

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

002 - особо опасные явления

Г. Н. УГРЕНИНОВ

## ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

*Утверждено ученым советом института  
в качестве учебного пособия*

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
имени М. И. КАЛИНИНА

ЛЕНИНГРАД  
1986

УДК 556.025 : 33

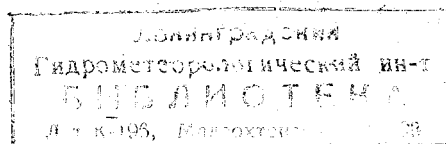
Угренинов Г. Н. Гидрологическое обеспечение народного хозяйства. Учебное пособие. — Л., изд. ЛПИ, 1986, 83 с. (ЛГМИ).

В учебном пособии, издаваемом впервые, изложены организационные основы гидрологического обеспечения. Рассмотрены виды гидрологической информации и методы оценки ее экономической эффективности. Приведены примеры.

Книга предназначена для студентов гидрометеорологических институтов и государственных университетов по специальности гидрология суши, а также представляет интерес для специалистов-гидрологов оперативных и научных подразделений Госкомгидромета СССР.

Табл. 13. Библ. 23.

Рецензенты: кафедра гидрологии суши Ленинградского государственного университета имени А. А. Жданова; А. Б. Заводчиков, канд. географ. наук, старший научный сотрудник (Государственный гидрологический институт).



© Ленинградский гидрометеорологический институт (ЛГМИ), 1986.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

### 1.1. Предмет изучения

Ресурсы Земли ограничены. В ряде районов нашей планеты под воздействием нерациональных способов ведения хозяйства произошли опасные нарушения природных процессов вплоть до неблагоприятных климатических изменений. Иссякают не только запасы традиционных полезных ископаемых: нефти, угля, руд — все заметнее ощущается недостаток, казалось бы, неисчерпаемого вещества — пресной воды. Там, где реки и озера многоводны, водопользование ограничивается ухудшившимся качеством воды, поскольку естественной способности водоемов и водотоков к самоочищению уже недостаточно, чтобы переработать огромное количество промышленных и бытовых отходов, сбрасываемых в реки и озера вместе со сточными водами.

Эпоха бесконтрольного водопользования прошла. Лишь на базе современных знаний о режиме рек и озер могут решаться хозяйственные задачи, связанные с водопользованием. Проблема снабжения населения Земли пресной водой в ближайшем будущем встанет острее, чем проблема обеспечения людей продуктами питания. В связи с этим значение гидрометеорологических наук возрастет как никогда.

Значение проблем рационального использования и охраны вод подчеркнуто советским законодательством. С 1 сентября 1971 г. введены в действие «Основы водного законодательства Союза ССР и союзных республик». Отныне сложные вопросы водопользования, охраны вод и борьбы с опасными гидрологическими явлениями решаются в рамках водных кодексов союзных республик, созданных на базе «Основ водного законодательства...» [12].

Быстрое развитие народного хозяйства СССР требует все более полной гидрологической информации оперативного, режимного и прогностического характера. Недостатки гидрологического обеспечения подчас приводят к крупным хозяйственным просчетам, тогда как объективное и достаточно полное освещение гидрологического режима рек и озер позволяет оптимизировать хозяйственную деятельность с учетом потребностей отдельных производств, а также нужд всего экономического района и даже страны.

8.2 Гидрологическое обеспечение народного хозяйства включает в себя комплекс работ:

- мероприятия по содержанию, рационализации и развитию сети наблюдений;
- сбор, обработка и передача гидрологической информации в приемлемых для народнохозяйственных организаций объеме и форме;
- систематизация и обобщение многолетних сведений о гидрологических явлениях;
- создание современных методов расчета характеристик гидрологического режима;
- оценка экспедиционными методами режима неизученных или слабо изученных водных объектов;
- предсказание гидрологических явлений с различной заблаговременностью;
- участие в оптимизации хозяйственных решений на основе гидрологических данных;
- оценка экономической эффективности гидрологического обеспечения народного хозяйства.

Во избежание дублирования материала, в предлагаемом учебном пособии не рассматриваются те разделы работ по гидрологическому обеспечению, которые достаточно полно освещены в курсах других гидрологических дисциплин, в частности, в учебниках [2, 4—6, 9]. Особое внимание уделено новым видам гидрологического обслуживания, а также теории и практике оценки экономической эффективности гидрологической информации.

## 8.1 1.2. Место гидрометеорологии в сфере материального производства

При рассмотрении этого вопроса ограничимся анализом роли гидрологической науки.

До начала XX века развитие гидрологии в России диктовалось прежде всего нуждами судоходства и лесосплава. При этом путейцы являлись не только основными потребителями гидрологической информации, но и непосредственными исполнителями гидрологических работ. Вся деятельность в области гидрологии до середины XIX века направлялась Департаментом водных коммуникаций, а затем Министерством путей сообщения. Неудивительно, что основоположники отечественной гидрологии: Н. С. Лежневский, В. М. Лохтин, В. А. Макаров, В. Г. Клейбер, Д. Д. Гнусин, Л. И. Квицинский, Н. Е. Долгов — были в большинстве своем путейцы по образованию. Лишь с 70-х годов прошлого столетия начали развиваться гидрологические работы для обеспечения землеустроительных мероприятий с целью осушения болот в Полесье, а также орошения южных районов России [21].

После Октябрьской социалистической революции с принятием плана ГОЭЛРО (1920 г.) первоочередными стали задачи обеспечения бурно развивающейся энергетики. Изучение сложных проблем регулирования стока крупнейших рек мира, протекающих по территории Советского Союза, способствовало выдвижению отечественной гидрологии на авангардные позиции в мировой науке. В то же время гидроэнергетическая направленность исследований в ряде случаев приводила к односторонним решениям, чреватым неблагоприятными «побочными» последствиями. Особенно часто пострадавшей стороной оказывалось рыбное хозяйство.

С конца пятидесятих годов гидрологические исследования приобрели комплексный характер. Это тем более важно, что с развитием народного хозяйства все чаще имеет место столкновение ведомственных интересов различных водопользователей. Потребители гидрологической информации отнюдь не равнодушны к поступающим от гидрометслужбы сведениям. При крайнем маловодье «дележом» воды между отдельными водопользователями зачастую вынуждены заниматься весьма высокие республиканские инстанции.

При интенсивном водопользовании, таком как, например, на Волге, Дону, Днепре, Амударье, Сырдарье, Тереке, Куре, Или и других реках интересы промышленности, судоходства, энергетики, сельского и коммунального хозяйств настолько в ряде случаев противоречивы, что оптимальное решение о приоритетах различных ведомств может быть принято лишь в результате сложного экономического исследования с учетом гидрометеорологических данных. Следовательно, ответственность гидрологов за полноту и надежность информации о режиме водоемов и водотоков с годами возрастает. Более того, создание гидротехнических сооружений на реках, как правило, увеличивает сложность проблем гидрологического обеспечения.

Планы развития народного хозяйства в 12-ой пятилетке и на период до 2000 года требуют адекватного гидрологического обеспечения намеченных мероприятий. Прежде всего это выполнение комплекса экспедиционных и теоретических исследований для обоснования проектов крупнейших в мире гидроэлектростанций на северо-востоке нашей страны. Недостаток, а в ряде случаев и полное отсутствие, многолетних наблюдений за элементами гидрологического режима, экстремальные условия выполнения гидрометрических работ ставят перед гидрологами новые трудные задачи.

Чрезвычайную важность приобрели гидрологические исследования на БАМе, где режим пересекающих трассу водотоков нередко несет на себе черты ярко выраженной аazonальности, что затрудняет экстраполяцию полученных сведений на неизученные территории.

В связи с созданием сети гидроаккумулирующих электростанций остро ставится вопрос о наивыгоднейших вариантах водоснабжения этих энергетических объектов.

Комплекс мероприятий по претворению в жизнь Продовольственной программы включает в себя решение сложных гидрологических проблем, касающихся, в частности, территориального перераспределения водных ресурсов. В Постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 14 августа 1986 г. «О прекращении работ по переброске части стока северных и сибирских рек» указано на необходимость всесторонней оценки последствий вмешательства человека в жизнь крупных речных систем. В настоящее время все более тесно переплетаются гидрологические, экономические и экологические аспекты водохозяйственного проектирования. На водоемах и водотоках возникают совершенно новые гидрологические, гидрохимические и гидробиологические ситуации. Сегодня без участия гидрологов не может быть решена ни одна сколько-нибудь крупная проблема, связанная с освоением ресурсов биосферы.

## **2. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ГОСКОМГИДРОМЕТА СССР, МИНИСТЕРСТВ И ВЕДОМСТВ**

Состав, сроки и способ передачи гидрологической информации регламентируются генеральными соглашениями Госкомгидромета СССР и союзных министерств, а также локальными соглашениями территориальных УГКС и республиканских министерств или областных организаций и учреждений. Кроме того, органы УГКС обязаны включать в план оперативного гидрологического обслуживания все организации, заблаговременно подавшие соответствующие заявки. Разумеется, при этом оценивается реальность требований, предъявляемых к гидрологам.

Непосредственное гидрологическое обеспечение центральных партийных органов и правительственных учреждений СССР и и РСФСР осуществляется отделом гидрологических прогнозов и лабораторией гидроинформации Гидрометеорологического научно-исследовательского центра СССР. Республиканские и областные органы и ведомства обслуживаются оперативными подразделениями территориальных УГКС.

Иногда руководство УГКС привлекает гидрологические станции к оперативному обслуживанию районных учреждений и организаций. Такое решение принимается лишь при наличии на станциях достаточно квалифицированных специалистов.

Задачи гидрологического обслуживания сложны, при этом неизбежен субъективизм оценок текущей или будущей обстановки. Легко себе представить положение потребителя гидрологической информации, если его обеспечивают гидрологическими данными

два оперативных подразделения, принявших различные решения. Во избежание такой ситуации учреждения и организации обслуживаются оперативным подразделением того УГКС, на территории которого находится центральный аппарат этого учреждения или организации. Если сфера деятельности организации выходит за пределы территории, подведомственной УГКС, то смежные УГКС обязаны предоставить всю необходимую гидрометеорологическую информацию по своей территории оперативному подразделению Управления, осуществляющего обеспечение данной организации.

План оперативного гидрологического обслуживания (обеспечения) является главным документом, регламентирующим деятельность конкретного подразделения Госкомгидромета по передаче народнохозяйственным организациям информации о текущем и будущем состоянии водоемов и водотоков на подведомственной УГКС территории. Однако, в действительности, эта сторона деятельности оперативных подразделений УГКС намного сложнее и многообразнее, поскольку быстро изменяющиеся, а иногда и экстремальные, гидрометеорологические условия вызывают необходимость перестраивать работу, по-новому ранжировать запросы обслуживаемых организаций. На деле это оборачивается резким увеличением объема передаваемой информации, с сохранением связей, закрепленных в плане оперативного гидрологического обслуживания.

Возникновение аномальных гидрометеорологических явлений часто влечет за собой различного рода неполадки в народном хозяйстве. Иногда часть ущерба, вызванного стихийным бедствием, может быть отнесена за счет недостаточно полного и своевременного обеспечения персонала пострадавшего объекта гидрометеорологической информацией. Для выяснения факта нарушения положений плана оперативного гидрологического обслуживания и, следовательно, соответствующих генерального и локального соглашений, начальник территориального УГКС и руководство народнохозяйственной организации создают специальную смешанную комиссию по разбору претензий в адрес подразделения Госкомгидромета. В сложных случаях создание таких комиссий берут на себя головные органы Госкомгидромета и соответствующего министерства (ведомства). Работа смешанной комиссии завершается составлением протокола по специальному образцу, содержащего согласованное сторонами толкование происшедшего события, оценку меры ответственности сторон, а также рекомендации по ликвидации неблагоприятных последствий стихийного бедствия и конкретные предложения по устранению в дальнейшем недостатков в отношении состава, сроков и формы передачи гидрометеорологической информации.

Четкое знание особенностей деятельности конкретной организации является необходимой предпосылкой для устранения возможных недоразумений в сложном деле гидрометеорологического

8.4  
обслуживания. Приобретению таких знаний способствует составление технических записок о влиянии гидрометеорологических факторов на производственную деятельность конкретных отраслей народного хозяйства. В технической записке дается краткая историческая справка о создании и развитии данного производства, оценивается степень зависимости технологического цикла от гидрометеорологических условий и устанавливаются критерии опасности при возникновении тех или иных природных явлений. Особое внимание обращается на выявление календарных периодов наибольшей повторяемости опасных явлений.

Чрезвычайно важно при анализе особенностей хозяйственной деятельности выявить, каково влияние данного производства на режим водного объекта. Не произошло ли изменения гидрологических характеристик по причинам антропогенного воздействия? Если такое изменение произошло, то следует произвести пересмотр и преобразование применяемых в оперативной практике рядов гидрологической величины с целью приведения их к однородным совокупностям. В противном случае накопление систематических отклонений за годы работы предприятия может сделать практически неинформативными статистические характеристики гидрологической величины, вычисленные с привлечением данных за период ненарушенного режима или за весь период, включающий годы после создания промышленного или сельскохозяйственного объекта.

Количественная оценка значимости антропогенных нарушений гидрологического режима обычно — весьма сложная задача. Рассмотрим простейший случай. Предположим, речь идет о том, произошли или не произошли значимые изменения годового стока некоторой реки  $A$ . Имеется ряд среднегодовых расходов воды за  $N$  лет, из них  $n$  — продолжительность (в годах) работы предприятия, влияющего на режим реки. Допустим, что автокорреляцией ряда за ранние  $(N - n)$  лет можно пренебречь. Объемы выборок  $(N - n)$  и  $n$  превышают 10 лет, т. е. выполняется условие:  $(N - n) \geq 10$ ;  $n \geq 10$ .

Решение поставленной задачи сводится к проверке гипотезы о временной однородности ряда среднегодовых расходов объемом  $N$ . Если заведомо известно, что за годы до создания предприятия исключены нарушения режима реки (как по естественным, так и антропогенным причинам), а методика подсчета стока за весь период  $N$  лет не претерпела изменений, то сравнению подвергаются лишь две выборки: календарный ряд среднегодовых расходов за  $(N - n)$  «ранние годы» и за  $n$  «поздних» лет.

Проверку гипотезы о временной однородности произведем с применением известного критерия Манна — Уитни. Прежде всего выясним, произошли или нет значимые изменения нормы среднегодового расхода реки  $A$ . В убывающем или возрастающем (но не календарном!) порядке среднегодовых значений составим общий ряд из  $N$  членов. Подсчитаем сумму инверсий  $U$ , равную

суммарному числу значений из ряда «ранних лет», предваряющих в общем ряду каждое из значений ряда «поздних» лет [17].

Доказано, что сумма инверсий  $U$ , при объеме каждой из сравниваемых выборок больше 10, распределена практически нормально и это распределение исчерпывающим образом характеризуется математическим ожиданием

$$MU = \frac{(N-n)n}{2} \quad (2.1)$$

и дисперсией

$$DU = \frac{(N-n)n}{12} (N+1). \quad (2.2)$$

Подсчитанная в конкретном случае сумма инверсий  $U$ , естественно, отличается от математического ожидания  $MU$ . Необходимо составить мнение, является ли отклонение  $U$  от  $MU$  случайным событием или, в рамках нормального закона распределения суммы инверсий  $U$ , нельзя признать допустимой столь большую разницу значений  $U$  и  $MU$ . Зададимся пределами, в которых отклонения  $(U-MU)$  можно объяснить вариацией случайной величины  $U$ . При уровне значимости  $\alpha=0,10$  эти пределы равны суммам инверсий  $U$  обеспеченностью  $P_1 = \frac{\alpha}{2} = 0,05$ ;  $P_2 = 1 - \frac{\alpha}{2} = 0,95$ .

Произведем необходимые вычисления:

$$U_{P_1} = MU + t_{P_1} \sqrt{DU}, \quad (2.3)$$

$$U_{P_2} = MU + t_{P_2} \sqrt{DU}, \quad (2.4)$$

где  $t_P$  — квантиль нормального распределения — табличная величина, представленная в любом справочнике по математической статистике; в нашем случае  $t_{P_1} = -1,65$ ;  $t_{P_2} = 1,65$ .

Приведем в табл. 2.1 некоторые значения квантилей  $t_P$ .

Таблица 2.1

Квантили нормального распределения

| $P$   | 0,005 | 0,025 | 0,05  | 0,10  | 0,25   | 0,50 | 0,75  | 0,90 | 0,95 | 0,975 | 0,995 |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|-------|------|------|-------|-------|
| $t_P$ | -2,57 | -1,96 | -1,65 | -1,28 | -0,674 | 0    | 0,674 | 1,28 | 1,65 | 1,96  | 2,57  |

При выполнении условия  $U_{P_1} < U < U_{P_2}$  принимается гипотеза об однородности сравниваемых выборок, т. е. о незначимом и объяснимом случайными факторами отличии выборочных норм первого и второго рядов.

В противном случае признается факт значимого отличия выборок по признаку нормы; а следовательно, в нашей задаче, антропогенное воздействие на режим водотока квалифицируется как весьма существенное.

Каковы следствия выполненного статистического анализа? Если общий ряд из  $N$  членов признан неоднородным, то для подсчета нормы стока в новых условиях пригодна лишь выборка «поздних»  $n$  лет. При этом следует различать по крайней мере два случая:

— антропогенные нагрузки за период действия предприятия были одинаковы, т. е. производственные мощности оставались стабильными, технология не изменялась;

— антропогенные нагрузки характеризовались ярко выраженной нестабильностью.

В первом случае оценка нормы представляет собой обычное среднее значение за  $n$  лет действия предприятия. Во втором случае расчет нормы требует дополнительного анализа, диктуемого конкретными данными о режиме реки  $A$  и изменениях на предприятии.

Известно, что гидрологическая величина с достаточной определенностью задается тремя статистическими характеристиками: нормой, дисперсией и коэффициентом асимметрии. Выше рассмотрена методика оценки значимости нарушения естественного режима в отношении нормы. Для выяснения вопросов, изменилась или нет вариация стока, не увеличилась ли вероятность маловодных или, наоборот, многоводных группировок лет, требуется произвести проверку гипотезы об однородности исходного ряда по признаку второго и третьего центральных моментов. Следуя рекомендациям Государственного гидрологического института [13], можно применить прежнюю процедуру анализа с той разницей, что исходный ряд подвергается преобразованию:

— при проверке гипотезы о временной однородности по признаку дисперсии каждое значение расхода  $Q$  за  $i$ -й год должно быть представлено в виде  $\left(\frac{Q_i}{\bar{Q}} - 1\right)^2$ , при этом  $\bar{Q}$  — оценка нормы, различная для «ранних» и «поздних» лет;

— при проверке той же гипотезы по признаку третьего центрального момента, среднегодовые расходы пересчитываются

в значения  $\frac{\left(\frac{Q_i}{\bar{Q}} - 1\right)^3}{C_v^3}$ , где по аналогии с предыдущим, оценки

коэффициента вариации  $C_v$  и нормы  $\bar{Q}$  подсчитываются отдельно

для каждой из сравниваемых выборок (за годы естественного режима —  $C_{\sigma_1}$  и  $\bar{Q}_1$ , за годы нарушенного режима —  $C_{\sigma_2}$  и  $\bar{Q}_2$ ).

Составленная с должным вниманием техническая записка позволяет оперативному подразделению при ожидаемом возникновении неблагоприятных для конкретной народнохозяйственной организации гидрометеорологических условий давать необходимые рекомендации об изменении технологии или принятии необходимых защитных мер. Выпуск таких рекомендаций следует считать новым прогрессивным явлением в практике взаимоотношений гидрометеорологов и потребителей информации о состоянии вод и атмосферы.

Заслуживает внимания практика территориальных и республиканских УГКС по проведению совещаний с представителями народнохозяйственных организаций накануне наступления природных явлений, наиболее важных для хозяйства данной области, края или республики. Это, например, ежегодные совещания в предвесенний и предзимний периоды. На таких совещаниях координируются действия различных ведомств в соответствии с ожидаемыми условиями погоды и водности, принимаются решения о неотложных мероприятиях, корректируются сроки, к примеру, открытия навигации, начала наполнения водохранилищ сезонного регулирования и т. д.

Деловые, основанные на доверии и требовательности взаимоотношения оперативных подразделений Госкомгидромета и народнохозяйственных организаций служат залогом все более эффективного использования огромных природных ресурсов нашей страны.

### 3. РЕГУЛЯРНАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

#### 3.1. Гидрологическая сеть наблюдений

С 1936 г. руководство изучением поверхностных вод и атмосферы осуществлялось в нашей стране Главным управлением гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР (ГУГМС). В марте 1978 г. ГУГМС преобразовано в Государственный комитет по гидрометеорологии и контролю природной среды СССР (Госкомгидромет). В системе Госкомгидромета СССР в настоящее время действуют 14 управлений по гидрометеорологии и контролю природной среды союзных республик и 24 УГКС, функционирующих на территории Российской Федерации.

