти 100% (~260 мм). Интегральная величина дополнительного стока за счет уплотнения, сработки и понижения поверхности торфяника Корзинской низины за 41 год осушения составила около 690 мм.

Для периода динамической стабилизации антропогенная составляющая динамики стока с болота определяется разницей между изменением испарения и дополнительным стоком. Увеличение испарения при использовании осушаемых территорий

для выращивания трав по данным многолетних исследований составляет для исследуемого района 40-45 мм, а снижение стока не превышает 30-40 мм (10 - 15% от среднерегиональной величины стока).

Значение дополнительного стока при гидролесомелиорации зависит от типа леса, и в среднем оно в два раза меньше, чем после осушения для целей сельского хозяйства. Суммарное испарение с переувлажненных лесов и болот в результате их осушения для лесного хозяйства в Карелии возросло примерно на 10 % (~40 мм).

Подземный вертикальный водообмен играет существенную роль в формировании водного баланса осушаемых низинных болот. Его направление и интенсивность изменяются во времени и по территории болотного ландшафта и зависят от метеорологических условий. С увеличением количества атмосферных осадков снижается приток напорных вод до полного его прекращения и увеличивается переток почвенно-грунтовых вод в нижележащие напорные горизонты.

Увеличение площади водной поверхности при сооружении водохранилищ способствует сглаживанию годового хода уровня воды, однако хозяйственные потребности человека часто приводят к росту его амплитуд. Это увеличение для большинства водохранилищ Карелии не превышает 1 - 1.5 м. Более существенная антропогенная составляющая амплитуды годового хода уровня воды наблюдается на водохранилищах Мурманской области (до 3 - 6 м).

Территория Карелии и Мурманской области характеризуется минимальной разницей между испарением с суши и с воды, установленные величины изменения испарения с водосборов после сооружения водохранилищ (-20 ÷ 30 мм) не превышают ошибок расчетов. Получены зависимости изменения испарения с водосборов от климатических факторов.

Значительные преобразования водного баланса происходят при строительстве дорог и населенных пунктов. Наибольшее снижение испарения в результате дорожного строительства отмечается в лесостепной и степной зонах. В зависимости от вида покрытия дорожного полотна годовая величина стока с участков дорог в Карелии возрастает на 40-70 %. В целом для Карелии годовое увеличение объема речного стока из-за этого фактора составляет около 10.3 млн. м<sup>3</sup>.

Сток с городской территории при доле водонепроницаемой поверхности около 15% на 10-15% больше, чем с окружающей территории. Укрупнение городов и уплотнение городской застройки, приводящее к увеличению доли водонепроницаемой площади до 40-45%, будет сопровождаться снижением испарения и ростом стока до 35-40%. Увеличение стока в значительной степени компенсируется безвозвратными потерями воды на нужды города.

Речной сток является интегральным показателем гидрофизических процессов на водосборе, обусловленных климатическими характеристиками и различными видами хозяйственной деятельности, оказывающими как положительное, так и отрицательное влияние на водность рек. Роль этих факторов в формировании стока зависит от физико-географических условий и направления экономического развития региона. В таежной зоне динамика годового стока за многолетний период в большой степени определяется как вариацией климатических элементов, так и преобразованием возрастной структуры лесов на водосборе в результате лесозексплуатации.

Сток с вырубки зависит от продолжительности периода лесовосстановления, а с большого водосбора в целом, где имеется много вырубок на различных этапах лесовосстановления, — от изменчивости размеров расчетной лесосеки (объема вырубаемого древостоя), определяющей возрастную структуру леса. При обоснованном и постоянном в течение длительного времени объеме заготавливаемой древесины изменений водного баланса и стока с большого водосбора практически не наблюдается.

Отмечаемая динамика стока большинства рек Карелии и Кольского полуострова за последние 50 лет обусловлена в целом колебанием климатических факторов. Определенное влияние оказывает и изменение продуктивности лесов. Некоторое снижение стока на ряде рек Карелии можно объяснить проявлением мелиорации и изменением возрастной структуры древостоя.

Осушение болот для целей сельского хозяйства приводит в условиях Карелии к снижению максимальных расходов весеннего половодья и дождевых паводков. В работе предложены коэффициенты снижения этих величин.

## Основные работы, опубликованные по теме диссертации

1. О годовом стоке с осушаемых водосборов малых рек // Водный и тепловой режим осушаемых почв Карелии. Петрозаводск: КФ АН СССР. 1981. С. 99-102.

2. Роль озер в формировании зимнего минимального стока // Водный и тепловой режим осушаемых почв Карелии. Петрозаводск: КФ АН СССР. 1981. С. 102-107 (соавтор В.А. Карпечко).