На реках, озерах, водохранилищах и различного рода каналах и водоводах сейчас ведутся наблюдения примерно в 36 000 пунктах, при этом на Европейской территории страны (ЕТС) — в 22 000 пунктах, а в Азиатской (АТС) — в 14 000 пунктах. Опорная сеть Госкомгидромета включает в себя около 7100 постов,

из них на ЕТС — 2950, а на АТС — 4150 постов. Остальные посты находятся в распоряжении различных ведомств. Около 2510 водомерных постов оборудовано самописцами уровней.

Одним из показателей гидрологической изученности территории является число пунктов, где ведутся наблюдения за стоком. Сейчас в стране приблизительно 5550 таких пунктов опорной сети Госкомгидромета, из них на ЕТС — 2300, на АТС — 3250.

Для обеспечения нужд гидроэнергетики, судоходства, рыбного хозяйства и других ведомств, чья деятельность всецело зависит от режима озер и водохранилищ, создана сеть специализированных гидрометеорологических обсерваторий и озерных станций.

Правомерен вопрос: достигнута ли оптимальная плотность гидрологической сети?

В пределах ЕТС, особенно в наиболее обжитых районах, густота сети наблюдений близка к оптимуму. В то же время в Архангельской, Вологодской, Кировской областях, в Карельской и Коми АССР пунктов наблюдений пока недостаточно.

К востоку от Урала густота гидрологической сети не удовлетворяет современным требованиям народного хозяйства несмотря на то, что за послереволюционные годы количество станций и постов возросло более чем в 10 раз. Недостаточна плотность гидрологической сети в районах строительства крупнейших ГЭС на Лене, Енисее, Вилюе, а также на трассе БАМа.

В некоторой степени недостаток натуральных данных восполняется экспедиционными методами. В этом отношении особенно показательны результаты экспедиционных исследований Государственного гидрологического института (ГГИ) на Дону, в Кировской области, в Казахстане, в Западной Сибири и на трассе БАМа.

Определение оптимального числа пунктов наблюдений — сложное дело. Достаточная гидрологическая сеть должна:

- удовлетворять потребности прогностических подразделений Госкомгидромета в исходной оперативной информации;

- обеспечивать необходимый объем данных наблюдений при режимных обобщениях по бассейнам крупных рек, озер и важнейшим регионам;

- соответствовать нуждам народного хозяйства с учетом перспектив его развития.

В связи с усиливающимся антропогенным воздействием на природу, в ряде случаев гидролог имеет дело с измененным режимом рек и озер. Отсюда возникает проблема оценки этих изменений и предсказание дальнейшего развития наметившейся тенденции. Расчеты воднобалансовых характеристик территории и водных объектов являются одним из способов зафиксировать такие изменения режима и определить границы районов, подверженных чрезмерным антропогенным нагрузкам. К сожалению, плотность гидрометеорологической сети часто оказывается недостаточной для надежного решения воднобалансовых задач. Осо-

бенно это касается малых рек с аazonальными характеристиками стока.

На равнинной местности в зоне умеренного климата характеристики полей гидрологических элементов оцениваются с приемлемой точностью при наличии одного поста на каждые 1500—2000 км<sup>2</sup> (здесь и далее — данные ГГИ [22]). В районах с существенной озерностью на один пункт наблюдений за стоком должно приходиться около 1000—1500 км<sup>2</sup>. Оптимальная плотность сети в горной местности составляет один пост на 500—1000 км<sup>2</sup>, иногда — на 200—500 км<sup>2</sup>.

Если бассейн большой реки охватывает различные физико-географические зоны, то наиболее целесообразна линейная схема размещения постов по длине реки с тем, чтобы зарегистрировать изменение стока с частных водосборов между гидростворами.

В отношении малых водосборов с аazonальными особенностями линейная схема размещения постов неприемлема: здесь более оправдана кустовая схема, заключающаяся в сгущении сети на территории бассейнов-аналогов с последующим распространением данных наблюдений на водосборы, находящиеся в сходных условиях.

В итоге специальных исследований ГГИ с применением физико-статистических методов определено, что число опорных пунктов гидрологических наблюдений на территории СССР следует довести до 8000—8500, при этом основная масса новых постов должна быть создана в Азиатской части страны.

Планируемым увеличением количества постов гидрометслужбы не ограничиваются резервы совершенствования сети наблюдений в нашей стране. В настоящее время осуществляется внедрение единой системы государственного учета вод и их использования (ЕСГУИВ). Согласовываются формы отчетности, по которым Госкомгидромету СССР должны передаваться все материалы наблюдений на ведомственной сети. Особое внимание уделяется учету водопользования, оценке изменений водного баланса и контролю за загрязнением вод. Планируется довести до уровня требований гидрометслужбы качество наблюдений на 5000—6000 гидрологических постов различных министерств и ведомств. Вместе с постами гидрометслужбы эти посты войдут в состав основной гидрологической сети ЕСГУИВ.

Кардинальное улучшение сети наблюдений намечено осуществить на базе комплексной автоматизации процессов измерения, сбора и обработки гидрологической информации. Огромные пространства нашей страны, сравнительно небольшая плотность населения делают особенно перспективным применение дистанционных способов измерения гидрологических элементов с последующим преобразованием данных в электрический сигнал и передачей по каналам связи на пункты сбора информации. На сегодня нашли широкое применение дистанционные уровнемеры ГР-105 и ГР-97; дистанционный электротермометр с цифровым

выходом (ГР-106); автоматическая радиотелеметрическая система оповещения о селевых потоках (РОС; ГР-89) и автоматический режимный регистрирующий гидрологический пост (АРРГП), иначе «станция ГР-103». Разработана унифицированная автоматическая телеизмерительная гидрометеорологическая станция УАТГС-4.

Важными звеньями автоматизированной сети наблюдений должны явиться системы контроля, использующие аэрометоды и спутниковую информацию.

### 3.2. Информационные посты

Часть постов опорной гидрологической сети привлекается к оперативной передаче текущей информации о состоянии водных объектов. По мере развития народного хозяйства число постов-корреспондентов непрерывно растет и достигает 3700—4000, то есть около 55% всех постов опорной гидрологической сети. Наблюдатели таких постов передают данные наблюдений в закодированном виде (коды КН-15 и КН-02) непосредственно в адрес оперативных подразделений территориальных УГКС. В зависимости от особенностей режима водного объекта, времени года и состояния средств связи передача сведений осуществляется по телеграфу либо немедленно после производства наблюдения, либо по результатам нескольких наблюдений, произведенных в течение установленного периода времени (до 10 суток). В последнем случае допускается пересылка материалов по почте.

Оперативная информация подразделяется на регулярную, эпизодическую и экстренную. Состав и сроки передачи регулярной информации регламентируются годовым планом. Регулярная информация обеспечивает возможность специалистам оперативных подразделений осуществлять непрерывный контроль за состоянием водных объектов и предугадывать дальнейшее развитие гидрологических процессов. Количество постов, привлеченных к передаче регулярной информации, должно быть оптимальным. Необоснованное увеличение числа таких постов ведет к излишним почтово-телеграфным расходам.

Полученная с постов информация подвергается контролю в оперативных подразделениях территориальных УГКС, и сведения по наиболее важным объектам в установленные сроки и по согласованному списку передаются в Москву на телетайпы Гидрометеорологического научно-исследовательского центра СССР (ГМЦ). В настоящее время в ГМЦ поступает оперативная информация примерно с 1750 постов.

Подразделения Госкомгидромета СССР, осуществляющие на основе оперативной информации с постов непосредственное гидрологическое обеспечение народного хозяйства, составляют так называемую службу гидрологических прогнозов. В эту службу входят отделы гидрологических прогнозов ГМЦ и территориаль-

ных гидрометеорологических центров, группы гидропрогнозов или отделы гидрологического обслуживания народного хозяйства (ГОНХ) гидрометеорологических обсерваторий (ГМО), территориально удаленных от головных учреждений соответствующего УГКС; а также группы по обслуживанию народного хозяйства областных гидрометеорологических бюро или специальных ГМБ.

Оперативные подразделения Госкомгидромета СССР анализируют и корректируют поступающую с постов информацию. Не вызывающие сомнения фактические данные и составленные на их основе прогнозы немедленно передаются народнохозяйственным организациям. Для этой цели используются телеграф, телефон, почта, рассылка с курьером. В отдельных случаях организации, находящиеся в труднодоступной местности и не имеющие проводной связи с УГКС, получают информацию о состоянии водных объектов по радио. Такие передачи производятся только по разрешению Госкомгидромета и согласно утвержденному им расписанию радиопередач.

Регулярная информация составляет основу гидрологического бюллетеня, ежедневно выпускаемого ГМЦ и УГКС. Иногда, при наличии на территории УГКС большого количества водных объектов, режим которых отличается значительной инерционностью гидрологических процессов, бюллетень составляется один раз в 3—5 дней, но не реже чем еженедельно.

Различают полную и сокращенные формы гидрологического бюллетеня. Полная форма бюллетеня обычно применяется при описании состояния водных объектов в наиболее важный период гидрологического года, например, на наших равнинных реках — это весна и осень, а на горных — летний (вегетационный) период. Подробный перечень материалов, помещаемых в гидрологический бюллетень, и макеты бюллетеня приведены в специальном Руководстве по оперативному гидрометеорологическому обслуживанию [18]. Гидрологический бюллетень рассылается потребителям по почте, а ближайшим организациям доставляется курьером.

### 3.3. Новые виды гидрологической информации

Освоение новых территорий и интенсификация производства вызвали к жизни аэрокосмические методы получения гидрологической информации. Наиболее освоен метод самолетной гамма-съемки снеготопосов. Малонаселенные бассейны крупных северных рек с редкой сетью гидрологических постов подвергаются авиационному обследованию по установленным маршрутам. Фиксируется интенсивность естественного гамма-излучения Земли при наличии снежного покрова и сравнивается с характеристиками гамма-поля в летний период. Ослабление гамма-излучения служит показателем величины влагонакопления в снеге. Регулярно проводимые самолетные снеготопосъемки дают ценную информацию, необходимую для многих отраслей народного хозяйства

и, разумеется, для оперативных подразделений Госкомгидромета, оценивающих по величине снегозапасов водность будущей весны.

В последние годы ряд научных учреждений в нашей стране ведет исследования по использованию космических (спутниковых) наблюдений для определения высоты снега и запасов воды в снежном покрове [11].

Большой эффективностью отличается авиационный метод определения температуры воды на поверхности крупных водоемов с помощью радиомикротермометра. Эти сведения используются рыбным хозяйством для определения мест скопления косяков промысловой рыбы, а также служат основой для оценки перспектив развития ледовой обстановки на водоемах. Температурная съемка огромных акваторий за считанные часы, быстрая обработка информации и передача ее по каналам связи заинтересованным организациям — прообраз будущих форм и способов гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства.

Контроль природной среды предполагает, в частности, наблюдения над загрязнениями рек, озер и морей. Сегодня такие наблюдения с применением аэрокосмических методов стали повседневной реальностью. Особенно детально разработана методика оценки нефтяного загрязнения. Метеорологические спутники регулярно передают снимки земной поверхности, дешифровка которых позволяет с большой надежностью установить загрязненные акватории. Еще более проста дешифровка снимков для определения ледовой обстановки.

В ряде территориальных УГКС данные, полученные аэрокосмическими методами, стали обязательным видом информации, публикуемой в гидрологических бюллетенях.

#### **4. ЭПИЗОДИЧЕСКАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

В соответствии с планом оперативного гидрологического обслуживания наблюдатели ряда гидрологических постов передают информацию в адрес прогностических подразделений УГКС в течение ограниченного, часто непродолжительного, периода. Это так называемая эпизодическая оперативная информация. По своему составу и срокам передачи эпизодическая информация всецело зависит от запросов народнохозяйственных организаций. Иногда требования потребителя к такой информации очень жестки, например при угрозе срыва гарантированных глубин, Управление водного пути может затребовать оперативные данные об учащенных, вплоть до ежечасных, наблюдениях за уровнями на перекатах, расположенных ниже гидротехнических сооружений.

Учащенные наблюдения за уровнями и ледовой обстановкой ведутся в период ледохода, если это явление представляет опасность для пристаней, водозаборов, мостов и т. д.

При угрозе наводнения в Ленинграде береговые и островные посты на Балтийском море, Финском заливе и на р. Неве переходят на учащенные наблюдения с немедленной передачей данных по телеграфу в адрес Ленинградского гидрометцентра. Как видим, в последнем случае, посты привлекаются к эпизодической информации не в четко установленные годовым планом периоды, а по дополнительному запросу оперативных подразделений, при этом сроки производства наблюдений устанавливаются различными, в зависимости от складывающейся гидрометеорологической обстановки.

## 5. ЭКСТРЕННАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вся опорная сеть Госкомгидромета привлечена к незамедлительной передаче информации об особо опасных явлениях (ООЯ), наносящих существенный ущерб прибрежным народнохозяйственным объектам при неблагоприятном стечении гидрометеорологических условий. Сообщая наблюдателю поста адреса и порядок подачи телеграммы об ООЯ, территориальное управление уточняет критерии опасных явлений на данном гидрологическом посту.

Согласно «Положению о сборе сведений и порядке предупреждения об особо опасных гидрометеорологических явлениях» (М., Гидрометеиздат, 1972) и «Инструкции гидрометеорологическим станциям по информации об опасных гидрометеорологических явлениях» (Изд. 4-е, М., Гидрометеиздат, 1972) к ООЯ относятся:

- «высокие уровни воды при половодьях, дождевых паводках, заторах, зажорах льда, ветровых нагонах, вызывающие подтопление отдельных городов или нескольких сел (поселков), железных и автомобильных дорог, а также других хозяйственных объектов союзного и республиканского значения, сельскохозяйственных угодий на площади более 10 000 га;

- низкие уровни воды — уровни ниже проектных отметок в течение более 10 дней или маловодье, повторяющееся не чаще одного раза в 10 лет;

- ледостав на судоходных реках и водохранилищах в ранние сроки, повторяющиеся не чаще чем один раз в 10 лет;

- селевые потоки, угрожающие населенным пунктам, санаторно-курортным и спортивным комплексам, железным и автомобильным дорогам, высоковольтным ЛЭП (110 кВ и более) и магистральным линиям связи, а также другим хозяйственным объектам;

- снежные лавины, угрожающие населенным пунктам, санаторно-курортным комплексам, железным и автомобильным дорогам, высоковольтным ЛЭП (110 кВ и более) и магистральным линиям связи, а также другим хозяйственным объектам».

В случае возникновения катастрофического явления наблюдатели всех постов, в том числе и не привлеченных к оператив-

ной информации, обязаны немедленно сообщить об этом на гидрологическую станцию, а также произвести краткое описание явления и дать оценку ущерба, причиненного народному хозяйству (Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 2, ч. II, Л., Гидрометеоиздат, 1975).

В некоторых случаях приведенные в перечне ООЯ события представляют собой часто повторяющийся случай, например, затопление лугов площадью более 10 000 га — ординарное явление для Приильменской впадины (устья рр. Ловати, Пола и Полисти). На озерных реках, которым свойственна тесная зависимость стока смежных лет, маловодный период «повторяемостью не чаще одного раза в 10 лет» может продолжаться долго, и режим водопользования заранее рассчитан на такое событие. Описанные случаи, как и ряд подобных, не следует относить к ООЯ. Если нет и не может быть ущерба народному хозяйству или природе — нет и ООЯ. Однако такого рода решения (относить явления к категории ООЯ или нет) должны быть согласованы с оперативными работниками, с руководством УГКС и соответствующими органами Гидрометцентра СССР.

Важнейшим документом оперативного подразделения является каталог опасных и особо опасных явлений. Он представляет собой набор карточек двух типов:

- карточки опасных явлений;
- карточки хозяйственных объектов.

Одно и то же явление может представлять опасность нескольким предприятиям, организациям и хозяйствам. Для своевременного предупреждения об ожидаемой опасности или для представления точной картины последствий стихийного бедствия используются данные, помещенные на карточках обоих типов. Поиск подвергшихся угрозе объектов очень прост: в карточке каждого опасного явления указываются номера карточек тех предприятий и организаций, для которых это явление представляет опасность. Информация, занесенная в карточки хозяйственных объектов, детализирует картину возможного бедствия, например приводятся отметки подтопления предприятия (предположим, «вода подошла к территории и наносит вред подземным коммуникациям»), отметки затопления отдельных цехов и предприятия в целом.

Для ускорения поиска информации, что особенно важно в экстремальных условиях, возможен и желателен перевод всех материалов каталога на технические носители. Во многих территориальных УГКС, в связи с внедрением ЭВМ, уже сегодня созданы условия для осуществления этого мероприятия.

При угрозе возникновения ООЯ и при его наступлении в исполкомах Советов депутатов трудящихся создаются противопоаводковые комиссии, наделенные очень большими полномочиями. Представители оперативных подразделений Госкомгидромета — неперемненные участники работы таких комиссий. Четкая, базирую-

щаяся на надежной и своевременной гидрометеорологической информации, деятельность противопаводковых комиссий позволяет свести к минимуму ущерб от стихийных бедствий.

## **6.11 6. РЕЖИМНАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

По окончании каждого месяца наблюдатели всех постов опорной гидрологической сети завершают первичную обработку результатов наблюдений и высылают на станции подлинные водомерные книжки, таблицы, ленты самописцев и другие материалы за истекший месяц. Копии водомерных книжек должны быть отправлены на станцию по окончании года. Полученная на посту информация постоянно пополняет сведения о водах нашей страны и становится частью систематизированного свода этих данных — Государственного водного кадастра СССР.

Только специально обработанные и обобщенные результаты натурных наблюдений позволяют выполнить необходимые интерполяционные и экстраполяционные процедуры для освещения всего теоретически возможного диапазона изменения той или иной гидрологической величины. Однако недостоверные первичные сведения представляют собой потерю возможности приобретения новой независимой информации. Состояние гидрологической сети и качество режимной информации определяют не только уровень гидрологии, но и эффективность водопользования.

## **7. НОРМАТИВНАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

К нормативной гидрологической информации относятся сведения о статистических характеристиках различных элементов: уровней, расходов и, температуры воды, стока взвешенных и донных наносов, количества растворенных в воде веществ и т. д. При этом гидрологические элементы приурочиваются к различным срокам, периодам осреднения и характерным фазам режима.

Статистические характеристики гидрологических величин не обязательно являются результатом обобщения наблюдений на данном водном объекте за некоторый достаточно длительный период. В курсе гидрологических расчетов дается обширный перечень методов интерполяции и экстраполяции гидрологических величин по территории на основе данных сравнительно редкой сети действующих гидрологических постов.

Нормативная информация — основа гидрологического обоснования любого проекта, связанного с водопользованием. Советские гидрологи еще в тридцатые годы разработали и внедрили в практику гидротехнического проектирования методы водохозяйственных расчетов, для выполнения которых достаточно сведений о норме и дисперсии гидрологической величины. В дальнейшем такие методы были усовершенствованы. Наибольший вклад в теорию применения математической статистики при вы-

полнении гидрологических расчетов внесли Д. Л. Соколовский, С. Н. Крицкий и М. Ф. Менкель.

Источниками нормативной гидрологической информации являются прежде всего три серии Справочника по водным ресурсам СССР:

- «Гидрологическая изученность СССР», содержащая гидрографические характеристики водоемов и водотоков, а также материалы о периоде и составе наблюдений на каждом посту и о способах хранения этой информации;

- «Основные гидрологические характеристики» (ОГХ), где приведены многолетние данные о стоке воды, уровнях, ледовом и термическом режимах рек и озер, наносах и химическом составе вод;

- районные монографии «Ресурсы поверхностных вод СССР», — здесь, кроме сведений по гидрографии и режиму водных объектов, даны рекомендации по расчету статистических характеристик гидрологических величин.

В дополнение к Справочнику по водным ресурсам СССР изданы вспомогательные материалы, такие как «Реки и озера Советского Союза» (Л., Гидрометеиздат, 1971); «Материалы по максимальному стоку талых вод СССР» (Л., Гидрометеиздат, 1967); «Материалы по минимальному стоку рек СССР» (Л., Гидрометеиздат, 1971); «Материалы по максимальному стоку дождевых паводков на реках СССР» (Л., Гидрометеиздат, 1972); «Каталог отметок наивысших уровней рек и озер СССР» (Л., Гидрометеиздат, 1970); «Каталог заторных и зажорных участков рек СССР», ч. I — Европейская часть СССР, ч. II — Азиатская часть СССР (Л., Гидрометеиздат, 1976) и другие.

Статистические характеристики элементов режима рек, в том числе и не изученных, определяются по расчетным схемам многочисленных СНиПов — Строительных норм и правил, издаваемых Госкомгидрометом, после утверждения этих документов Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства (Госстрой СССР). Особенно широкую известность получили «Указания по определению расчетных гидрологических характеристик» (СН 435-72). Как итог первого этапа многолетней работы по созданию СН, Государственный гидрологический институт выпустил «Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик» (Л., Гидрометеиздат, 1973).

Интенсификация производства, усложнение народного хозяйства ставят перед гидрологами новые задачи в отношении качества нормативной гидрологической информации. По современным меркам материалы Государственного водного кадастра сегодня неудовлетворительно освещают вопросы:

- о водопотреблении и водоотоплении;
- о водных балансах бассейнов и объектов;
- о качестве вод и его изменении в результате хозяйственной деятельности.

Сегодня в гидрологии все более заметное место занимает новый раздел — гидрология урбанизированных территорий. Ранее в настоящем Пособии было, в частности, указано на сложность вычисления статистической характеристики (нормы), когда водный объект подвергается значимому антропогенному воздействию. Корректный подход к решению этой и сходных задач должен быть рекомендован специальной литературой по вопросам нормативной информации.

В 1977 г. Советом Министров СССР принято постановление о Государственном водном кадастре, который должен содержать сведения о поверхностных, подземных водах и об использовании вод. Введение нового кадастра основывается на взаимодействии трех самостоятельных отраслевых информационных систем (ОИС), в рамках которых производится сбор и обработка материалов:

- по поверхностным водам — ОИС «Гидромет» Государственного комитета по гидрометеорологии и контролю природной среды СССР;

- по подземным водам — ОИС «Геология» Министерства геологии СССР (Мингео);

- по использованию вод — ОИС «Водопользование» Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР (Минводхоз).

В настоящее время нужды народного хозяйства не удовлетворяют и способы обработки и хранения информации о водах. Часть гидрологических данных обрабатывается вручную. Поиск сведений требует определенных затрат времени. Ближайшая задача нашей гидрологии — выполнение всех процедур по обработке, хранению и поиску гидрологической информации на базе ЭВМ. Значительная часть пути в этом направлении уже пройдена.

Коренной модернизации подвергаются и рекомендуемые потребителям расчетные схемы СН. Внимание обращается на дифференцированный подход к расчетам статистических характеристик гидрологических величин в зависимости от полноты и надежности исходной информации. В частности, это исключает неоправданное завышение проектных гидрологических характеристик, а следовательно, ведет к удешевлению строительства. В качестве примера такого рода документов назовем «Определение расчетных гидрологических характеристик. СНиП 2.01.14-83». — М., 1983.

## **8. ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

### **8.1. Виды прогностической информации**

Различают два вида гидрологической прогностической информации: прогноз и консультация. Гидрологический прогноз — это научно обоснованное предсказание будущего состояния водных

объектов, выраженное в количественном виде. Прогнозы делятся по заблаговременности на долгосрочные и краткосрочные: если предсказывается явление, которое осуществится через 16 и более дней, то прогноз долгосрочный, при меньшей заблаговременности — краткосрочный. Следует иметь в виду, что заблаговременность предвычисления средней на период величины равна продолжительности от даты выпуска прогноза до конца периода осреднения. Например, 25 мая дан прогноз среднего расхода воды реки А на июнь в заданном створе. Заблаговременность этого прогноза 36 суток.

Консультация об ожидаемых гидрологических явлениях — это предсказание будущего состояния водного объекта, выраженное в качественном виде.

Способ выражения прогностической информации (количественной или качественной) определяется эффективностью используемого метода предвычисления. Согласно Наставлению [15], предсказание в количественном виде может быть передано потребителю на основе метода, отвечающего необходимым условиям.

Созданный метод предвычисления проверяется путем составления так называемых поверочных прогнозов, т. е. предсказаний за прошлый период, когда известны осуществившиеся в действительности значения прогнозируемой величины. По результатам оправдываемости поверочных прогнозов вычисляется среднеквадратическая погрешность метода:

$$\bar{S}_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n - m}}, \quad (8.1)$$

где  $\hat{y}_i$  и  $y_i$  — соответственно ожидаемое и осуществившееся значения величины  $Y$  при  $i$ -ом выпуске прогноза;  $n$  — число поверочных прогнозов;  $m$  — число степеней свободы прогностического уравнения, например при линейной зависимости вида  $\hat{y} = ax$ ,  $m = 1$ , а при зависимости вида  $\hat{y} = ax + b$ ,  $m = 2$ .

Значение среднеквадратической погрешности  $\bar{S}_y$  сравнивается со среднеквадратическим отклонением гидрологической величины  $\sigma_y$ , если состояние водного объекта в момент выпуска прогноза никак не определяет ожидаемого явления. Предположим, с помощью уравнения  $\hat{y} = ax + b$  составляются прогнозы объема весеннего половодья ( $\hat{y}$  — ожидаемый объем половодья,  $x$  — максимальные за зиму снегозапасы). Расходы воды в момент составления прогноза в уравнении не учитываются, так как водность конца зимней межени во многих случаях практически не влияет на

объем весеннего половодья. Эффективность такого метода прогнозирования оценивается соотношением  $\frac{\bar{S}_y}{\sigma_y}$ , причем

$$\bar{\sigma}_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}, \quad (8.2)$$

где  $\bar{y}$  — норма гидрологической величины, подсчитанная по выборке данных объемом  $n$ .

Рассмотрим другой случай. Установлена прогностическая зависимость вида  $\hat{y}_{t+\Delta t} = f(y_t)$ , т. е. ожидаемое значение  $\hat{y}_{t+\Delta t}$  в большой степени определяется тем, какого значения достиг гидрологический элемент  $Y$  в момент выпуска прогноза  $t$ . Из этого следует, что значение среднеквадратической погрешности  $\bar{S}_y$  должно быть соотнесено со среднеквадратическим отклонением

$$\bar{\sigma}_{\Delta y} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta y_i - \bar{\Delta y})^2}{n-1}},$$

где

$$\Delta y_i = y_{t+\Delta t, i} - y_{t, i}; \quad \bar{\Delta y} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta y_i}{n}. \quad (8.3)$$

В табл. 8.1 определены условия применимости прогностического метода в оперативной практике.

Таблица 8.1

Критерии эффективности прогностических методов

| Число поверочных прогнозов | $\gamma = \frac{\bar{S}_y}{\sigma_y}$ |
|----------------------------|---------------------------------------|
| $n \leq 15$                | $\gamma \leq 0,70$                    |
| $15 < n < 25$              | $\gamma \leq 0,75$                    |
| $n \geq 25$                | $\gamma \leq 0,80$                    |

Если эффективность  $\gamma$  не соответствует условиям табл. 8.1, с помощью прогностического метода выпускаются не прогнозы, а консультации. При  $\gamma \geq 1,0$  метод не несет полезной информа-

ции и по запросу потребителей возможно лишь составление «Справки о наблюдавшихся характеристиках режима водного объекта», содержащей результаты обобщения многолетней информации, в частности норму, максимальное и минимальное значения гидрологической величины ( $\bar{y}$ ,  $y_{\min}$ ,  $y_{\max}$ ).

В консультациях различают три градации будущего состояния гидрологической величины: меньше (ниже, раньше) нормы, около нормы и выше (больше, позднее) нормы. Обычно понятие «меньше нормы» соответствует условию  $\hat{y} < 0,80 \bar{y}$ , «больше нормы» —  $\hat{y} > 1,20 \bar{y}$ , «около нормы» —  $0,80 \bar{y} \leq \hat{y} \leq 1,20 \bar{y}$ .

### 8.2. Формы выпуска долгосрочных гидрологических прогнозов

Приемы хозяйствования в разных отраслях производства неодинаковы. Действия одних потребителей гидрологической информации строго регламентированы в зависимости от сложившихся условий погоды и водности, действия других в известной мере произвольны. Отсюда различное отношение водопользователей к прогнозам. Там, где информация о будущем состоянии водного объекта принимается «к сведению», достаточно самой общей характеристики ожидаемого явления. Если эта информация жизненно важна и на ее основе коренным образом перестраивается производственная деятельность, то необходимо, по возможности, более детальное описание будущих условий.

Следует обратить внимание еще на один существенный момент взаимоотношений прогнозиста и потребителя. Прогноз в принципе не может быть абсолютно точным» хотя бы потому, что даже оценка осуществившегося явления производится с ошибкой (например, в связи с погрешностями гидрометрических измерений и различного рода «округлениями» и схематизацией явления при обработке натурных данных). Значит, обычно имеет место значимая погрешность прогноза  $\Delta \hat{y}_i = \hat{y}_i - y_i$ . В результате, потребитель, получивший прогноз, всегда находится в состоянии неопределенности решения. Как поступить? Абсолютное доверие к прогнозу недопустимо, так как он неточен. Полное игнорирование прогностической информации — тоже заведомо нерациональный образ действия, поскольку, во-первых, ошибка прогноза  $\Delta \hat{y}_i$  в большинстве случаев меньше погрешности любого другого произвольного способа предсказания будущих условий, в частности постоянной ориентации на норму  $\bar{y}$ ; во-вторых, инструкции министерств и ведомств, как правило, требуют от работников безусловного следования прогнозам, составляемым оперативными подразделениями Госкомгидромета.

Выход один — выпуск прогнозов в такой форме, которая бы не противоречила вероятностной сущности предвычисления и позволяла потребителям извлекать максимум полезной информации об ожидаемом режиме водного объекта.

#### 8.2.1. Первая форма представления долгосрочных гидрологических прогнозов

Водопользователям сообщается ожидаемое значение  $\hat{y}_i$  гидрологической величины  $Y$ , а также вероятная погрешность прогнозирования, вычисляемая по формуле

$$\delta_{y_i} = 0,674 \bar{S}_{y_i}, \quad (8.4)$$

где  $\bar{S}_{y_i}$  — среднеквадратическая погрешность предвычисления в условиях  $i$ -го выпуска прогноза.

Расчет  $\bar{S}_{y_i}$  достаточно сложен. Не вдаваясь в детали, отметим, что в большинстве случаев не выполняется равенство  $\bar{S}_{y_i} = \bar{S}_y$ . Причин этому очень много. К примеру, параметры прогностического уравнения определяются на основе статистической обработки, ограниченной по объему выборки исходных данных. Эти параметры оптимальны лишь в рамках конкретной выборки, не исключено, что добавление к исходным данным некоторого числа новых членов ряда потребует корректировки уравнения. Если ограничиться учетом только этой причины и для простоты задаться линейным уравнением  $\hat{y} = ax + b$ , то

$$S_{y_i} = \bar{S}_y \sqrt{1 + \frac{1}{n} \left(1 + \frac{\Delta x_i^2}{\sigma_x^2}\right)}, \quad (8.5)$$

где  $\Delta x_i = x_i - \bar{x}$ , т. е.  $\Delta x_i$  — отклонение от нормы аргумента прогностического уравнения в условиях  $i$ -го выпуска прогноза;

$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2}{n-1}}$  — среднеквадратическое отклонение аргумента (мера изменчивости величины  $X$ ).

Нетрудно заметить, что в рамках (8.5) при любом значении аргумента  $S_{y_i} > \bar{S}_y$ .

В действительности, расчет значения  $S_{y_i}$  намного сложнее. Некоторые рекомендации по этому вопросу даны в работах [15, 16].

Почему в первой форме прогноза приводится именно вероятная погрешность  $\delta_{y_i}$ ? При нормальном распределении погреш-

ностей прогнозирования вероятность попадания ожидаемой величины  $Y$  в интервал  $\hat{y} \pm \delta_{y_i}$  составляет 50%, т. е.

$$P(\hat{y}_i - \delta_{y_i} < y < \hat{y}_i + \delta_{y_i}) = 0,50. \quad (8.6)$$

Получив прогноз, составленный по первой форме, квалифицированный водопользователь, не веря в абсолютную точность значения  $\hat{y}_i$ , тем не менее может принять в качестве достаточно достоверного события осуществление значения в интервале  $\hat{y}_i \pm \delta_{y_i}$ .

В дополнение к указанной информации в первой форме выпуска сообщаются многолетние характеристики: норма и экстремумы (максимум, минимум).

Нетрудно видеть, что первая форма представления прогноза может удовлетворить работников такой народнохозяйственной организации, зависимость которой от гидрологических условий становится очень тесной лишь в экстремальной обстановке. Это прогнозы, как указывалось выше, из категории «к сведению».

#### 8.2.2. Вторая форма представления долгосрочных гидрологических прогнозов

Отличие от первой формы заключается в том, что многолетние характеристики гидрологической величины дополняются координатами кривой обеспеченности, представленной в виде табл. 8.2.

Таблица 8.2

Координаты многолетней кривой обеспеченности гидрологической величины  $Y$

| Обеспеченность ( $P$ ), %                           | 10        | 25        | 50        | 75        | 90        |
|-----------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Значение величины заданной обеспеченности ( $y_P$ ) | $y_{P_1}$ | $y_{P_2}$ | $y_{P_3}$ | $y_{P_4}$ | $y_{P_5}$ |

Построение кривой обеспеченности и определение ординат  $y_P$  не представляет затруднений. В тех случаях, когда допустимо задаться нормальным законом распределения величины  $Y$  расчет ординат  $y_P$  еще более упрощается:

$$y_P = \bar{y} + t_P^* \sigma_y, \quad (8.7)$$

где  $t_P^*$  — квантили, представленные в табл. 2.1, но взятые с противоположным знаком ( $t_P^* = -t_P$ ), поскольку по традиции

в гидрологии обеспеченность — это вероятность превышения заданного значения, а в математике — вероятность непревышения. Заметим, что обеспеченности в табл. 2.1 даны в долях единицы, а не в процентах.

Вторая форма позволяет потребителю прогностической информации более полно оценить степень аномальности или, наоборот, ординарности ожидаемого явления.

### 8.2.3. Третья форма представления долгосрочных гидрологических прогнозов

Наиболее полно стохастической сущности гидрологических явлений отвечает третья форма прогнозов. Здесь ожидаемая гидрологическая величина представлена в виде условной кривой обеспеченности, которая характеризует распределение этой величины в условиях выпуска данного прогноза.

В специальной таблице приводятся ординаты условной кривой, соответствующие обеспеченностям 10, 25, 50, 75, 90%, иногда указываются значения обеспеченностью 5 и 95%.

Способ построения условной кривой обеспеченности выбирается в зависимости от предварительной информации о виде распределения погрешностей конкретного метода прогнозирования. В оперативной практике для простоты различают два вида такого распределения — нормальное и асимметричное, при этом всегда необходимо отдавать себе отчет о недостаточной корректности решения.

Если принять допущение о нормальном распределении погрешностей  $i$ -го прогноза, то расчет координат условной кривой обеспеченности производится по формуле

$$\hat{y}_{P_i} = \hat{y}_i + \Delta \hat{y}_{P_i} = \hat{y}_i + t_{P_i}^* S_{y_i}, \quad (8.8)$$

где  $P_i$  — условная обеспеченность, т. е. вероятность превышения заданных значений ожидаемой величины не в многолетнем рассмотрении, а в условиях  $i$ -го выпуска прогноза, например, если задано значение  $y_1$ , то  $P_i = P((y > y_1) | \hat{y}_i)$ ;  $\hat{y}_i$  — значение гидрологической величины, снятое с прогностического графика или полученное по уравнению;  $\Delta \hat{y}_{P_i}$  — погрешность  $i$ -го прогноза заданной обеспеченности.

Результаты подсчетов по формуле (8.8) заносятся в табл. 8.3.

Имея прогноз, составленный в виде условной кривой обеспеченности, водопользователь может определить, с какой вероятностью следует в условиях конкретного выпуска прогноза ожидать появления величины  $Y$  в диапазоне больше любого заданного значения.

Таблица 8.3

Расчет координат условной кривой обеспеченности

| $P_i \%$               | 5    | 10   | 25    | 50 | 75     | 90    | 95    |
|------------------------|------|------|-------|----|--------|-------|-------|
| $t_{P_i}^*$            | 1,65 | 1,28 | 0,674 | 0  | -0,674 | -1,28 | -1,65 |
| $\Delta \hat{y}_{P_i}$ |      |      |       |    |        |       |       |
| $\hat{y}_{P_i}$        |      |      |       |    |        |       |       |

По представленным в табл. 8.3 координатам легко построить кривую, особенно на «вероятностной бумаге» для нормального распределения. Условная кривая обеспеченности дает возможность подсчитать вероятность реализации ожидаемой величины в любом заданном интервале:

$$p((y_1 < y < y_2) | \hat{y}_i) = P((y > y_1) | \hat{y}_i) - P((y > y_2) | \hat{y}_i). \quad (8.9)$$

При заведомо асимметричном распределении погрешностей прогнозов предлагается [15] не вполне обоснованное допущение о том, что погрешности прогнозов, составленных по данной методике, распределены одинаково. Процедура расчета координат кривой такова:

— погрешности поверочных прогнозов располагаются в убывающем порядке от максимальной положительной к максимальной, по абсолютной величине, отрицательной ошибке);

— вычисляются эмпирические вероятности превышения каждого  $m$ -го значения погрешностей, например, по формуле

$$P_m = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100\%, \quad (8.10)$$

где  $m$  — порядковый номер погрешностей в убывающем ряду;  
 $n$  — число поверочных прогнозов;

— на «вероятностной бумаге» для существенно асимметричных распределений строится кривая обеспеченности погрешностей прогнозов;

— по этой кривой определяются значения погрешностей для обеспеченностей 10, 25, 50, 75 и 90%;

— ординаты условной кривой обеспеченности ожидаемых значений вычисляются, как и прежде (8.8), по формуле

$$\hat{y}_{P_i} = \hat{y}_i + \Delta \hat{y}_{P_i}.$$

Многолетние сведения в прогнозах, составленных по третьей форме, даны в том же виде, что и при использовании второй формы (пункт 8.2.2).

#### 8.2.4. Четвертая форма представления долгосрочных гидрологических прогнозов

В отдельных случаях потребителя гидрологической информации интересует не наиболее вероятное значение ожидаемой величины, т. е. не  $\hat{y}_i$ , а предельное значение ( $y_{\min, i}$  или  $y_{\max, i}$ ). Например, речное пароходство хотело бы иметь сведения о дате, раньше которой в условиях данного года не следует ожидать начала ледообразования. Точно так же исполком Совета депутатов трудящихся города А нуждается в информации о том, какова отметка максимального подъема уровня в ожидаемое половодье, причем имеется в виду не наиболее вероятная отметка, а предельный максимум: превысит или нет этот уровень отметку гребня защитной дамбы.

Предельные прогнозы недостаточно обоснованы теоретически, способ оценки таких прогнозов тоже нуждается в существенной корректировке.

### 8.3. Формы выпуска краткосрочных гидрологических прогнозов

Хозяйственные решения, принимаемые на основе краткосрочных гидрологических прогнозов, как правило, однозначны и не требуют детального вероятностного осмысления прогностической информации. Разумеется, можно назвать многочисленные исключения.

Различают пять основных форм представления краткосрочных прогнозов.

#### 8.3.1. Первая форма представления краткосрочных прогнозов

Потребителям гидрологической информации сообщается ожидаемое значение ( $\hat{y}_i$ ), время его осуществления ( $\hat{D}_{y_i}$ ), вероятные погрешности прогнозов величины  $Y$  и даты  $D_y$  ( $\delta_{y_i}$ ,  $\delta_{D_{y_i}}$ ).

Прогнозы времени наступления различных фаз гидрологического режима по первой форме не составляются, так как в этом случае дата осуществления явления представляет собой величину  $Y$ .

#### 8.3.2. Вторая форма представления краткосрочных прогнозов

Прогнозируется значение гидрологической величины  $\hat{y}_{D, i}$ , которое должно реализоваться в заданный момент времени. Напри-

мер, «расход воды реки  $A$  на второе мая ожидается равным  $100 \text{ м}^3/\text{с} \dots$ ». Приводится вероятная погрешность прогноза  $\delta_{y_d, i}$ .

Прогнозы, составленные по второй форме, наиболее полно удовлетворяют нужды водопользователей, деятельность которых зависит от темпа развития гидрологического явления. При осуществлении лесосплава, в частности, очень важно знать, какой будет водность реки завтра, послезавтра, через 2 дня и т. д.

### 8.3.3 Третья форма представления краткосрочных прогнозов

Без указания сроков осуществления предсказывается только ожидаемое значение гидрологической величины и вероятная погрешность предвычисления  $(\hat{y}_i; \delta_{y_i})$ . Обычно так составляются прогнозы экстремальных фаз гидрологического режима или прогнозы собственно дат наступления того или иного явления (к примеру, ледостава или вскрытия реки).

### 8.3.4. Четвертая форма представления краткосрочных прогнозов

В прогнозе указывается не ожидаемое значение гидрологической величины, а интервал, вероятность попадания в который приблизительно равна 50%. При этом допускается, что погрешности предвычисления распределены по нормальному закону, т. е.

$$p(\hat{y}_i \pm 0,674 S_{y_i}) = p(\hat{y}_i \pm \delta_{y_i}) \approx 50\%.$$

Прогноз волнения по четвертой форме отличается тем, что потребителям сообщается интервал  $(\hat{h}_i \pm 0,30 \hat{h}_i)$ , где  $\hat{h}_i$  — ожидаемое значение высоты волны.