3. Формирование стока весеннего половодья на осушенных торфяниках // Влияние мелиораций на продуктивность почв Карелии. Петрозаводск: КФ АН СССР. 1983. С. 31-38 (соавтор И.М. Нестеренко).

4. Эффективность осушения и регулирования водного режима торфяных и минеральных почв в крайне неблагоприятных по климатическим условиям годы // Влияние мелиораций на продуктивность почв Карелии. Петрозаводск: КФ АН СССР. 1983. С. 5-25 (соавторы И.М. Нестеренко, Л.Н. Вейнберг, М.С. Дмитриев).

5. Влагооборот корнеобитаемого слоя осушенных торфяников // Формирование луговых агроценозов на мелиорируемых землях. Петрозаводск: КФ АН СССР. 1984. С. 123-135.

6. Исследование водного баланса малых водосборов Корзинской низины // Почвенно-мелиоративные исследования в Карелии. Петрозаводск: КФ АН СССР. 1986. С. 23-43.

7. Влагообеспеченность многолетних трав на торфяных почвах // Окультуривание почв и применение удобрений в Карелии. Петрозаводск: КФ АН СССР. 1988. С. 56-66 (соавторы И.М. Нестеренко, Л.Н. Вейнберг, С.Л. Матвеев).

8. Ресурсы поверхностных вод в бассейне Онежского озера и прогноз их изменения // Использование и охрана водных ресурсов бассейна Онежского озера. Петрозаводск: КФ АН СССР. 1988. С. 17-32 (соавтор В.А. Карпечко).

9. Изменение гидрологического режима заболоченных территорий Карелии при сельско- и лесохозяйственном осушении // Тр. V Всесоюз. гидрологического съезда. Л.: Гидрометеиздат. 1990. Т. 4. С. 595-600 (соавторы И.М. Нестеренко, Е.Д. Орлов).

10. Влияние осушения торфяных почв на формирование максимальных расходов дождевых паводков // Мелиорация и водное хозяйство. 1990. № 5. С. 55-57.

11. Влияние осушения болот на стокоформирующие факторы весеннего половодья // Пути повышения эффективности мелиораций. Петрозаводск: КФ АН СССР. 1990. С. 13-22 (соавторы И.Л. Калюжный и И.М. Нестеренко).

12. Расчет влагозапасов зоны аэрации низинного осушаемого торфяника // Пути повышения эффективности мелиораций Петрозаводск: КФ АН СССР. 1990. С. 22-26.

13. Дренажный сток с мелиорируемых торфяников при их эксплуатации // Пути интенсификации земледелия на Северо-Западе России Петрозаводск: ПетрГУ. 1992. С. 20-26 (соавторы Л.Н. Вейнберг, И.М. Нестеренко, Е.В. Чевжик).

14. Изменение испарения с крон древостоев при гидролесомелиорации // Водные ресурсы Карелии и экология. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 1992. С. 93-97.

15. Расчет испарения с осушаемых торфяников, занятых многолетними травами // Эколого-биологические основы формирования луговых фитоценозов на мелиорированных землях Севера. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 1992. С. 101-107 (соавтор С.Л. Матвеев).

16. Влияние характеристик леса на водность рек Карелии // Вопросы экологии и гидрологические расчеты. Сб. научных трудов (межведомственный) Вып. 116. СПб.: РГГМИ. 1994. С. 38-42.

17. Водный и тепловой режим осушаемых болот и заболоченных земель Карелии Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1996. 120 с. (соавтор И.М. Нестеренко).

18. Оценка пространственной и временной неоднородности задержания жидких осадков пологом леса Лесоведение. 1997. № 4. С. 64-70.

19. Постмелиоративные изменения элементов водного баланса водосборов Карелии // Водные ресурсы. 1997. Т. 24. № 3. С. 266-269 (соавтор В.И. Саковец).

20. Расчет максимальных расходов весеннего половодья малых рек // Тр. ПетрГУ. Межвузовский сборник. Вып. 5. Петрозаводск: ПетрГУ. 1997. С. 206-211.

21. Сравнение методов определения среднегодовой величины испарения с леса // Метеорология и гидрология. 1999. № 9. С. 98-105 (соавтор Н.Л. Бондарик).

22. Формирование снежного покрова на лесных водосборах Карелии // Лесоведение 1999 № 3. С. 68-71 (соавторы Н.Л. Бондарик, М.Н. Кривоногов).

23. Особенности формирования весенних максимальных расходов на осушаемом торфянике // Мелиорация и водное хозяйство. 1999. № 1. С. 37-39 (соавтор И.М. Нестеренко).