В последние годы четвертая форма широко используется при выпуске долгосрочных гидрологических прогнозов.

### 8.3.5. Пятая форма представления краткосрочных прогнозов

Разработана для прогнозирования времени наступления ледовых явлений на участке реки. Длина участка такова, что разница в датах наступления одной и той же фазы на границах участка не превышает трех суток. Сообщается интервал времени между ожидаемыми датами реализации явления в крайних точках участка, например «ледоход на участке от пункта  $A$  до пункта  $B$  реки  $B$  начнется 1—3 апреля...».

Встречается модификация пятой формы, состоящая в указании предельного значения ожидаемой величины на одной из границ участка, где явление осуществляется раньше (позже), чем на остальном протяжении участка. Если представляет интерес дата, до которой ледохода ожидать не следует, то прогноз, при-

менительно к приведенному выше примеру, выглядит следующим образом: «На участке реки В от пункта А до пункта Б до 31 марта ледохода не ожидается».

Необходимо отметить, что по аналогии с предельными долгосрочными прогнозами (пункт 8.2.4), составление краткосрочных прогнозов по пятой форме недостаточно обосновано теоретически.

#### **8.4. Предупреждения об угрозе наступления ООЯ**

Вслед за прогнозом, предусматривающим значения гидрологической величины, превышающие показатели опасности для хозяйственных объектов, составляется предупреждение об угрозе наступления ООЯ. Такие предупреждения имеют сравнительно небольшую заблаговременность, так как передаются народнохозяйственным организациям при достижении гидрологическими явлениями показателей, близких к опасным, т. е. когда у оперативных работников подразделений Госкомгидромета имеется уверенность в наступлении ООЯ. Разумеется, заблаговременность предупреждения не должна быть меньше той, которая необходима народнохозяйственным организациям для принятия соответствующих мер предосторожностей [18].

Предупреждение отличается конкретностью указания не только характеристик ожидаемого явления, но и хозяйственного объекта, подвергающегося угрозе, а также возможных последствий ООЯ. Иногда, по предварительному согласованию с потребителями гидрологической информации, перечень хозяйственных объектов и описание последствий ООЯ в предупреждении отсутствует и заменяется указанием зоны ожидаемого бедствия или еще более обобщенными формулировками. Однако для противопаводковой комиссии такого рода формулировки должны быть предельно ясны и наполнены конкретным содержанием.

В отдельных случаях гидрологический процесс развивается столь аномально, что в прошлом не имеется подобных precedентов, а следовательно, методика составления прогнозов и предупреждений об ООЯ отсутствует. В то же время анализ текущих событий и прогноз погоды на ближайшее время убеждают гидрометеорологов в необходимости предупредить народнохозяйственные организации об исключительно редком и, по всей вероятности, опасном явлении. В итоге составляется консультация об опасном характере развития гидрологического явления, которая оценивает степень аномалии процесса и возможный вред народному хозяйству.

Краткосрочные прогнозы, а тем более предупреждения об угрозе наступления ООЯ и консультации об опасном характере развития гидрологического явления помещаются в специальный раздел гидрологического бюллетеня и, по возможности, немедленно доводятся до сведения потребителей гидрологической ин-

формации. Для передачи предупреждений об угрозе ООЯ и выше-  
названных консультаций используются все виды связи, вплоть до  
оповещения населения по радиотрансляционной сети.

#### **8.5. Гидрологические прогнозы на основе аэрокосмической информации**

Гидрологические прогнозы по данным об осадках, выпавших  
на водосборе, или о температуре воздуха в период снеготаяния  
имеют в ряде случаев весьма скромную успешность. Причина —  
трудности учета потерь талого и дождевого стока. В связи  
с этим отдается предпочтение прогнозам на основе сведений  
о русловых запасах воды в гидрографической сети выше по тече-  
нию от прогностического створа. К сожалению, гидрологические  
посты и гидростворы обычно расположены на притоках высоких  
порядков и русловое время добегания от этих постов до замы-  
кающего прогностического створа невелико, а значит мала за-  
благовременность прогнозов.

Очевидно, что во многих случаях заблаговременность прогно-  
стической информации является решающим фактором для при-  
нятия своевременных мер по предотвращению неблагоприятных  
последствий аномальной водности или для выработки наивыгод-  
нейшего режима водопользования.

Современная аэрокосмическая техника предоставила ряд но-  
вых возможностей увеличения заблаговременности прогнозов  
водности. Съемка из космоса позволяет уже на ранних фазах  
формирования стока — в период затопления бассейна и создания  
системы микроозер — количественно оценить запасы воды на  
водосборе. Эта информация, например о суммарной площади за-  
топления бассейна, служит основой прогнозов водности. В своей  
книге [11] Г. П. Калинин и др. предлагают функцию, связываю-  
щую приток воды в русловую сеть и площадь затопления поверх-  
ности бассейна:

$$q = A \cdot \omega^n, \quad (8.11)$$

где  $q$  — приток;  $\omega$  — площадь затопления водосбора;  $A$ ,  $n$  — пара-  
метры, определяемые в результате специального расчета.

Не касаясь методических вопросов определения параметров  
уравнения (8.11), укажем, что проверка предлагаемого варианта  
использования космической информации дает весьма обнадежи-  
вающие результаты, тем более что переход от величины притока  
в русловую сеть к расходу воды в замыкающем створе — про-  
цедура достаточно разработанная в гидрологических расчетах  
и прогнозах.

Влияние облачности во время съемки исключается измере-  
ниями в радиодиапазоне. Мелкий масштаб спутниковых карт  
в ряде случаев не служит препятствием для непосредственной  
оценки состояния водосборов. С этой целью фотографирование

системы микроозер на бассейне заменяется регистрацией отражательной способности земной поверхности и изменения характера отражения.

Прогнозы, составленные с использованием уравнений типа (8.11), могут уточняться при наступлении следующей фазы половодья и паводка — развития временных водотоков (овражно-балочная сеть). Аэрокосмическая информация о состоянии овражно-балочной сети еще более определено, чем затопление водосбора, характеризует приток воды, поскольку ко времени включения оврагов и балок в процесс формирования стока испарение с поверхности микроозер и инфильтрация в почво-грунты в большой мере уже реализовались. Комплексные съемки временной гидрографической сети со спутников и высотных самолетов предоставляют прогнозистам сведения, которые не могут быть в таком объеме получены наземными способами.

Оперативная обработка аэрокосмической информации на ЭВМ резко ускоряет процесс составления прогнозов и увеличивает возможности для принятия водопользователями необходимых мер. Описанные в параграфе методы прогнозирования находятся в стадии становления и проверки; в одинаковой степени освоены не все этапы многоступенчатого перехода от аэрокосмических наблюдений за состоянием водосборов к расходам воды в заданных створах.

#### **8.6. Рекомендации по учету или использованию ожидаемого состояния водных объектов в деятельности народнохозяйственных организаций**

Гидрологические прогнозы подчас обладают точностью, не вполне удовлетворяющей потребностям конкретных водопользователей, особенно когда решается вопрос о проведении какого-либо уникального мероприятия, связанного с использованием прогностической информации. Анализ ситуации, включающий оценку складывающейся гидрометеорологической обстановки и технических аспектов планируемого мероприятия, очень часто приводит к конструктивному решению. Так, обнаруживается, что большая заблаговременность предсказания необязательна, более того потребителям достаточно уточнения основного прогноза за несколько дней до намеченного срока осуществления мероприятия.

Официальным итогом этого многофакторного исследования является рекомендация по учету или использованию ожидаемого состояния водных объектов в деятельности конкретной народнохозяйственной организации. Рекомендация дается потребителю письменно или устно, но обязательно должна быть зафиксирована в специальном журнале.

Известны случаи, когда такого рода рекомендации сыграли решающую роль в сложных гидрометеорологических условиях. Участие гидрометеорологов в выборе лучшего способа хозяйство-

вания позволяет с максимальной пользой учесть информацию о погоде и состоянии водных объектов.

Рассматриваемые здесь рекомендации обычно базируются на прогностической интуиции и большом опыте взаимодействия с тем или иным водопользователем. Не отвергая ценности экспертных методов участия гидрометеорологов в принятии хозяйственных решений, следует отдать предпочтение объективному количественному подходу к вопросу о хозяйственной стратегии на основе гидрологической информации.

## **9. ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВЕННОГО РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ НОРМАТИВНОЙ И ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

### **9.1. Понятие о методе статистических решений**

Способы выбора наивыгоднейшего решения в условиях неопределенности относительно будущего состояния среды, с которой связана хозяйственная деятельность, вырабатываются на базе обширного раздела математики — теории игр. Разумеется, теория игр рассматривает куда более широкий круг проблем, чем учет природных факторов при формулировании хозяйственной стратегии. Сложнейшие вопросы «дележа» (например, распределение сырьевых и энергетических ресурсов между отраслями хозяйства), организация страховой системы, выработка торговой стратегии — все это, и многое другое, включается в сферу применения теории игр.

Очевидно, природные процессы отличаются от форм функционирования, например валютной биржи в капиталистической стране. Прежде всего в природных явлениях отсутствуют элементы преднамеренности, материальный интерес, эмоциональная окраска ситуации, «блеф» — отвлекающее действие или ложная информация. Природа нейтральна, приписывать ей добрые или злые (по отношению к человеку) намерения — неправомерное допущение.

Для оптимизации хозяйственной деятельности на основе информации о состоянии атмосферы и вод наиболее целесообразно использование одного из частных методов теории игр — метода статистических решений, учитывающего случайность природных процессов.

### **9.2. Стохастическая сущность природных процессов**

Известно, что гидрологические величины могут быть адекватно заданы некоторым набором статистических характеристик. При этом эмпирические кривые обеспеченности весьма близко совпадают с графиками теоретических распределений. На режим вод-

ного объекта влияет множество факторов, заключающих в себе элементы случайностей. Отсюда — широкое применение статистических методов в гидрологии [1, 13, 16, 17].

Обращение водопользователей к теории статистических решений при выборе стратегии на основе гидрологической информации является необходимым условием действительно научной, объективной оценки комплекса природных и экономических факторов, диктующих наивыгоднейший способ хозяйствования.

### 9.3. Понятие о «потерях»

Предположим, на основе информации о гидрологической величине  $Y$  принимается хозяйственное решение  $L$ , причем каждое  $k$ -ое решение  $l_k$  однозначно связано с некоторым вполне определенным набором действий. В результате выполнения указанных действий народное хозяйство получает некоторую полезность  $\theta$ , которая выражается в виде денежного дохода, выработки электроэнергии, количества перевезенных грузов и т. п.

Из множества значений возможных решений  $L$  примем в расчет конечное число решений  $l_k$ , которое численно совпадает с некоторыми конкретными реализациями величины  $Y$ , то есть со значениями  $y_n$ . Вряд ли целесообразно отождествлять детализацию и диапазоны изменения величин  $Y$  и  $L$ . Решения  $L$ , по понятным причинам, всегда являются приближенной оценкой явления  $Y$ . Кроме того, зачастую, в предупредительных целях, решения касаются прежде всего какой-либо определенной части диапазона  $Y$ , например максимальных или, наоборот, минимальных значений в зависимости от того, какие явления представляют опасность или интерес.

По видимому, если в процессе хозяйственной деятельности принимается решение  $l_k$ , в точности совпадающее с осуществившимся значением гидрологической величины  $y_n$ , т. е.  $l_k = y_n$ , то полезность такого решения будет наивысшей ( $\theta_{y_n}$ ). Если равенство  $l_k = y_n$  не выполняется, полезность решения ( $\theta_{y_n} l_k$ ) всегда снижена по причине несоответствия принятых в расчет и осуществившихся гидрологических условий. В первом случае назовем решение идеальным, а во втором — произвольным.

Итак, в результате ошибки решения ( $l_k - y_n$ ) возникает снижение полезности. Такое снижение принято называть потерями

$$R_{y_n l_k} = \theta_{y_n} - \theta_{y_n l_k}. \quad (9.1)$$

Иногда расчет потерь затруднен отсутствием у водопользователей однозначной жесткой связи решения и действия. Ограничиваясь по традиции системой полумер, часто сугубо конъюнктурных, хозяйственник стремится избежать крупных просчетов в случае ошибочной оценки будущих условий. Такой способ хозяйствования, базирующийся на опыте и интуиции, подчас при-

водит к неплохим результатам, но страдает субъективизмом оценок и при отсутствии эксперта ставит производство в сложное положение. Интенсификация производства требует пересмотра подобных приемов ведения хозяйства.

#### 9.4. Функции потерь

Как указано в предыдущем параграфе, потери  $R_{y_h l_k}$  заданы комбинацией значения гидрологической величины  $y_h$  и решения  $l_k$ . При одном и том же решении  $l_k$  может быть реализовано сколько угодно значений гидрологической величины  $Y$ . Точно так же одному значению  $y_h$  в общем случае соответствует множество решений  $L$ . Таким образом, следует говорить о некоторой функции потерь  $R(y, l)$ , описывающей экономические последствия различных комбинаций решения  $L$  и осуществившегося значения величины  $Y$ .

Функции потерь имеют самый различный вид. Чаще всего это зависимости с резко неодинаковым темпом изменения потерь в различных частях диапазонов вариации величины  $Y$  и разности  $(Y - L)$ . Выявление вида этих зависимостей часто сопряжено с очень большими трудностями. Не во всех организациях проводится анализ экономических последствий осуществления различных комбинаций  $y_h, l_k$ , в том числе и имеющих редкую повторяемость. До известной степени приемлемым выходом из положения служит использование априорно заданных аппроксимаций функции  $R(y, l)$ .

Иногда для приближенной оценки явления в некотором сравнительно узком интервале изменения величин  $Y$  и  $(Y - L)$  применяется линейная схематизация функции потерь:

$$R(y, l) = \begin{cases} K_1 (y - l), & \text{при } (y - l) > 0; \\ K_2 (l - y), & \text{при } (y - l) < 0. \end{cases} \quad (9.2)$$

Коэффициенты  $K_1$  и  $K_2$  имеют размерность, позволяющую перейти от гидрологических показателей к информации экономического характера. Например, если  $Y$  — расход воды, то коэффициенты  $K_1$  и  $K_2$  могут быть выражены в  $\frac{\text{с} \cdot \text{руб.}}{\text{м}^3}$ . При этом потери

$R_{y_h l_k}$  оказываются представленными в рублях, в киловатт-часах электроэнергии, в тонно-километрах грузоперевозок, в кубометрах древесины и т. д.

При значительном диапазоне вариации величины  $Y$  возникает необходимость получения некоторого набора пар коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$ , используемых для расчета потерь  $R_{y_h l_k}$  в том или ином интервале  $j$ . Разумеется, необходимость вычисления большого количества пар  $K_{1,j}, K_{2,j}$  затрудняет выявление функции (9.2), при-

водя к увеличению объема предварительных экономических исследований.

Резкое изменение темпа нарастания или снижения потерь приближенно характеризуют [23] степенные и показательные функции вида:

$$R(y, l) = K\Delta^n, \quad (9.3)$$

$$R(y, l) = K\Delta, \quad (9.4)$$

где  $\Delta = |y - l|$ , т. е.  $\Delta$  — конкретная ошибка решения  $L$ , взятая со знаком плюс.

Надо ли пояснять, сколь велик риск применения, без достаточных оснований, аппроксимаций (9.3—9.4), особенно если заданные уравнения используются в экстраполяционных целях, то есть для получения значений потерь  $R_{y_h l_k}$  при крайне неблагоприятных и потому редких комбинациях  $y_h$  и  $l_k$ .

Известны [23] случаи применения логарифмической схематизации функций потерь, когда возрастание абсолютных значений ошибки решения  $(Y - L)$  не приводит к столь же значительному увеличению потерь, а знак ошибки несуществен:

$$R(y, l) = K \lg \Delta. \quad (9.5)$$

По-видимому, в общем случае зависимости (9.3—9.5) применимы лишь с использованием набора коэффициентов  $K_j$ , учитывающих особенности изменения потерь  $R_{y_h l_k}$  в конкретном  $j$ -ом интервале диапазона вариации величины  $Y$ .

Изложенные в параграфе 9.4 сведения дают некоторое представление о свойствах функций потерь. Четкое знание свойств какой-либо из этих функций существенно сокращает объем гидролого-экономических проработок для адекватного ее описания.

### 9.5. Свойства функций потерь

Потери водопользователей, как правило, не одинаковы при ошибках решения, равных по абсолютному значению, но различных по знаку. Действительно, если решается вопрос, превысит или нет уровень воды отметку гребня защитной дамбы ( $H_{00я} = 200$ ), последствия решений, например  $l_1 = 170$  и  $l_2 = 250$ , при осуществлении уровня  $H_1 = 210$ , несопоставимы, хотя в том и другом случаях абсолютный просчет одинаков  $|y - l| = 40$ . Почему потери  $R_{H_1 l_1}$  и  $R_{H_1 l_2}$  различны? Решение  $l_1$  нужно толковать как отказ от подсыпки дамбы; следовательно, при уровне  $H_1 = 210$  затопление неизбежно и потери  $R_{H_1 l_1}$  очень велики. При решении  $l_2$  дамба укрепляется и наращивается, и эти работы предотвращают затопление. Экономические потери  $R_{H_1 l_2}$  могут быть существенными, поскольку предприняты излишние защитные меры ( $H_1 < l_2$ ), однако, нет сомнения, что  $R_{H_1 l_1} \gg R_{H_1 l_2}$ .

Функция потерь, возникающих в результате ошибки решения о защите населенного пункта или объекта от затопления, является зависимостью с ярко выраженным свойством асимметрии. В общем случае, симметричность функции потерь — это независимость от знаков как ошибки решения, так и отклонения фактического значения  $y$  от нормы. Если функция потерь симметрична, то выполняется условие

$$R(y-l, y-\bar{y}) = R(|y-l|, |y-\bar{y}|). \quad (9.6)$$

Зависимость (9.2) симметрична лишь в случае  $K_1 = K_2 = K$ . Однако и тогда этим свойством функция (9.2) обладает лишь в пределах  $j$ -го интервала, в котором допустимо применение коэффициента  $K$ . Для выяснения вопроса о симметричности данной функции во всем диапазоне вариации  $Y$  необходимо установить, как изменяются значения  $K_j$  при аномалиях  $Y$ , одинаковых по абсолютной величине и противоположных по знаку.

Аппроксимации функций потерь (9.3—9.5) симметричны, поскольку при расчетах принимается во внимание лишь абсолютная величина ошибки решения  $|y-l|$ .

Вторым важным свойством функций потерь следует назвать разностность этих зависимостей. Разностность — это независимость потерь от аномалии фактического значения  $y$ , т. е. — от отклонения  $(y-\bar{y})$ . Функция разностна, если выполняется равенство

$$R(y-l, y-\bar{y}) = R(y-l). \quad (9.7)$$

В том случае, если коэффициенты  $K_1$ ,  $K_2$  или просто  $K$  в выражениях (9.2—9.5) применимы для всего диапазона вариации  $Y$ , функции (9.2—9.5) разностны. Необходимость составления набора коэффициентов  $K_j$  или  $K_{1,j}$ ,  $K_{2,j}$  будет свидетельствовать о неразностности функций потерь, поскольку потери оказываются зависимыми от интервала попадания конкретного значения величины  $Y$ .

Симметричные и асимметричные функции могут быть как разностными, так и неразностными. Например, при выполнении равенства

$$R(y-l, y-\bar{y}) = R|y-l| \quad (9.8)$$

функция потерь симметрична и разностна.

Реальные функции потерь обычно не обладают свойствами симметричности и разностности, однако в тех случаях, когда предварительные расчеты указывают на выполнение равенства (9.6) или (9.7), констатируется благоприятная перспектива сокращения объема гидролого-экономических исследований для выявления вида зависимости  $R(y, l)$ . Симметричность функции исклю-

чает необходимость оценки экономических последствий ошибок решения обоих знаков. Нет нужды изучать потери в обеих половинах диапазона, а достаточно ограничиться исследованиями при реализации лишь положительных или отрицательных аномалий (либо  $y \leq \bar{y}$ , либо  $y \geq \bar{y}$ ).

Установленный факт разностности функции  $R(y, l)$  предполагает полный отказ от учета влияния аномалий величины  $Y$ , и, следовательно, очень существенно снижает трудоемкость определения параметров расчетного уравнения.

Использование информации о свойствах функций потерь диктует последовательность этапов проведения гидролого-экономических исследований. Прежде всего необходимо задаться достаточно значимыми, но в пределах реальности, ошибками решения обоих знаков и одной и той же абсолютной величины  $|y - l_k|$ . Расчет следует приурочить к условиям реализации значений  $y_1$  и  $y_2$ , соответствующих существенным положительным и отрицательным аномалиям, при этом  $y_1 - \bar{y} = \bar{y} - y_2$ .