24. Влияние возможного потепления на испарение с лесных водосборов Восточной Финноскандии // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 1. С. 103-106 (соавтор Н.Л. Бондарик).

25. Гидрологические преобразования отдельных водосборов Восточной Финноскандии в результате сооружения водохранилищ // Изв. РГО. 2003. Т.135. Вып. 2. С. 65-71 (соавтор В.А. Карпечко).

26. Влияние дорог на водность рек // Гидроэкологические проблемы Карелии и использование водных ресурсов. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2003. С. 49-52 (соавтор В.А. Карпечко).

27. Метод оценки влияния климатических характеристик на продуктивность лесов и водность рек // Гидроэкологические проблемы Карелии и использование водных ресурсов. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2003. С. 52-56 (соавтор Н.Л. Бондарик).

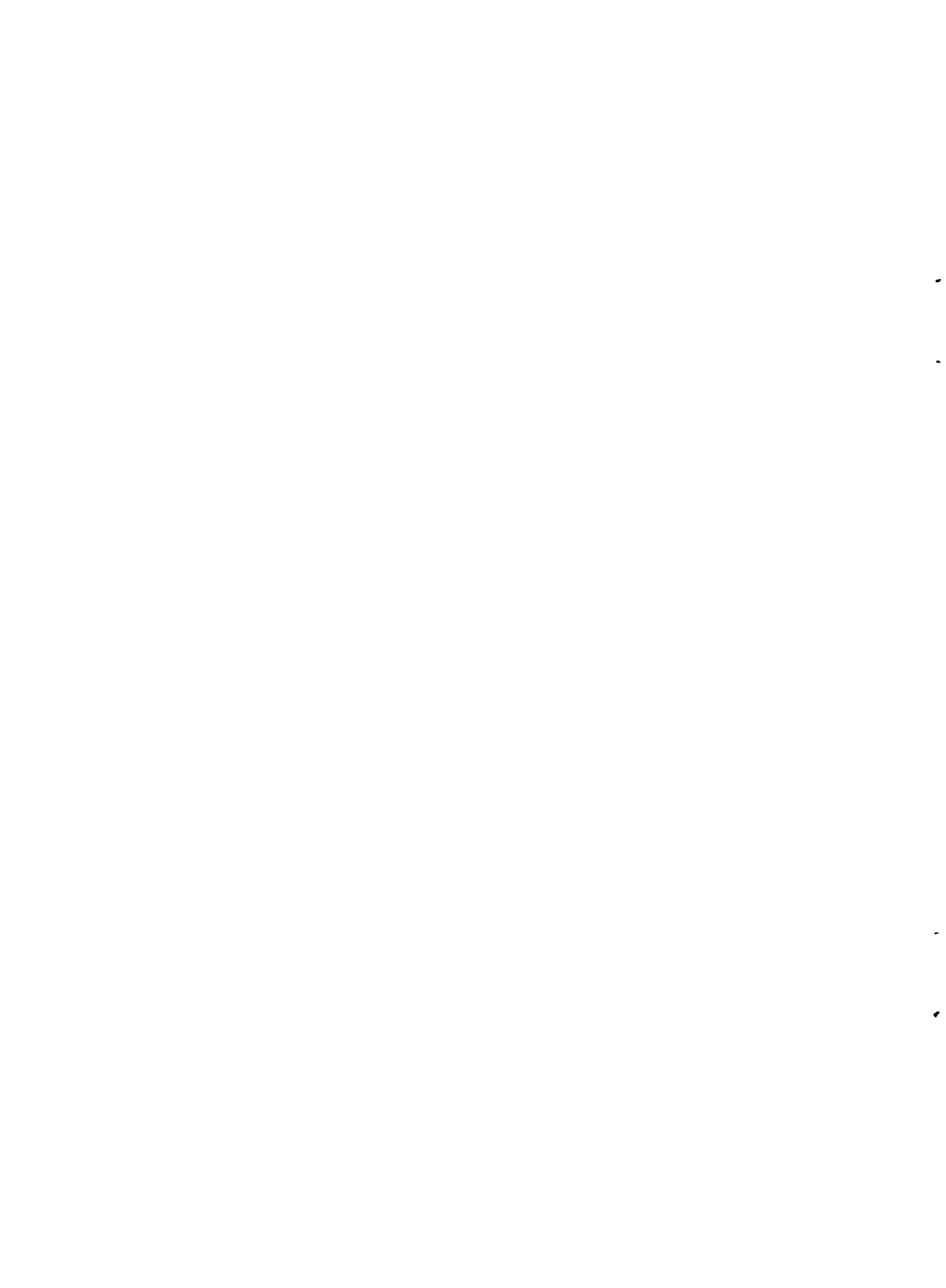
28. Effect of potential warming on evapotranspiration from forest catchments in Karelia // Nordic Hydrology. 2003. Vol. 34. №3. P. 147-160 (co-author N.L. Bondarik).