Анализ всего лишь двух указанных комбинаций позволяет в предварительном порядке решить вопрос о симметричности функции  $R(y, l)$ . Дополнительный расчет потерь при сохранении прежней ошибки  $|y - l_k|$  и некотором значении  $y_3$ , отличном от нормы, но не равном  $y_1$  или  $y_2$ , дает основания для отнесения функции к разряду разностных или неразностных.

Разумеется, предлагаемый порядок исследования свойств функции целесообразен лишь в случае полного отсутствия априорных сведений о ней. На практике свойства функций зачастую обнаруживаются без всякого гидролого-экономического расчета — на основе простого логического осмысления явления.

Необходимо подчеркнуть, что при достижении некоторых критических значений величины  $Y$  и разности  $(Y - L)$  функция потерь может приобрести свойства, не характерные для большей части диапазонов  $Y$  и  $(Y - L)$ .

#### 9.6. Критерии оптимизации хозяйственных решений

Вероятность принятия идеального решения невелика. Максимум полезности  $\theta_{y_h}$  в каждом отдельном случае практически недостижим. Научно обоснованное решение всегда содержит элементы компромисса, то есть признания неизбежности некоторых материальных затрат для предотвращения значительно больших экономических потерь. Достаточность или избыточность этого сознательно допускаемого ущерба может быть объективно оценена лишь на основе статистического анализа.

Процесс принятия наивыгоднейшего решения называется оптимизацией, а искомое решение — оптимальным. При тех же обстоятельствах оптимизация приводит к неодинаковым решениям в зависимости от принятого критерия. В свою

очередь критерий оптимизации формулируется в рамках конкретной задачи.

В «чисто экономической» области обычно используется критерий минимакса, диктующий выбор решения, минимизирующего максимальные потери. Минимаксный критерий требует при решении гидролого-экономических задач принятия крайних мер по безусловному предотвращению неблагоприятного воздействия ООЯ, независимо от начальных условий. Столь радикальная позиция приемлема лишь тогда, когда по каким-либо причинам неизвестна условная вероятность осуществления ООЯ или расчет такой вероятности выполняется с недопустимыми погрешностями, сводящими информативность статистической оценки практически к нулю [10].

✓ Более целесообразно использование байесовой стратегии; стратегия, в отличие от решения, не разовое мероприятие, а принцип, которому водопользователь следует в продолжение достаточно длительного процесса хозяйствования [20]. Упомянутая стратегия названа именем известного английского математика Байеса. Байесов подход сводится к минимизации средних статистических потерь:

$$\bar{R}(l_0) = \min_{\langle l \rangle} \bar{R}(l), \quad (9.9)$$

где  $\min_{\langle l \rangle} \bar{R}(l)$  — минимальное из значений среднестатистических потерь, вычисленных при условии принятия всех возможных решений;  $l_0$  — оптимальное решение.

Более осторожна хозяйственная стратегия с использованием критерия минимальной дисперсии потерь:

$$D(l_0) = \min_{\langle l \rangle} D(l). \quad (9.10)$$

Минимизируя дисперсию потерь, хозяйственник находит решение, препятствующее прежде всего возникновению значительных по величине потерь. Небольшие потери признаются достойными учета лишь с существенно меньшим относительным весом.

Практически предотвратить слишком грубые просчеты позволяет принятие критерия минимальной вероятности наиболее крупных потерь:

$$p(l_0) (\bar{R} > R') = \min_{\langle l \rangle} p(l) (\bar{R} > R'), \quad (9.11)$$

где  $\min_{\langle l \rangle} p(l) (\bar{R} > R')$  — минимальная вероятность реализации среднестатистических потерь, превышающих заданный уровень  $R'$ .

Учет перечисленных критериев, кроме минимаксного, предполагает достижение особым образом сформулированного желаемого результата не обязательно в каждом отдельном случае, а при многократном применении избранной стратегии.

ципе оптимизация может осуществляться не только путем минимизации по-разному учитываемых потерь, но и в направлении, например, максимизации выигрыша  $G$  [20].

### 9.7. Минимизация средних потерь

Применение критерия  $\bar{R}(l_0)$  предполагает вычисление средних (в вероятностном смысле) потерь при всех неабсурдных решениях  $l_k$ . Расчет таких потерь аналогичен вычислению нормы гидрологической величины:

$$\bar{y} = \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} y f(y) dy, \quad (9.12)$$

где  $f(y)$  — функция распределения вероятностей реализации различных значений  $Y$ .

В частном случае нормального распределения гидрологической величины  $Y$  функция  $f(y)$  такова:

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_y} e^{-\frac{(y-\bar{y})^2}{2\sigma_y^2}}. \quad (9.13)$$

Средние статистические потери  $\bar{R}(l_k)$  определяются по той же схеме (9.12) с заменой значений  $y$  конкретными реализациями потерь при решении  $l_k$  и осуществлении всевозможных значений  $y$  от  $y_{\min}$  до  $y_{\max}$ :

$$\bar{R}(l_k) = \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} R(y, l_k) f(y) dy. \quad (9.14)$$

Величина средних (в вероятностном смысле) потерь  $R(l)$  в свою очередь является функцией и изменяется с изменением решения  $L$ . Наименьшее значение средние потери  $\bar{R}(l_k)$  принимают при оптимальном решении  $l_k = l_0$ . Решение называется оптимальным, если в условиях множества возможных результатов оно приводит к наименьшим средним (в вероятностном смысле) потерям.

При оптимальном решении производная функции  $\bar{R}(l)$  равна

$$\left. \frac{d\bar{R}}{dl} \right|_{l=l_0} = 0. \quad (9.15)$$

40л. и R<sub>34</sub> соответствуют идеальным. Все остальные потери R<sub>y</sub>.

где решения минимальных средних потерь  
причем даже наибольшие неблагоприятные  
деятельности не слишком сущес

## 9.8. П

при использовании априорно заданных или лишь приближенно установленных аппроксимаций типа (9.2) — (9.5), особенно в зонах редкой повторяемости значений  $Y$  и ошибок решения ( $Y - L$ ).

## 9.10. Матрица условных вероятностей

Матрица потерь позволяет найти оптимальное решение только при совместном рассмотрении ее с матрицами вероятностей попадания величины  $Y$  в каждый из интервалов, на которые разбит диапазон вариации этой величины. Если речь идет об оптимизации решения на основе прогностической информации, то вероятности попадания в каждый из интервалов носят условный характер, поскольку позволяют оценить явление лишь в рамках конкретного выпуска прогноза. Матрица условных вероятностей — это таблица, показывающая, как делена гидрологическая величина в начальном состоянии явления. Обозначим матрицу условных вероятностей  $p((y_j \pm \Delta y) | \hat{y}_i)$ .

Для приближенной разбить на три интервала.

величины  $\hat{Y}$  могут быть

Тогда матрица условных вероятностей будет выглядеть следующим образом.

Матрица условных вероятностей  $p((y_j \pm \Delta y) | \hat{y}_i)$

Таблица 9.2

Матрица условных вероятностей  $p((y_j \pm \Delta y) | \hat{y}_i)$

Матрица условных вероятностей  $p((y_j \pm \Delta y) | \hat{y}_i)$

Матрица условных вероятностей  $p((y_j \pm \Delta y) | \hat{y}_i)$

Матрица условных вероятностей  $p((y_j \pm \Delta y) | \hat{y}_i)$

Матрица условных вероятностей  $p((y_j \pm \Delta y) | \hat{y}_i)$

Матрица условных вероятностей  $p((y_j \pm \Delta y) | \hat{y}_i)$

Матрица условных вероятностей  $p((y_j \pm \Delta y) | \hat{y}_i)$

Матрица условных вероятностей  $p((y_j \pm \Delta y) | \hat{y}_i)$

Матрица условных вероятностей  $p((y_j \pm \Delta y) | \hat{y}_i)$

Матрица условных вероятностей  $p((y_j \pm \Delta y) | \hat{y}_i)$

Матрица условных вероятностей  $p((y_j \pm \Delta y) | \hat{y}_i)$

ГЭС), исходя из значения  $l_{i,0}$ , меньшего чем предусмотрено прогнозом  $\hat{y}_i$ . Допустим  $\hat{y}_1=l_1$ ,  $\hat{y}_2=l_2$ ,  $\hat{y}_3=l_3$ , тогда матрица стратегии может быть представлена табл. 9.3.

Таблица 9.3

Матрица стратегий (средних потерь  $\bar{R}_{\hat{y}_i l_k}$ )

| $\hat{y}_i$ | $l_k$          |                |                |                |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|             | $l_1$          | $l_2$          | $l_3$          | $l_4$          |
| $\hat{y}_1$ | $\bar{R}_{11}$ | $\bar{R}_{10}$ | $\bar{R}_{13}$ | $\bar{R}_{14}$ |
| $\hat{y}_2$ | $\bar{R}_{21}$ | $\bar{R}_{22}$ | $\bar{R}_{20}$ | $\bar{R}_{24}$ |
| $\hat{y}_3$ | $\bar{R}_{31}$ | $\bar{R}_{32}$ | $\bar{R}_{30}$ | $\bar{R}_{30}$ |

Значения потерь  $\bar{R}_{10}$ ,  $\bar{R}_{20}$  и  $\bar{R}_{30}$  — наименьшие в каждой строке табл. 9.3. Эти потери, при условии применения конкретного метода прогнозирования и сохранения технико-экономических характеристик хозяйственного объекта, следует признать неизбежными в среднестатистическом рассмотрении. Конъюнктурные изменения экономической ситуации могут в отдельных случаях диктовать отступление от сформулированной выше стратегии, особенно, если отличие потерь  $\bar{R}_{\hat{y}_i l_{i,0}}$  и смежных значений  $\bar{R}_{\hat{y}_i l_k}$  невелико.

Оптимизация решения на основе режимных обобщений или нормативной информации о гидрологическом явлении выполняется сходным образом. Матрица потерь  $R = \|R_{y_i l_k}\|$  имеет тот же вид (табл. 9.1). Разница в том, что, в зависимости от задачи, решения  $l_k$  в ряде случаев не охватывают весь или даже сколько-нибудь существенную часть диапазона вариации величины  $Y$ , ограничивая внимание потребителя зонами редкой повторяемости, предположим большими расходами воды, представляющими угрозу затопления населенного пункта и т. д.

Основным гидрологическим материалом оптимизационного расчета по данным режимного характера является матрица безусловных (многолетних) вероятностей  $p' = \|p(y_j \pm \Delta y)\|$  табл. 9.4.

Произведен подсчет средних (в вероятностном смысле) потерь на основе информации о функции потерь (табл. 9.1) и многолетних вероятностях попадания величины  $Y$  в тот или иной интер-

вал (табл. 9.4). Предположим,  $y_3 = \bar{y}$ , тогда решение  $l_2 = \bar{y}$ , а среднестатистические потери  $\bar{R}(l_2)$  равны:

$$\bar{R}(l_2) = \sum_{j=1}^{j=5} p(y_j \pm \Delta y) R_{y_j l_2} = p'_1 R_{12} + p'_2 R_{22} + p'_3 R_{32} + p'_4 R_{42} + p'_5 R_{52}. \quad (9.24)$$

Таблица 9.4

Матрица безусловных вероятностей  $p' = \|p(y_j \pm \Delta y)\|$ ,  
при разбиении диапазона вариации величины  $Y$  на  $d=5$  интервалов

| $y_j$                 | $y_1$  | $y_2$  | $y_3$  | $y_4$  | $y_5$  |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $p(y_j \pm \Delta y)$ | $p'_1$ | $p'_2$ | $p'_3$ | $p'_4$ | $p'_5$ |

Аналогично (9.24) вычислим потери  $\bar{R}(l_1)$ ,  $\bar{R}(l_3)$  и  $\bar{R}(l_4)$ . Лишь в частном случае, при симметричности функции  $R(y, l)$ , потери  $\bar{R}(l_2)$  оказываются минимальными из четырех найденных значений  $\bar{R}(l_k)$ .

Следовательно, ориентировка на норму явления при отсутствии прогностической информации далеко не всегда оптимальный подход. Иногда это очевидно и без всяких расчетов, предположим в отношении решения об отметке оголовка водозабора водопроводной станции.

В нашем случае оптимальным будет решение  $l_0 = l_k$ , при котором выполняется равенство

$$\bar{R}(l_0) = \min_{<k>} \bar{R}(l_k). \quad (9.25)$$

Потери  $\bar{R}(l_0)$  характеризуют, к примеру, наименьший среднелетний уровень ущерба в результате ошибок решения  $L$ . Оценка таких потерь чрезвычайно важна, так как является показателем наиболее благоприятной по экономическому эффекту стратегии без учета потребителем прогностической информации. Использование прогнозов предполагает существенное уменьшение среднестатистических потерь потребителя по сравнению  $\bar{R}(l_0)$ .

## **10. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА (ЭЭ)**

### **10.1. Потенциальная полезность гидрометеорологической информации**

Любое хозяйство таит в себе огромные резервы увеличения производства без дополнительных капиталовложений и найма новых работников. По данным Всемирной метеорологической организации, потенциальная полезность гидрометеорологической информации в последние десятилетия во много раз превышала затраты на содержание национальных гидрометслужб. На основе этих данных существенно возросла доходность некоторых отраслей народного хозяйства. Особенно наглядно ценность гидрометеорологической информации проявилась в 70-е — 80-е годы при обслуживании океанских грузоперевозок. Это так называемое «плавание по рекомендованным курсам»; под рекомендациями подразумеваются прогнозы погоды и волнения на судоходных трассах [7, 23]. Эффективность этого вида гидрометеорологического обеспечения оказалась столь высока и очевидна, что в ряде капиталистических стран возникло большое количество частных гидрометеорологических фирм, обслуживающих океанское судоходство.

Оценка ЭЭ необходима для нашей гидрометслужбы по многим причинам. Планирующие органы используют информацию об ЭЭ, в том числе и потенциальной, с целью ранжирования различных направлений гидрометеорологических исследований при решении вопроса об ассигнованиях для проведения этих работ.

Неудовлетворительные показатели ЭЭ являются стимулом для совершенствования научной базы и организационных основ того или иного раздела гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства. Сравнение конкурирующих решений по ЭЭ является наиболее объективным подходом при оценке значимости того или иного предложения в конкретных условиях сегодняшнего состояния народного хозяйства. Определение ЭЭ перспективных разработок способствует правильному осмыслению значимости новых идей, если расчеты ЭЭ произведены с учетом изменения экономической конъюнктуры.

Многоплановые исследования вопросов, касающихся оценки ЭЭ, ведутся в подразделениях Госкомгидромета уже более полутора десятков лет. Издано несколько работ, обобщающих опыт выявления ЭЭ гидрометеорологической информации для нужд различных отраслей народного хозяйства [7, 10, 14, 20, 23]. Чрезвычайно важно, что такого рода исследования сталкиваются с необходимостью анализа методов хозяйствования и определением на основе гидролого-экономических проработок путей опти-

мального применения информации о погоде и режиме вод. Потенциальная ЭЭ является наглядной демонстрацией резервов производства в отраслях водопользователей.

## 10.2. Общая схема расчета ЭЭ

Оценка экономического эффекта (Э) от применения гидрометеорологической информации в процессе выработки хозяйственных решений регламентируется общегосударственной методикой выполнения такого рода расчетов [20]. Остановимся на некоторых специальных понятиях, которыми оперируют при оценке Э:

— капитальные вложения (К) — затраты трудовых и материальных ресурсов на создание новых или реконструкцию действующих предприятий, хозяйств, служб; в том числе, затраты на проектирование;

— себестоимость (С) — издержки предприятия на производство и реализацию продукции; себестоимость включает в себя расходование денежных средств на сырье, топливо, электроэнергию, заработную плату работников, амортизационные отчисления, затраты на социальное страхование;

— предпроизводственные затраты ( $З_{\text{пп}}$ ) — расходование средств подразделениями Госкомгидромета СССР на научные исследования для создания нормативов (например, СНиПов), методов прогнозирования, для выполнения оперативного обслуживания народного хозяйства гидрометеорологической информацией. Термин «предпроизводственные затраты» подчеркивает, что имеются в виду не издержки потребителя гидрометеорологической информации, т. е. производства, а поставщика этих данных — Госкомгидромета;

— дополнительные затраты потребителя ( $З_{\text{доп}}$ ), связанные с корректировкой типовых решений, изменением проектов, заменой семенного фонда в сельском хозяйстве — все это на основе уточненных гидрометеорологических характеристик или прогнозистической информации.

Важным экономическим показателем целесообразности затрат  $З_{\text{доп}}$  является коэффициент эффективности Е:

$$E = \frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1}, \quad (10.1)$$

где  $C_1$ ,  $C_2$  — себестоимость производства за год в базовом ( $C_1$ ) и новом вариантах хозяйственного решения;  $K_1$  и  $K_2$  — соответственно капитальные затраты в базовом и новом вариантах,  $З_{\text{доп}} = K_2 - K_1$ .

Базовое решение — в данном случае, исходный способ хозяйствования в ориентировке на устаревшие гидрометеорологические нормативы, либо, если речь идет о повседневной деятельности потребителя, в ориентировке на норму явления вместо прогноза,

в лучшем случае — на инерционный прогноз. Крайним случаем базового решения следует признать деятельность потребителя при полном отсутствии нормативной, оперативной и прогностической информации о погоде и состоянии водных объектов.

Госплан СССР устанавливает для каждого производства значение нормативного коэффициента (10.1) эффективности затрат, обозначим его как  $E_n$ . Применительно к гидрометеорологической информации  $E_n = 0,15$ , а в отношении некоторых режимных исследований  $E_n = 0,10$ . Смысл таких регламентаций в ограничении срока окупаемости капитальных вложений некоторыми нормативными промежутками времени:

$$T_n = \frac{1}{E_n}. \quad (10.2)$$

В среднем по народному хозяйству нормативный срок окупаемости  $T_n$  составляет около 7—10 лет.

Затраты водопользователя складываются из капиталовложений  $K$  и эксплуатационных издержек  $C$ . Однако эти величины не вполне сопоставимы. Капитальные вложения осуществлены единовременно в прошлом или реализовались в процессе строительства. Поскольку в ходе строительства производство не могло функционировать с полной отдачей, то часть израсходованных средств оказывалась замороженной и, следовательно, зная продолжительность строительства  $\tau$  (в годах), капитальные вложения  $K$  должны вычисляться с учетом года реализации ( $t$  — порядковый номер года строительных работ: от 1 до  $\tau$ ):

$$K = \sum_{t=1}^{\tau} K_t (1+g)^{\tau-t}, \quad (10.3)$$

где  $g = 0,08$ .

Приведем затраты  $C$  и  $K$  к одной единице времени — году. тогда  $C$  — эксплуатационные издержки за год, а  $E_n K$  — капиталовложения в производственные фонды, отнесенные к годовому циклу посредством коэффициентов  $E_n$ . Итак, приведенные затраты  $\Pi$  равны:

$$\Pi = C + E_n K. \quad (10.4)$$

Исходя из вышеизложенного, экономический эффект использования гидрометеорологической информации в производственной деятельности потребителя определяется по формуле

$$\Theta = N(\Pi_1 - \Pi_2) - E_n Z_{\text{шт}}, \quad (10.5)$$

где  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  — приведенные затраты потребителя гидрометеорологической информации при базовом и новом решениях;  $N$  — число аналогичных хозяйственных объектов.

Подчеркнем, что формула (10.5) наиболее полно оценивает  $\Theta$  нормативной информации.

Для оценки той части экономического эффекта, которая является активом подразделений Госкомгидромета, значение  $\Theta$ , вычисленное по уравнению (10.5), следует пересчитать с использованием коэффициента  $\beta$ , представляющего долю вклада гидрометеорологов в создание материальных ценностей в сфере производства какого-либо конкретного потребителя:

$$\Theta_r = \beta N(\Pi_1 - \Pi_2) - E_n Z_{\text{шт.}} \quad (10.6)$$

Действительно, отнесение на счет Госкомгидромета во всех случаях полного эффекта  $\Theta$  представляет собой игнорирование роли потребителя в создании схемы оптимизационного расчета. Особенно велик вклад потребителя в работу по составлению матриц потерь.

Экономическая эффективность использования в народном хозяйстве гидрометеорологической информации (доля Госкомгидромета) количественно выражается отношением

$$P = \frac{\Theta_r}{E_n Z_{\text{шт.}}} \quad (10.7)$$

ЭЭ гидрометеорологической информации, как и экономический эффект, может характеризовать потенциальные и фактические выгоды. Фактическая ЭЭ определяется совместно с потребителем после внедрения нормативной, оперативной или прогностической информации в практику.

### ✓ 10.3. Оценка повторяемости хозяйственного решения

Расчет среднестатистических затрат потребителя при использовании им прогностической информации требует определения вероятностей осуществления исходных ситуаций. Очевидно, эти вероятности соответствуют повторяемости того или иного прогноза.

Определим статистические характеристики прогностической величины  $\hat{Y}$ . Ясно, что норма этой величины соответствует значению  $\bar{y}$ , если прогностическое уравнение выявлено объективными способами. Дисперсия величины  $Y$  в общем случае равна

$$\bar{\sigma}_y^2 = \bar{\sigma}_{\hat{y}}^2 + \bar{S}_y^2 + 2r_{\Delta\hat{y}, \hat{y}} \bar{\sigma}_{\hat{y}} \bar{S}_y, \quad (10.8)$$

где  $r_{\Delta\hat{y}, \hat{y}}$  — коэффициент корреляции погрешностей прогнозов и ожидаемых значений, при изогенной корреляции  $r_{\Delta\hat{y}, \hat{y}}$  — значимая величина;  $\bar{\sigma}_{\hat{y}}$  — среднеквадратическое отклонение прогностической величины  $\hat{Y}$ .  $\bar{S}_y$  — среднеквадратическая погрешность прогнозирования.

Исходя из формулы (10.8), мера изменчивости величины  $\hat{Y}$  вычисляется по уравнению

$$\bar{\sigma}_{\hat{y}} = \sqrt{\bar{\sigma}_y^2 - \bar{S}_y^2 - 2r_{\Delta \hat{y}, \hat{y}} \bar{\sigma}_{\hat{y}} \bar{S}_y}. \quad (10.9)$$

Если допустить нормальный закон распределения величины  $\hat{Y}$ , вероятность попадания прогностической величины в  $i$ -й интервал составляет

$$p(\hat{y}_i \pm \Delta y) = \frac{\Phi\left(\frac{\hat{y}_i + \Delta y - \bar{y}}{\bar{\sigma}_{\hat{y}}}\right) - \Phi\left(\frac{\hat{y}_i - \Delta y - \bar{y}}{\bar{\sigma}_{\hat{y}}}\right)}{\Phi\left(\frac{\hat{y}_{\max} - \bar{y}}{\bar{\sigma}_{\hat{y}}}\right) - \Phi\left(\frac{\hat{y}_{\min} - \bar{y}}{\bar{\sigma}_{\hat{y}}}\right)}, \quad (10.10)$$

где  $\hat{y}_{\min}$ ,  $\hat{y}_{\max}$  — нижняя и верхняя границы рассматриваемого диапазона прогностической величины.

По результатам расчетов (10.9) — (10.10) составляется матрица вероятностей выпуска различных прогнозов  $p^* = \|p(\hat{y}_i \pm \Delta y)\|$ .

Таблица 10.1

Матрица вероятностей  $p^* = \|p(\hat{y}_i \pm \Delta y)\|$   
при разбиении диапазона вариации величины  $\hat{Y}$  на три интервала

| $\hat{y}_i$                 | $\hat{y}_1$ | $\hat{y}_2$ | $\hat{y}_3$ |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| $p(\hat{y}_i \pm \Delta y)$ | $p_1^*$     | $p_2^*$     | $p_3^*$     |

Вероятности  $p_i^* = p(\hat{y}_i \pm \Delta y)$  в табл. 10.1 характеризуют, в частности, повторяемость оптимальных решений  $l_{i,0}$  или  $l_{i,0}^*$  на основе прогнозов  $\hat{y}_i$ .

#### 10.4. Полная ЭЭ методов прогнозирования

Термин, вынесенный в заголовок параграфа, введен Н. А. Багровым [3] и обозначает среднестатистические потери или среднестатистический выигрыш от оптимизации хозяйственных решений с учетом прогностической информации. Расчет полной ЭЭ (в потерях) выполняется по формуле

$$\begin{aligned} \bar{R}_{0,\hat{y}} &= \sum_i \sum_j p(\hat{y}_i \pm \Delta y) p((y_j \pm \Delta y) | \hat{y}_i) R_{y_j, l_{i,0}} = \\ &= \sum_i p(\hat{y}_i \pm \Delta y) \bar{R}_{\hat{y}_i, l_{i,0}}. \end{aligned} \quad (10.11)$$

Потери  $\bar{R}_{0,\hat{y}}$  заменяют собою оценку затрат  $\Pi_2$  в выражении (10.5). Это средние (в вероятностном смысле) неизбежные потери, которые несет потребитель в некоторый сезон или период, соответствующий заблаговременности прогноза  $\hat{Y}$ .

8.11 ✓ Опираясь на выражение (10.5) экономический эффект прогностической информации составляет

$$\Theta_r = \beta (\bar{R}(l_0) - \bar{R}_{0,\hat{y}}) - E_n Z_{\text{пл}}, \quad (10.12)$$

где  $\bar{R}(l_0)$  — как было изложено выше, среднестатистические потери потребителя при ориентировке на режимные или нормативные сведения о водном объекте (с выполнением оптимизации решения на этой основе).

Во многих случаях основные предпроизводственные затраты  $Z_{\text{пл}}^*$  осуществляются непосредственно в период составления прогноза, например прогностический метод создан много лет назад и не требует существенной модернизации, сеть гидрологических наблюдений стабильна в течение десятилетий и т. д. Тогда расчет значения  $\Theta_r$  выглядит следующим образом:

$$\Theta_r = \beta (\bar{R}(l_0) - \bar{R}_{0,\hat{y}}) - Z_{\text{пл}}^*. \quad (10.13)$$

Экономическая эффективность работы гидрологов по обеспечению некоторого водопользователя конкретной прогностической информацией оценивается по формуле (10.7).

#### 10.5. ЭЭ использования нормативной информации

При оптимизации хозяйственного решения на основе режимных обобщений или нормативной информации затраты потребителя в новом варианте хозяйствования определяются капиталовложениями  $K_2$  и эксплуатационными расходами  $C_2$ , реализованными в рамках оптимального решения  $l_0$ , т. е. в данном случае, это значения  $K_{2,0}$  и  $C_{2,0}$ :

$$\Pi_{2,0} = C_{2,0} + E_n K_{2,0}. \quad (10.14)$$

Схема расчета ЭИ и ЭЭ использования нормативной информации прежняя (10.5), но с учетом оценки затрат  $\Pi_{2,0}$ .

8.12 На практике в процессе проектирования типовых гидротехнических сооружений, мостовых переходов, портов и т. д. оптимизационные расчеты как таковые не производятся. Они полагаются уже выполненными научно-исследовательскими учреждениями на базе огромного отечественного и зарубежного материала об эффективности тех или иных решений, включая эксплуатационные показатели. Параметры оптимальных решений  $l_0$ , в зависимости от класса капитальности сооружений, приведены в соответствующих СНиПах (СН 435-72, СНиПы 11-61, 1-62, 3-62). В настоящее время Госстроем СССР утвержден новый СНиП 2.01.14-83, разра-

ботанный Государственным гидрологическим институтом во взаимодействии с Гидропроектом им. С. Я. Жука. В отличие от СН 435-72 новые указания дают большую самостоятельность проектировщикам, позволяя устранить излишнюю формализацию и обезличивание решений в процессе гидрологического обоснования проектов, характерные для прежней схемы использования нормативных документов. К примеру, с учетом объема исходной выборки данных и погрешностей расчета статистических характеристик гидрологической величины для сооружений одного и того же класса капитальности назначаются различные нормативные показатели, в частности неодинаковая обеспеченность максимального расхода воды в створе сооружения и т. п.

Элемент заданности при выборе хозяйственных решений на основе нормативной информации не является признаком отсутствия ЭЭ таких материалов. Если СНиПы, которыми пользуется проектировщик, не подлежат уточнению, то в качестве «базового варианта» рассматривается проектирование на основе прежних Указаний или, крайний случай, путем проведения аналогий с действующими хозяйственными объектами на других водоемах и водотоках.

Повышение надежности нормативной информации сокращает объем водно-технических изысканий, проводимых потребителями для гидрологического обоснования проектов. Затраты на изыскания ( $Z_{из}$ ) и обработку полевого материала ( $Z_{обр}$ ) относят к ежегодным эксплуатационным издержкам периода проектирования и строительства  $C$ . При отсутствии нормативной информации или ее низкой точности — это затраты  $C_{1, из} = Z_{1, из} + Z_{1, обр}$ . Использование сведений, представляемых нормативными документами Госкомгидромета, уменьшает затраты на изыскания до величины  $C_{2, из} = Z_{2, из} + Z_{2, обр}$ . Разумеется, издание нормативных документов предполагает определенные предпроизводственные затраты  $Z_{пп}$ . Тогда часть эффекта использования проектировщиками информации  $\mathcal{E}_{из}$ , состоящая в уменьшении издержек на инженерные изыскания, определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{из} = N(C_{1, из} - C_{2, из}) - E_{пп} Z_{пп} \quad (10.15)$$

По-видимому, эффект  $\mathcal{E}_{из}$  — сравнительно небольшая доля выгод от использования нормативной информации при проектировании. Кратковременные (даже если экспедиционный период составляет несколько лет) изыскания проектировщиков обычно не могут обеспечить точности статистических характеристик, гарантируемой нормативами Госкомгидромета. Отсюда опасность аварий на проектируемом хозяйственном объекте или большие излишние капиталовложения, создающие так называемый «запас прочности». Экономический эффект назначения надежных норма-

тивных характеристик для оптимизации капиталовложений составляет по аналогии с (10.5) величину

$$\mathcal{E}_{\text{доп}} = \beta N(E_n(K_1 - K_{2,0}) + C_a), \quad (10.16)$$

где  $C_a$  — эксплуатационные затраты за период аварий и перерывов в работе, если капиталовложения  $K_1$  недостаточны по сравнению с оптимальными затратами  $K_{2,0}$ , определяемыми в расчете на нормативную информацию Госкомгидромета.

В выражении (10.16)  $C_a = 0$ , если  $K_1 > K_{2,0}$  (излишний «запас прочности»), учет предпроизводственных затрат  $\mathcal{E}_{\text{пп}}$  выполнен при оценке эффекта  $\mathcal{E}_{\text{из}}$  в (10.15). Общий экономический эффект использования нормативной информации при проектировании равен

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{E}_{\text{из}} + \mathcal{E}_{\text{доп}} + \beta N(C_1 - C_{2,0}), \quad (10.17)$$

где  $C_1$  и  $C_{2,0}$  — годовые эксплуатационные расходы в базовом и оптимальном вариантах.

Интенсификация производства в нашей стране неизбежно приводит к реализации все большей доли потенциальной ЭЭ гидрологической информации и к повышению роли Госкомгидромета в развитии народного хозяйства.

## 11. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

### 11.1. Энергетика

Рост народного хозяйства предполагает опережающее развитие энергетической базы. Гидрометеорологическое обеспечение энергетики, призванное более полно использовать топливные и водные ресурсы, включает в себя самые различные виды исследовательских и расчетных работ, а также оперативное обслуживание.

Содержание и форма гидрометеорологической информации также разнообразны. Тепловая энергетика нуждается прежде всего в данных о температуре воздуха, облачности, скорости и направлении ветра для оптимизации режимов работы энергетических агрегатов и регулирования отпуска тепла потребителям. Поддержание в исправном состоянии линий электропередачи осуществляется с привлечением сведений о гололедных нагрузках на провода [14, 20].

«Чисто гидрологическая» информация сводится прежде всего к оперативным материалам о температуре воды, закачиваемой в систему охлаждения. Если при создании ТЭС использован вариант прямооточного охлаждения, предполагающий забор воды непосред-

ственно из естественного водного объекта и отвод ее в конце технологического цикла в тот же водоем или водоток, то необходимы данные об уровнях, а иногда и о расходе воды источника водоснабжения. В переходные периоды гидрологического года приобретает важность информация о ледовой обстановке на реке, озере или водохранилище, о наличии шуги, дрейфе озерного льда и т. д.

В горной местности внимание уделяется сведениям об угрозе схода снежных лавин и селевых потоков, способных разрушить как линии электропередач, так и энергетические предприятия.

Основная сфера деятельности гидрологов при обслуживании энергетики — обеспечение гидрологической информацией всего комплекса работ по проектированию, строительству и эксплуатации ГЭС.

Расчеты ЭЭ нормативной информации при гидрологическом обосновании проектов громоздки, но не представляют методических трудностей, поскольку в основном укладываются в рамки простых схем (10.15—10.17). К сожалению, практические расчеты ЭЭ путем сравнения базового и оптимального «пакетов» гидрометеорологических сведений обычно не выполняются: на основе накопленного опыта проектировщикам заведомо известно, что уточненные нормативные данные многократно окупают затраты на их получение. Тем более интересны сведения об оценке экономического эффекта прогностической информации при создании проекта Каховской ГЭС. Анализ оправдываемости и заблаговременности прогнозов притока в Каховское водохранилище позволил существенно сократить фронт водопропускных отверстий и, следовательно, уменьшить капиталовложения, при этом разность ( $K_1 - K_{2.0}$ ) в формуле (10.16) достигла многих миллионов рублей. Действительно, если с достаточной заблаговременностью предсказан экстремальный паводок, то энергетики имеют возможность подготовить емкости для аккумуляции притока, произведя сработку водохранилища до подхода паводочной волны. Высокая оправдываемость прогнозов исключает возможность крупного прощета, влекущего за собой аварию, т. е. априори можно в (10.16) принять  $C_a = 0$ , если  $C_a$  — эксплуатационные затраты за период аварий в результате непредусмотренного прогнозами высокого паводка.

На практике гидрологические прогнозы применяются в энергетике прежде всего для оптимизации режимов регулирования стока и планирования выработки электроэнергии. Предупредительные цели, включающие защиту дамбы, плотины и сооружений от разрушения, также требуют прогностической информации, но обычно запас прочности отечественных гидростанций таков, что этот аспект гидрологического обеспечения играет заметную роль прежде всего в процессе строительства: при перекрытии русел, отведении рек и т. д.

Грамотная оценка ЭЭ гидропрогнозов требует четкого понимания нужд энергетики в зависимости от режима регулирования стока, осуществляемого той или иной ГЭС. При многолетнем регулировании стока наиболее эффективны прогнозы притока, составленные с большой заблаговременностью. Известны попытки предсказания водности на год вперед и более (Ю. М. Алехин, И. П. Дружинин, В. А. Шелутко и др.). Прогнозы меньшей заблаговременности используются для текущей корректировки режимов регулирования стока. Выявление экономических результатов использования этих прогнозов — задача довольно сложная, поскольку решение конъюнктурных задач энергосистемы в короткие временные отрезки зачастую затушевывает подлинную ценность оперативного гидропрогностического обеспечения ГЭС при крупных водохранилищах.

Оценку ЭЭ прогнозов притока в водохранилища многолетнего регулирования целесообразно начинать с анализа гидролого-экономической ситуации в многоводные сезоны [8], причем интерес представляет прежде всего предсказание объема притока в целом на период заблаговременности без детализации распределения за этот период. Как будет показано ниже, это обстоятельство существенно упрощает выявление функций потерь  $R(y, I)$ .

Для повышения эффективности эксплуатации водохранилищ сезонного регулирования, кроме прогнозов объема притока на многоводный сезон, необходимы сведения об ожидаемом гидрографе или, как минимум, о датах начала половодья или паводочного периода, о сроке наступления пика половодья и т. д. Особенно это важно при наличии небольшого полезного объема водохранилища, когда главная задача эксплуатационников за период наполнения состоит в увеличении срока работы ГЭС с максимальными напорами при сокращении до минимума холостых сбросов.

Суточное и недельное регулирование стока не позволяет в должной мере использовать долгосрочные гидрологические прогнозы в эксплуатационных целях (т. е. для повышения выработки электроэнергии). Основная ценность квартальных и месячных прогнозов в этом случае состоит в возможности более надежного планирования выработки электроэнергии. Следует подчеркнуть, что использование гидропрогнозов в целях планирования приносит выгоду независимо от режима регулирования стока и величины полезного объема водохранилища.

Совершенствование системы планирования выработки электроэнергии, во-первых, улучшает работу потребителей электроэнергии, обеспечивая планомерную, наиболее полную отдачу станочного парка и другого оборудования; во-вторых, уменьшает расход топлива на выработку киловатт-часа электроэнергии в системе ТЭС — ГЭС. С точки зрения экономии топлива наиболее выгодно эксплуатировать тепловые энергетические агрегаты с полной нагрузкой в постоянном режиме работы. Любые изме-

нения режима ведут к «пережогу» топлива и, следовательно, — к экономическим потерям. Заблаговременное, с учетом гидрологических прогнозов, распределение нагрузок между электростанциями энергетического кольца (тепловыми и гидравлическими) позволяет стабилизировать режимы работы ТЭС.

Анализ эксплуатации ГЭС свидетельствует, что использование прогнозов притока существенно уточняет планирование выработки электроэнергии: так, на Мингечаурской ГЭС погрешности планирования с учетом прогнозов в среднем за многолетие в 2,4 раза меньше, чем при ориентировке на среднюю водность (26,7 млн. кВт·ч — по сравнению с 63,5 млн. кВт·ч) [23].

Изучение методов оценки ЭЭ использования прогностической информации в энергетике приводит к выводу о том, что оперативные подразделения Госкомгидромета довольно часто сводят эту оценку к подсчету экономического эффекта единичных прогнозов, особенно в случае предсказания резко аномальных явлений. В качестве экономического эффекта принимается разность потерь

$$\Delta R_{y \hat{y}} = R_{y_h \bar{y}} - R_{y_h \hat{y}}, \quad (11.1)$$

где  $R_{y_h \bar{y}}$  — потери при ориентировке на норму, т. е. при решении  $l = \bar{y}$  и фактически осуществившемся явлении  $y_h$ :

$$R_{y_h \bar{y}} = \theta_{y_h} - \theta_{y_h \bar{y}}, \quad (11.2)$$

а  $R_{y_h \hat{y}}$  — то же при полном доверии к прогнозу, т. е.  $l = \hat{y}$ :

$$R_{y_h \hat{y}} = \theta_{y_h} - \theta_{y_h \hat{y}}, \quad (11.3)$$

$\theta_{y_h}$ ,  $\theta_{y_h \bar{y}}$  и  $\theta_{y_h \hat{y}}$ , по аналогии с (9.1), — выработка электроэнергии, соответственно, при «абсолютно точном» знании притока  $y_h$ , при выборе типового среднееголетнего режима регулирования и при корректировке этого режима с учетом прогноза  $\hat{y}$ .

В действительности потери  $R_{y_h \bar{y}}$  и  $R_{y_h \hat{y}}$  неполно оценивают даже конъюнктурную ситуацию за период заблаговременности конкретного прогноза, не говоря уже о ЭЭ метода прогнозирования. Причины: не всегда потребитель использует в качестве решения стратегию полного доверия прогнозу  $l = \hat{y}$  или неукоснительно следует среднееголетнему графику притока. Особенно в ответственных случаях, эксплуатационник обязан учитывать при отсутствии прогнозов возможность осуществления резко аномальных явлений ( $y = y_{\min}$  или  $y = y_{\max}$ ) и принимать соответствующие предохранительные меры, которые влекут за собой неизбежные

потери. При наличии прогнозов диапазон вариации величины  $\hat{Y}$  около значения  $\bar{y}$  на период заблаговременности предсказания тем меньше, чем выше оправдываемость прогнозов. Более того, в конкретных ситуациях осуществление многолетнего минимума  $y_{\min}$  или  $y_{\max}$  можно исключить, а следовательно, избежать дорогостоящих превентивных мероприятий.

Игнорирование вероятностной сущности прогнозирования в расчетах, ограниченных схемой (11.1) — (11.3), приводит к абсурдному выводу о бесполезности предсказания нормы, т. е. «неэффективности» прогнозов  $\hat{y} = \bar{y}$ .

Оценка полезности единичных прогнозов дает лишь информацию к построению матрицы потерь  $R = \|R_{y, l_k}\|$  или к выявлению функции  $R(y, l)$ , не описывая явления в целом. Отдельные прогнозы, как известно, могут приводить к существенным потерям при высокой эффективности методики в целом. Разумеется, речь идет о регулярных прогнозах, составляемых в определенные сроки в течение длительного периода. Предсказания экстремальных явлений, не предусмотренных проектами сооружений, например каким-то образом составленные предупреждения о катастрофических селях, лавинах или оползнях в береговой зоне горных водохранилищ, должны оцениваться по-иному, с учетом уникальности события.

В заключение параграфа обратимся к вопросам оценки ЭЭ прогнозов гидрографа притока в водохранилища сезонного регулирования на многоводный период, предположим на второй квартал (апрель — июнь). Это во многих случаях наиболее важный период в годовом цикле, соответствующий фазе наполнения водохранилища.

Приближенное описание гидрологического процесса, вполне приемлемое при оценочных экономических расчетах, позволяет задать гидрограф на второй квартал (Г) двумя параметрами:

среднеквартальным расходом  $Q = \frac{Q_{IV} + Q_V + Q_{VI}}{3}$  и коэффициентом

формы гидрографа  $v = \frac{6,25 Q_{IV} + 2,25 Q_V + 0,25 Q_{VI}}{Q_{IV} + Q_V + Q_{VI}}$ ,

где  $Q_{IV}$ ,  $Q_V$ ,  $Q_{VI}$  — среднемесячные расходы притока [19].