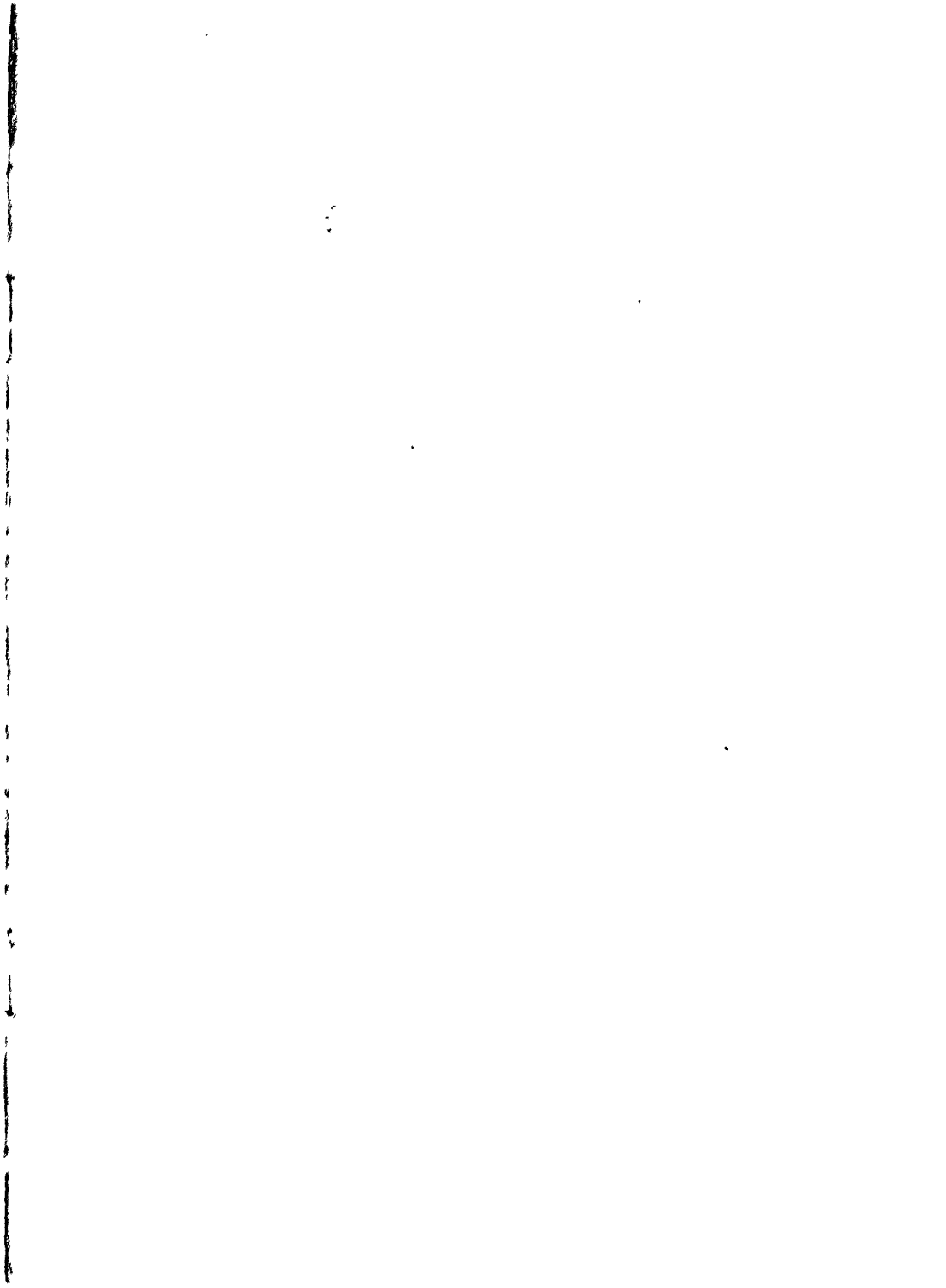
*М.В. Карп*



Изд лиц № 00041 от 30 08 99 Подписано в печать 16 09 04 Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Бумага офсетная Гарнитура «Times» Печать офсетная  
Уч -изд л 2,3 Усл печ л 2,9 Тираж 100 экз Изд № 53 Заказ № 438

Карельский научный центр РАН  
185003, Петрозаводск, пр. А Невского, 50  
Редакционно-издательский отдел





**20078**

РНБ Русский фонд

2005-4

13536 