В качестве «притока» в данном случае рассматривается полезный приток, т. е., напомним, количество воды, поступающее в водохранилище за вычетом всех потерь (испарение, отток в водоносные горизонты береговой зоны и т. д.).

Функция потерь  $R(\Gamma, l)$  представлена в матричной форме.

Таблица 11.1

Матрица потерь выработки электроэнергии  $R$ 

$$\frac{k_Q j_Q}{k_v j_v}$$

при использовании информации о гидрографе притока в водохранилище

| $Q_k$ | $v_k$    | $Q_1$    |     |           | ... | $Q_d$    |     |           |
|-------|----------|----------|-----|-----------|-----|----------|-----|-----------|
|       |          | $v_1$    | ... | $v_{d'}$  |     | $v_1$    | ... | $v_{d'}$  |
| $Q_1$ | $v_1$    | $R_{11}$ | ... | $R_{1d'}$ | ... | $R_{1d}$ | ... | $R_{1d'}$ |
|       | ...      | ...      | ... | ...       | ... | ...      | ... | ...       |
|       | $v_{c'}$ | $R_{11}$ | ... | $R_{1d'}$ | ... | $R_{1d}$ | ... | $R_{1d'}$ |
| ...   | ...      | ...      | ... | ...       | ... | ...      | ... | ...       |
| $Q_c$ | $v_1$    | $R_{c1}$ | ... | $R_{cd'}$ | ... | $R_{cd}$ | ... | $R_{cd'}$ |
|       | ...      | ...      | ... | ...       | ... | ...      | ... | ...       |
|       | $v_{c'}$ | $R_{c1}$ | ... | $R_{cd'}$ | ... | $R_{cd}$ | ... | $R_{cd'}$ |

В табл. 11.1 многолетние диапазоны изменения расхода воды  $Q$  и коэффициента формы  $v$  разбиваются, соответственно, на  $d$  интервалов  $j_Q$  и  $d'$  интервалов  $j_v$ ; шкалы решений относительно  $Q$  и  $v$  включают  $c$  интервалов  $k_Q$  и  $c'$  интервалов  $k_v$ .

По аналогии с табл. 11.1 строится матрица условных вероятностей  $p = \|p((y_j \pm \Delta y) | \hat{y}_i)\|$  — табл. 11.2.

В числителе и знаменателе индекса при значении условной вероятности  $p$  указаны ожидаемые и реализованные интер-

$$\frac{i_Q j_Q}{i_v j_v}$$

валы среднеквартального расхода  $i_Q$ ,  $j_Q$  и коэффициента формы  $i_v$ ,  $j_v$ .

Матрица безусловных (многолетних) вероятностей  $p = \|p(y_j \pm \Delta y)\|$  трансформируется в табл. 11.3.

Таблица 11.2

Матрица условных вероятностей осуществления ожидаемого гидрографа

$$p(\Gamma_{j_Q j_v} | \hat{\Gamma}_{i_Q i_v}) = p((Q_{j_Q} \pm \Delta Q) | \hat{Q}_{i_Q}) \times \\ \times p((v_{j_v} \pm \Delta v) | \hat{v}_{i_v}, Q_{i_Q}, Q_{j_Q}) = p_{i_Q j_Q} / i_v i_v$$

| $\hat{Q}_i$ | $\hat{v}_i$    | $Q_1$          |     |                 | ... | $Q_d$          |     |                 |
|-------------|----------------|----------------|-----|-----------------|-----|----------------|-----|-----------------|
|             |                | $v_1$          | ... | $v_{d'}$        |     | $v_1$          | ... | $v_{d'}$        |
| $\hat{Q}_1$ | $\hat{v}_1$    | $p_{11} / 11$  | ... | $p_{11} / 1d'$  | ... | $p_{1d} / 11$  | ... | $p_{1d} / 1d'$  |
|             | ...            | ...            | ... | ...             | ... | ...            | ... | ...             |
|             | $\hat{v}_{e'}$ | $p_{11} / e'1$ | ... | $p_{11} / e'd'$ | ... | $p_{1d} / e'1$ | ... | $p_{1d} / e'd'$ |
| ...         | ...            | ...            | ... | ...             | ... | ...            | ... | ...             |
| $\hat{Q}_e$ | $\hat{v}_1$    | $p_{e1} / 11$  | ... | $p_{e1} / 1d'$  | ... | $p_{ed} / 11$  | ... | $p_{ed} / 1d'$  |
|             | ...            | ...            | ... | ...             | ... | ...            | ... | ...             |
|             | $\hat{v}_{e'}$ | $p_{e1} / e'1$ | ... | $p_{e1} / e'd'$ | ... | $p_{ed} / e'1$ | ... | $p_{ed} / e'd'$ |

Таблица 11.3

Матрица безусловных вероятностей осуществления гидрографа притока

$$\text{в водохранилище } p(\Gamma_{j_Q j_v}) = p(Q_{j_Q} \pm \Delta Q) p((v_{j_v} \pm \Delta v) | Q_{j_Q}) = p'_{j_Q j_v}$$

| $Q_{j_Q}$             | $Q_1$  |     |            | ... | $Q_d$     |     |            |
|-----------------------|--------|-----|------------|-----|-----------|-----|------------|
| $v_{j_v}$             | $v_1$  | ... | $v_{d'}$   |     | $v_1$     | ... | $v_{d'}$   |
| $p(\Gamma_{j_Q j_v})$ | $p'_1$ | ... | $p'_{1d'}$ | ... | $p'_{d1}$ | ... | $p'_{dd'}$ |

Расчет средних потерь  $\bar{R}_{\hat{y}_i \hat{l}_k}$  и  $\bar{R}(l_k)$  производится по аналогии со схемами (9.20) и (9.24). Среднеквадратические потери выработки электроэнергии при прогнозе гидрографа  $\hat{\Gamma}_{i_Q i_v}$  и решении  $l_{k_Q k_v}$  составляют:

$$\begin{aligned} \bar{R}_{\hat{\Gamma}_{i_Q i_v}, l_{k_Q k_v}} &= \sum_{i_Q} \sum_{i_v} p((Q_{i_Q} \pm \Delta Q) | \hat{Q}_{i_Q}) \cdot p((v_{i_v} \pm \Delta v) | \hat{v}_{i_v}; \hat{Q}_{i_Q}; Q_{j_Q}) \times \\ &\times R_{\Gamma_{j_Q j_v}, l_{k_Q k_v}} = \sum_{j_Q} \sum_{j_v} p_{i_Q j_Q} \cdot R_{k_Q j_Q}. \end{aligned} \quad (11.4)$$

При постоянной ориентировке на нормы среднеквартального расхода  $\bar{Q}$  и коэффициента формы  $\bar{v}$  в среднем за достаточно длительный период эксплуатации ГЭС потери выработки электроэнергии приближенно равны

$$\begin{aligned} \bar{R}(\bar{\Gamma}) &= \sum_{i_Q} \sum_{i_v} p(Q_{i_Q} \pm \Delta Q) p((v_{i_v} \pm \Delta v) | Q_{j_Q}) \cdot R_{\frac{\bar{Q}}{\bar{v}} i_Q} = \\ &= \sum_{i_Q} \sum_{i_v} p'_{i_Q i_v} \cdot R_{\frac{\bar{Q}}{\bar{v}} i_Q}. \end{aligned} \quad (11.5)$$

Вероятности составления того или иного прогноза гидрографа  $\hat{\Gamma}_{i_Q i_v}$  сводятся в таблицу, аналогичную табл. 10.1, с отличиями, вызванными необходимостью описать более сложное явление — прогноз процесса.

Таблица 11.4

Матрица вероятностей составления различных прогнозов гидрографа

$$p(\hat{\Gamma}_{i_Q i_v}) = p(\hat{Q}_{i_Q} \pm \Delta Q) \cdot p((\hat{v}_{i_v} \pm \Delta v) | \hat{Q}_{i_Q}) = p_{i_Q}^* i_v$$

| $\hat{Q}_{i_Q}$ | $\hat{Q}_1$ |     |             | ... | $\hat{Q}_e$ |     |             |
|-----------------|-------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|-------------|
| $\hat{v}_{i_v}$ | $v_1$       | ... | $v_{e'}$    | ... | $v_1$       | ... | $v_{e'}$    |
| $p_{i_Q}^* i_v$ | $p_{i1}^*$  | ... | $p_{ie'}^*$ | ... | $p_{e1}^*$  | ... | $p_{ee'}^*$ |

Схемы расчета вероятностей  $p_{i_Q j_Q}$ ,  $p'_{j_Q i_v}$  и  $p_{i_Q i_v}^*$  зависят от

способа прогнозирования гидрографа. Однако возможен более или менее универсальный путь определения этих вероятностей. Проследим его этапы сначала на примере вычисления условных вероятностей  $p_{\frac{Q_{jQ}}{v_j}} = p((Q_{jQ} \pm \Delta Q) | \hat{Q}_{jQ}) \cdot p((v_j \pm \Delta v) | \hat{v}_j; \hat{Q}_{jQ}; Q_{jQ})$ .

Вычисление вероятностей  $p((Q_{jQ} \pm \Delta Q) | \hat{Q}_{jQ})$  выполняется по формуле (9.18) с тем отличием, что вместо значений абстрактно представленной гидрологической величины  $Y$  следует использовать конкретные расходы  $Q$ . Как и ранее, здесь допустимо принять нормальный закон распределения погрешностей прогноза среднеквартального притока.

Условные вероятности  $p((v_j \pm \Delta v) | \hat{v}_j; \hat{Q}_{jQ}; Q_{jQ})$  вычисляются более сложным способом. Прежде всего необходимо определить центр рассеивания  $v_j^*$  с помощью зависимости  $v^* = f(\hat{v}, \hat{Q}, Q)$  или с применением некоторой расчетной схемы, установленной по результатам поверочных прогнозов или путем теоретического анализа. Среднеквадратическая погрешность такого расчета  $\bar{\sigma}_{v^*}$  является оценкой меры вариации величины  $v^*$ . Если связь вида  $v^* = f(\hat{v}, \hat{Q}, Q)$  относится к случаю «твердой» корреляции [1], двух статистических характеристик  $v_j^*$  и  $\bar{\sigma}_{v^*}$  достаточно для предварительного расчета вероятностей  $p((v_j \pm \Delta v) | \hat{v}_j; \hat{Q}_{jQ}; Q_{jQ})$ .

Вычисление безусловных вероятностей  $p'_{jQ} = p(Q_{jQ} \pm \Delta Q) p((v_j \pm \Delta v) | Q_{jQ})$ , в рамках нормального закона распределения искомых величин, включает прежде всего расчет

$$p(Q_{jQ} \pm \Delta Q) = \frac{\Phi\left(\frac{Q_{jQ} + \Delta Q - \bar{Q}}{\bar{\sigma}_Q}\right) - \Phi\left(\frac{Q_{jQ} - \Delta Q - \bar{Q}}{\bar{\sigma}_Q}\right)}{\Phi\left(\frac{Q_{\max} - \bar{Q}}{\bar{\sigma}_Q}\right) - \Phi\left(\frac{Q_{\min} - \bar{Q}}{\bar{\sigma}_Q}\right)}, \quad (11.6)$$

где  $\bar{Q}$ ,  $Q_{\max}$ ,  $Q_{\min}$ ,  $\bar{\sigma}_Q$ , соответственно, — норма среднеквартального расхода, максимальное и минимальное значения усеченного распределения величины  $Q$ , мера многолетней вариации  $Q$ .

Для определения значений  $p((v_j \pm \Delta v) | Q_{jQ})$  следует использовать зависимость  $\tilde{v} = \varphi(Q)$ , позволяющую по данным о расходе  $Q_{jQ}$  установить центр и меру рассеивания ( $\tilde{v}_j$  и  $\bar{\sigma}_v$ ).

Точно так же вычисляются вероятности составления различных прогнозов гидрографа  $p_{i_Q}^* i_v = p(\hat{Q}_{i_Q} \pm \Delta Q) p(\hat{v}_{i_v} \pm \Delta v) | \hat{Q}_{i_Q}$  с той разницей, что вместо расхода  $Q$  и показателя формы гидрографа  $v$  используются прогностические величины  $\hat{Q}$  и  $\hat{v}$ .

Полная ЭЭ метода прогнозирования гидрографа рассчитывается по формуле (10.11), с учетом (11.4):

$$\bar{R}_{o, \hat{r}} = \min_{\langle l \rangle} \sum_{i_Q} \sum_{i_v} \sum_{j_Q} \sum_{j_v} p_{i_Q}^* i_v \cdot p_{i_Q j_Q} \cdot R_{k_Q j_Q} \cdot \frac{p_{i_Q j_Q}}{i_v j_v} \cdot \frac{R_{k_Q j_Q}}{k_v j_v} \quad (11.7)$$

Среднестатистические потери выработки электроэнергии при оптимальном использовании многолетней информации о гидрографе притока вычисляются по аналогии с (9.25) и (11.5):

$$\bar{R}(l_0) = \min_{\langle l \rangle} \sum_{i_Q} \sum_{i_v} p_{i_Q}^* i_v \cdot R_{k_Q j_Q} \cdot \frac{p_{i_Q j_Q}}{k_v j_v} \quad (11.8)$$

где  $k_Q, k_v$  — конкретные решения  $l_k$  относительно объема и формы гидрографа.

Экономический эффект применения прогностического метода зависит от характера предпроизводственных затрат и оценивается по формулам типа (10.13), например:

$$\Delta_r = \beta (\bar{R}(l_0) - R_{o, \hat{r}}) - \Delta_{\text{пр}}^* \quad (11.9)$$

Оценка экономического эффекта прогнозов гидрографа весеннего притока в Камское водохранилище убеждает в высокой полезности такой информации [7] и количественно характеризует резервы предвычисления: при условии «абсолютно точных» прогнозов средняя выработка Камской ГЭС за апрель — июнь могла бы возрасти на 41 млн. кВт-ч.

## 11.2. Водный транспорт

Отечественная гидрология традиционно рассматривает обслуживание водного транспорта своей первоочередной задачей. Как и энергетика, водный транспорт нуждается в разнообразной метеорологической информации, особенно для судоходства на крупных озерах, водохранилищах и на море. Из элементов гидрологического режима для плавания на внутренних водных путях наибольший интерес представляет оперативная информация об уровнях водных объектов, о резком изменении водности, о русловых деформациях, о ледовой обстановке, а также прогнозы этих явлений.

Сведения об уровнях воды на участках, лимитирующих судоходство, приобретают особую ценность при быстром изменении

отметок в связи со сгонно-нагонными явлениями (в устьях рек) или вблизи гидротехнических сооружений. На основе такой информации представляется возможным оптимизировать тактику ведения перевозок: например, преодолевать перекаты на пике волны попуска или нагона.

Иллюстрацией зависимости показателей работы водного транспорта от водности могут служить следующие цифры: 1) перевозки, осуществляемые Верхне-Иртышским пароходством, рентабельны лишь при расходах воды в створе Усть-Каменогорской ГЭС, превышающих  $500 \text{ м}^3/\text{с}$ ; 2) вследствие уменьшения стока р. Урала с июля по сентябрь 1975 г. себестоимость транспортировки грузов возросла с  $0,53 \text{ коп}/(\text{т} \cdot \text{км})$  до  $2,1 \text{ коп}/(\text{т} \cdot \text{км})$  [14].

Своевременная и достоверная информация о водности и русловых деформациях позволяет управлениям пути оптимально использовать технический флот для улучшения условий судоходства. Эффект таких мероприятий очевиден. Например, в качестве базового варианта организации дноуглубительных работ может быть рассмотрен годовой план, обычно ориентированный на среднегодовую водность. Корректировка плана с учетом фактической гидрометеорологической обстановки на водных путях несомненно создает некоторую полезность  $\theta$ .

Оперативная аэрокосмическая информация о ледовой обстановке на большом протяжении судоходных рек или на значительных по площади озерных и морских акваториях в экстремальных случаях приводит к хозяйственным решениям экстраординарной по величине полезности.

Наиболее ярко ценность этого вида информации на речных трассах проявляется в периоды завершения навигации и следования судов к местам зимнего отстоя.

Гидрологические прогнозы создают предпосылки получения дополнительной полезности. В зависимости от заблаговременности прогнозов и структуры прогностических схем в качестве базового варианта при оценке принимаются либо среднегодовые данные (чаще всего при долгосрочном прогнозировании), либо инерционный прогноз. Например, ожидаемый объем весеннего притока в водохранилище, имеющее воднотранспортное значение, целесообразно сопоставлять с нормой притока, а предсказание уровней на сутки, пентаду или декаду в условиях спада половодья или в период устойчивой межени лучше сравнивать с состоянием водного объекта в момент выпуска прогноза, предварительно исправив эти отметки на норму изменения уровней за период заблаговременности прогноза.

Типичными для нужд водного транспорта являются прогнозы уровней, определяющих судоходные глубины, но при наличии интенсивных русловых деформаций первостепенное значение приобретают прогнозы стока. Выше указывалось, что на р. Иртыше водные перевозки рентабельны лишь при попусках на Усть-Каменогорской ГЭС больше  $500 \text{ м}^3/\text{с}$ , однако необходимо подчеркнуть,

что это лишь грубая гидролого-экономическая оценка ситуации, так как средний расход за время попуска не определяет исчерпывающим образом уровней на перекатах ниже плотины. Прогноз расплывания волны попуска на лимитирующем судоходстве участке предполагает получение двойного экономического эффекта: 1) уменьшения объема сбросов на ГЭС (часть которых для достижения судоходных отметок в нижнем бьефе в ряде случаев приходится производить вхолостую); 2) увеличения загрузки судов, следующих через перекат. Опыт выпуска ежечасных прогнозов уровней на перекатах ниже Горьковской и Нижне-Свирской ГЭС с помощью электронно-моделирующих устройств (ЭМУ ПР-27, ПР-43, ПР-49) показал, что практически при той же судопропускной способности на перекате можно существенно уменьшить объемы сбросов, если оптимальным образом формировать караваны на подходе к перекату, ориентируясь на прогноз хода уровней. Разумеется, эффективное использование таких прогнозов требует повышенной четкости работы диспетчерской службы, плавсостава и энергетиков.

Интересен пример использования прогнозов уровней Кубанским техническим участком пути. При ожидаемом снижении отметок путейцы заблаговременно начинают дноуглубительные работы на перекатах, а получая прогноз увеличения водности, перемещают технический флот на места добычи песка и гравия для строительства. Этим достигается бесперебойность перевозок и высокая эффективность эксплуатации дночерпательной техники, которая в итоге действует практически всю навигацию без простоев.

В начале 70-х годов водный транспорт начал реализовывать новые резервы повышения рентабельности работы, а именно: продление навигации во льдах и раннее начало навигации путем искусственного вскрытия судоходной трассы, последнее обеспечивает, например, Верхне-Иртышскому пароходству чистую прибыль 35—36 тыс. руб. за одни только сутки досрочной работы. Вполне понятно, эти мероприятия требуют комплексного использования гидрологической информации как режимной, так и прогностической, включающей, в частности, сведения о темпах нарастания толщины и прочности льда, а также разрушения ледяного покрова в предвесенний период. К сожалению, оправдываемость долгосрочного предсказания сроков ледовых явлений до сих пор невысока, поэтому основной экономический эффект в настоящее время дают краткосрочные прогнозы, из которых наиболее надежным оказался метод предвычисления дат появления льда (Л. Г. Шуляковский).

Функции потерь при использовании прогнозов дат ледовых явлений асимметричны и неразностны. Экономический эффект зависит от заблаговременности предсказания, состава флота, интенсивности процессов ледообразования в данном районе и других факторов.

Огромный объем дноуглубительных работ, проводимых на внутренних водных путях, все острее ставит вопрос о расчете и прогнозе русловых деформаций. Руслорегулирование, постройка новых пристаней, создание затонов и другие мероприятия, выполняемые без надлежащего гидрологического обоснования, часто оборачиваются многомиллионными потерями средств. Развитие и совершенствование этого раздела гидрологического обеспечения народного хозяйства и, в частности, водного транспорта — важная задача на ближайшие десятилетия.

### 11.3. Водное хозяйство и мелиорация

Рост производства в нашей стране вызвал потребность проведения крупных водохозяйственных мероприятий. Осуществленные переброски части стока рек (Иртыш, Днепр, Дон и др.), осушение земель в Полесье, Мещере, на Северо-Западе ЕТС, обводнение огромных массивов земель на юге ЕТС и в Средней Азии потребовали соответствующего гидрологического обеспечения. Не все эти мероприятия дали ожидаемый экономический эффект. В отдельных случаях осушение земель привело к выветриванию и деградации почвенного покрова, а обводнение — к засолению почв. Изменения водного баланса не всегда были предсказаны с достаточной точностью. Анализ последствий перебросок стока и мелиорации земель поднял на качественно новый уровень водно-балансовые исследования и обеспечение этими данными новых проектов.

В отличие от практики прошлых лет, существенное место в современных проектах временного и пространственного перераспределения стока занимают природоохранные мероприятия. Потенциальный экономический эффект гидрологического обоснования таких проектов приближенно оценивается по формулам типа (10.15) — (10.17), при этом полезность базового варианта иногда можно определить по аналогии с экономическими результатами уже осуществленных мероприятий, основанных действующими ранее гидрологическими нормативами.

Сопоставляя те или иные варианты решения водохозяйственных проблем нельзя руководствоваться лишь конъюнктурно-экономическими оценками: социальные аспекты преобразования природы зачастую (и справедливо!) выдвигаются на передний план.

### 11.4. Сельское и лесное хозяйство, лесосплав

Гидрометеорологическое обеспечение сельского хозяйства, как правило, требует больших средств. Так, по данным Э. И. Монокровича [14], УГКС Казахской ССР тратит на эти цели около половины всех ассигнований. Причина повышенного интереса работников сельского хозяйства к информации о погоде и водности — в естественной зависимости производства продуктов питания от природных факторов.

Очень трудно разграничить метеорологическое и гидрологическое обслуживание сельского хозяйства, например в вопросах оценки и прогноза изменений водного баланса земельных массивов. Нормативная гидрологическая информация при освоении новых земель, оперативные сведения о состоянии водных объектов — источников полива и орошения, прогнозы затоплений полей и лугов, предвычисление водности рек на вегетационный период — типичные гидрологические сведения для нужд сельского хозяйства.

✓ Гидролого-экономический анализ результатов сельскохозяйственного производства обычно упрощается указанной выше теснотой его связи с состоянием водных объектов. Кроме того, имеются достаточно объективные показатели успешности работы — урожай, продуктивность животноводства и т. д. Особенно легко поддаются экономической оценке случаи предупреждений об ООЯ. Например, прогноз об экстремальном дождевом паводке 20 мая 1970 г. на р. Чу позволил заблаговременно опорожнить Орто-Токойское водохранилище, используя эту воду на орошение. В итоге, дополнительно получено сельскохозяйственной продукции на 3 млн. рублей и предотвращено затопление г. Токмак. Оценивая по достоинству эту удачу киргизских гидрологов, следует иметь в виду, что полученный эффект характеризует лишь одну конкретную ситуацию и не может служить показателем ЭЭ прогнозов майских дождевых паводков р. Чу.

Поучителен, в отношении комплексного подхода к проблемам восстановления плодородия угодий, пример гидрологического обслуживания сельскохозяйственного производства на поймах р. Иртыша ниже Бухтарминского водохранилища. В весеннее время здесь составляются прогнозы затопления пойм по данным о попусках из водохранилища с учетом прохождения пика половодья на притоках р. Иртыша до г. Семипалатинска. Первые выпуски таких прогнозов, благодаря высокой надежности, принесли ощутимый экономический эффект. Продуктивность пойменных массивов, упавшая в связи с постройкой плотины выше по течению, практически восстановилась. Однако в последующие годы, при вполне приемлемом совпадении предсказанных и фактических уровней на поймах, продуктивность земель снова упала. Причина в том, что осветленная вода, поступающая из водохранилища, захватывала и уносила мелкие фракции органического происхождения, оставляя на поймах продукты размыва нижнего бьефа, в основном песок.

В подобных случаях можно говорить об ЭЭ прогнозов, ограничивая период действия экономических показателей определенными временными рамками или состоянием угодий.

Выше упоминалось о самолетных гамма-съемках снежного покрова. Результаты таких съемок представляют большой интерес при оценке состояния зимующих культур; снегозапасы характеризуют ожидаемое половодье.

Засоление почв на поливных землях вызвало необходимость тщательных воднобалансовых исследований. В ряде случаев обнаружена недостаточная обоснованность норм, сроков и методики полива. Оценка потенциальной ЭЭ уточненных нормативов свидетельствует о первостепенной важности внедрения этого вида гидрологической информации в практику сельскохозяйственного производства.

✓ Лесное хозяйство, на первый взгляд, зависит только от метеорологических факторов, определяющих главную опасность — лесные пожары. Однако на деле гидрологические сведения приобретают все большую ценность, особенно в наше время, когда территория ежегодно закладываемых лесов в нашей стране превышает площадь лесосек. Оказалось, что добыча полезных ископаемых (особенно открытым способом), отсыпка разного рода насыпей, прокладка траншей, трубопроводов, дорог и другие работы по освоению новых территорий существенно нарушают естественный режим поверхностных и подземных вод, влияя на состояние лесных массивов. Воздействуют на леса и водохранилища, особенно в прибрежной зоне, где наблюдается повышение уровней грунтовых вод, подтопление пониженных участков и общее изменение водного баланса территории.

✓ Наибольший вклад в работу лесного хозяйства вносит гидрологическое обеспечение лесосплава. Устройство запаней, определение объемов заготовки леса к сплавному сезону требуют надежной нормативной информации. Подготовка к предстоящей весне, распределение людей и техники по сплавным участкам, ремонт щитов и подсыпка дамб на многочисленных водохранилищах, предназначенных для продления периода сплавных работ, — все эти мероприятия трудно осуществить и, тем более, оптимизировать без прогнозов половодья. В процессе лесосплава большую пользу приносит оперативная информация об уровнях на перекатах и краткосрочные прогнозы водности на период спада половодья.

В некоторых районах Советского Союза лесосплав проводится во время прохождения дождевых паводков. Очевидно, гидрологическое обслуживание в таких условиях требует особой четкости по причине скоротечности явления. Следует иметь в виду, что, к примеру, молевой сплав выполним в полной мере лишь на спаде уровней, когда наблюдается более или менее четко выраженный уклон водной поверхности от берегов к стрежню. При многомодальном дождевом паводке непредсказанное резкое повышение уровней приводит к выбрасыванию леса на берега, что заметно удорожает сплавные работы и затягивает период сплава. Подлинным бичом молевого сплава являются потери разнесенного по пойме и обсохшего леса, а также топляка.

✓ Отдельный вид гидрометеорологического обеспечения лесосплава представляет собой нормативная, оперативная и прогностическая информация о ветре и волнении для выполнения без-

аварийной проводки плотов и лихтеров по озерам, водохранилищам, устьям крупных рек и морским заливам. В плоты связывается в среднем от 3,5 до 5 тыс. т. древесины. Иногда на огромных сибирских реках в плотях транспортируется до 24 тыс. м<sup>3</sup> древесины.

На основе нормативной гидрометеорологической информации определяются маршруты транспортировки, по возможности наиболее короткие и отвечающие условиям наименьшего вредного воздействия ветра и волнения, в том числе и прибойной волны. Дополнительными критериями оптимальности маршрута следует назвать наличие и число мест укрытий для плотосоставов, а также наименьшую сложность траектории маршрута, вызывающую необходимость трудно выполнимых маневров.

Нормативная информация о ветре (направление и скорость) и расчеты волнения определяют показатели опасности проводки плотов и лихтеров. Кроме того, учитываются морфометрические характеристики, в частности глубины и изрезанность берегов. Принимается во внимание и типичная для конкретных водоемов конструкция плотов. Например, на озере Ильмень проводка плотов запрещена при ветре более 5 м/с, на Ладожском озере — более 7 м/с. Штормовым ветром при буксировке плотов с конструкцией повышенной прочности является скорость 8—11 м/с.

Штормовое предупреждение имеет следствием простой плотосостава в исходном пункте или в укрытии, что само по себе приносит немалые материальные потери, которые, однако, не идут в сравнение с ущербом при аварии и повреждении плотосостава или лихтера. Ложная тревога, то есть неоправдавшееся предупреждение о показателе опасности, сопряжена с потерями ввиду ненужного простоя. Непредсказанная опасность чревата огромным ущербом, возможными человеческими жертвами и неблагоприятными социальными последствиями. Нетрудно предугадать, что функция потерь  $R(y, l)$  обладает крайней асимметрией. Эта функция неразностна, поскольку чем больше высота волны и скорость фактически наблюдаемого ветра, тем тяжелее последствия одной и той же по величине погрешности прогноза.

Опыт деятельности гидрометбюро, обслуживающих лесосплав, показывает, что труд гидрометеорологов здесь тяжел, сопряжен со стрессовыми перегрузками и неизбежными неудачами. Но в целом ЭЭ такой работы весьма существенна: по данным Л. А. Хандожко [20] только экономический эффект предупреждений (т. е. чисто прогностической информации) на крупном озере или водохранилище примерно в 6 раз превышает затраты на содержание гидрометбюро.

### 11.5. Рыбное хозяйство

Развитие рыбного хозяйства, повышение продуктивности рек, озер и прудов осуществляются на основе надежной нормативной

информации о режиме водных объектов, их морфологии, ледотермике, гидрохимических особенностях. Получение такой информации не всегда простая задача. При создании водохранилищ многие характеристики могут быть определены лишь расчетным путем или по аналогии с существующими водоемами. Необходимо подчеркнуть, что интересы рыбного хозяйства принимаются во внимание уже на стадии проектирования гидротехнических сооружений. Отметка нормального подпорного уровня выбирается, в частности, с учетом приемлемой для рыбников площади мелководий (литорали), а уровень мертвого объема должен обеспечивать достаточное «жизненное пространство» для зимовки здесь рыбы, при этом приобретают особую важность сведения о толщине льда и химическом составе воды в зимний период, в частности о содержании растворенного кислорода.

✓ Нужды рыбного хозяйства накладывают определенные ограничения на режим регулирования стока гидроузлом. Например, весенний попуск должен быть достаточно мощным и длительным. На волжских ГЭС такой попуск с постоянным большим расходом называют «выходом на полку». Нельзя резко прекратить попуск, а затем продолжить его: идущая на нерест рыба в ряде случаев воспринимает временный спад водности как окончание половодья и скатывается к устью.

В принципе создание водохранилищ благоприятно сказывается на рост уловов многих пород рыбы. Но особо ценной рыбе (осетровым, лососевым) при этом, как правило, наносится ощутимый урон. Сократить до минимума ущербы, оптимизировать технические характеристики сооружений, параметры водохранилища и правила его эксплуатации — вот неполный перечень задач, решаемых при участии гидрологов.

✓ Гидрологическое обеспечение рыборазведения в искусственных прудах, кроме вышеперечисленных сведений, состоит в воднобалансовой и теплобалансовой информации, позволяющей создавать наиболее благоприятные условия для выживания и роста товарной рыбы.

+ ✓ На крупных акваториях гидрометеорологическое обеспечение рыбаков включает в себя прежде всего прогнозы ветра и волнения. При сработке водохранилищ до низких горизонтов в ряде случаев приобретают важность данные об уровнях воды, определяющих глубины у причалов. Часто в эту информацию вносят существенные нарушения различного рода денивеляции уровней, на мелководных водоемах — это прежде всего сгонно-нагонные колебания.

Информация о термике водоемов, в частности о распределении температуры на поверхности озерных и морских акваторий, является хорошей основой для поиска районов лова.

Обеспечение подледного лова, дающего весомую долю годовой продукции, включает весь комплекс информации о состоянии водного объекта (характеристика припая, толщина и прочность

льда, наличие трещин и воды на льду, направление и скорость ветра, вероятность взлома припая и т. д.). Потеря снастей, используемых для подледного лова, при непредвиденном взломе припая на озере, водохранилище или морском заливе приносит весьма ощутимый ущерб хозяйству. Очевидны и социальные последствия возможной при этом гибели рыбаков. В последние годы аэрокосмические методы сбора сведений о ледотермике водных объектов, как это показано в параграфе 3.3, существенно улучшили гидрологическое обеспечение рыбного хозяйства, повысив оперативность информации и увеличив акватории, охваченные одновременными наблюдениями.

Оценка полезности работы мелкотоннажного рыболовного флота на озере, водохранилище или морском заливе может быть выполнена по следующей схеме. Доход от реализации рыбы рассчитывается по формуле

$$\theta = \gamma \sum_{\varepsilon=1}^{\varepsilon=\eta} \Pi_{\varepsilon} D_{\varepsilon}, \quad (11.10)$$

где  $\Pi_{\varepsilon}$  — закупочная стоимость конкретного  $\varepsilon$ -го продукта (руб/т);  $D_{\varepsilon}$  — объем добычи в т;  $\gamma$  — доля суммарной стоимости продукта, составляющая чистый доход.

Затраты на добычу и реализацию продукции примерно равны 50% ее стоимости, следовательно,  $\gamma=0,50$  [14].

Простои судов из-за штормовой погоды или вследствие неоправдавшихся предупреждений о сильном ветре и волнении уменьшают полезность  $\theta$  на величину

$$F_c = \sum_{\mu=1}^{\mu=\lambda} \sum_{t=1}^{t=T} I_c G_{\mu} N_{\mu t}, \quad (11.11)$$

где  $T$  — число суток простоя;  $I_c$  — стоимость содержания судна в сутки, отнесенная к тонне грузоподъемности (по данным [23]  $N_c=0,238$  руб/(т·сут.));  $G$  и  $N$  — соответственно, тоннаж и количество судов  $\mu$ -го типа;  $\lambda$  — число типов судов.

Авария судна  $\mu$ -го типа, а тем более, катастрофа чревата ущербами  $F_{a, \mu}$  и  $F_{r, \mu}$ . Ущерб  $F_{a, \mu}$  включает перерасход горючего в штормовом рейсе, потерю снастей и т. д.;  $F_{r, \mu}$  — ущерб в результате гибели судна  $\mu$ -го типа. Реальная полезность эксплуатации рыболовного флота за рассматриваемый период (сутки, месяц, квартал, сезон, навигация, год) с использованием штормовых предупреждений оценивается величиной

$$\theta_{\hat{y}l}^* = \theta_{\hat{y}l} - F_{\hat{c}y l} - \sum_{\mu=1}^{\mu=\lambda} (F_{a\mu} \hat{y}l + F_{r\mu} \hat{y}l), \quad (11.12)$$

где  $\theta_{\hat{y}l}$  и  $F_{\hat{c}y l}$  — доход от реализации рыбы и ущерб от простоев при ориентировке на прогнозы погоды;  $F_{a\mu} \hat{y}l$ ,  $F_{r\mu} \hat{y}l$  — потери

в результате аварий и гибели судов  $\mu$ -го типа при неудачных прогнозах или в случае слишком поздних штормовых предупреждений.

Базовым вариантом может служить оценка экономической целесообразности следования принципу работы «по погоде» (своего рода ориентировка на инерционный прогноз  $Y'$ ). Полезность такой стратегии составляет

$$\theta_{y'l}^* = \theta_{y'l} - F_{cy'l} - \sum_{\mu=1}^{\mu=\lambda} (F_{a\mu y'l} + F_{г\mu y'l}). \quad (11.13)$$

Сравним полезности  $\theta_{\hat{y}l}^*$  и  $\theta_{y'l}^*$ . В связи с более частыми выходами на лов не исключено, что добыча рыбы при работе «по фактической погоде» окажется несколько больше (т. е. возможно, что  $\theta_{y'l} \geq \theta_{\hat{y}l}$ ). Учет штормовых предупреждений может несколько увеличить ущерб от простоев ( $F_{\hat{c}yl} > F_{cy'l}$ ). Решающими факторами в пользу следования рекомендациям гидрометеорологов является резкое уменьшение наиболее крупного источника потерь, а именно ущерба от аварий и гибели судов, т. е.

$$\sum_{\mu=1}^{\mu=\lambda} (\bar{F}_{a\mu \hat{y}l} + \bar{F}_{г\mu \hat{y}l}) \ll \sum_{\mu=1}^{\mu=\lambda} (\bar{F}_{a\mu y'l} + F_{г\mu y'l}),$$

где  $\bar{F}$  — среднестатистические ущербы.

Для расчета потерь  $R(y, l)$  значения  $\theta_{\hat{y}l}^*$  и  $\theta_{y'l}^*$  сравниваются с  $\theta_y$  — полезностью работы рыболовного флота в условиях точного знания будущей погоды, а следовательно, без аварий по гидрометеорологическим причинам.

Ориентировочная оценка ЭЭ может быть произведена при рассмотрении лишь двух видов гидрометеорологических условий: погода такова, что выход судов  $\mu$ -го типа на лов разрешен ( $X_\mu$ ) или запрещен ( $Z_\mu$ ). Очевидно, при таком допущении упрощается вычисление условных и безусловных вероятностей осуществления  $X_\mu$  и  $Z_\mu$ , а также расчет частоты предвычисления той или иной комбинации «решение — погода».

Обращение к опыту обслуживания морского рыболовства [14] позволяет сделать вывод: не всегда стратегия полного доверия прогнозу целесообразна. Например, летом рыболовецкие хозяйства Камчатки предпочитают работать «по фактической погоде», но весной и осенью учет штормовых предупреждений обязателен. В то же время, стремление избежать катастроф существенно ослабляет категоричность указанного принципа хозяйствования.

## 11.6. Железнодорожный и автомобильный транспорт

Вынесенные в заголовок параграфа виды транспорта занимают соответственно первое и второе места по объему перевозок в нашей стране, а по перевозкам пассажиров с 1971 года автотранспорт даже обгоняет железную дорогу. Модернизация транспорта приобретает всеобъемлющий характер. Улучшаются дороги, совершенствуются материалы для дорожного покрытия и методы выполнения этих работ, на железных дорогах внедряется эксплуатация бесстыковых рельсовых путей, положенных на железобетонные шпалы. Все виды дорог оборудуются современными системами энергообеспечения и сигнализации. Все больше перегонов, где железнодорожные составы идут со скоростью до 100 км/ч. Между Москвой и Ленинградом начато регулярное движение специального пассажирского поезда, преодолевающего это расстояние за четыре с половиной часа (на отдельных участках трассы скорость поезда составляет 180—200 км/ч).

Эксплуатация огромной сети дорог сопряжена с постоянным преодолением многих трудностей, в том числе гидрометеорологического характера. Разливы рек повреждают насыпи, дорожное полотно и мосты, снежные лавины прерывают движение на горных трассах, а гололедица приводит к дорожно-транспортным происшествиям. Тяжелые последствия вызывает возникновение селевых потоков, сокрушающих все виды коммуникаций. Зависимость состояния дорог от гидрометеорологических условий, даже при отсутствии каких-либо ООЯ, можно иллюстрировать таким примером. Каждая плеть бесстыковых рельсов имеет длину 800 м. Во многих районах страны годовой диапазон колебания температуры рельсов превышает 100°С (в солнечную погоду температура рельсов подчас превышает на 15—20° температуру воздуха). В результате длина плети существенно изменяется в течение года. Для каждой плети имеется комплекс уравнильных рельсов (четыре вида); наиболее длинные рельсы из этого комплекта (12 м 50 см) ставят зимой, а самые короткие (12 м 38 см) — летом. Разрыв рельсов в сильные морозы, «выброс» в жару влекут за собой остановку движения.

Простои на автомобильных и железных дорогах сопряжены с серьезными материальными потерями. По положению на середину семидесятых годов, простой грузовика в течение часа обобщается потерей дохода в размере 1,5 руб.; ущерб в результате часового простоя четырехосного вагона составляет 93 коп. [14]. Однако это далеко не полная оценка неблагоприятных последствий простоя. Кроме замедления оборачиваемости подвижного состава не выполняется основная функция транспорта: не доставляются в срок грузы, не перевозятся люди. Примерная оценка [14] социального ущерба в расчете на один пассажиро-час (железная дорога) дает цифру 0,30 руб. Несмотря на то, что этот ущерб составляет, как видим, лишь треть потерь из-за простоя

четырехосного вагона, социальные последствия опоздания пассажиров очень велики. Обращаясь к вопросу о «цене» задержки грузов в пути, ограничимся лишь минимальной оценкой ущерба — 5 коп/(т·ч). Итак, суммарный убыток часового опоздания грузового поезда примерно равен 180 руб., а пассажирского — 270 руб.

Регулярного учета сокращения простоев на дорогах в результате использования гидрометеорологических сведений до настоящего времени, к сожалению, не ведется. Отдельные оценки полезности прогнозов и предупреждений показывают, что благодаря этой информации перерывы в движении сокращаются на 10—20%.

Опыт многих научных и проектных институтов и организаций показывает, как велико значение гидрометеорологической информации в современном дорожном строительстве. Трасса БАМа в сегодняшнем ее состоянии — результат усилий представителей многих профессий, среди которых гидрологи выступали в роли первопроходцев. Освоение необжитых районов, прилегающих к трассе БАМа, и в дальнейшем потребует огромного объема нормативной и иной информации гидрометеорологического характера.

#### 11.7. Промышленность. Коммунальное хозяйство

Важность нормативной и оперативной информации об ООЯ, угрожающих городам, поселкам и предприятиям, очевидна. Оценка ЭЭ таких сведений достаточно проста. Более сложным является анализ полезности гидрологической информации в повседневной городской жизни и в работе предприятий. Опыт зарубежных стран показывает, как имеющиеся в наличии гидроресурсы при достижении определенного уровня развития хозяйства начинают сдерживать рост промышленного производства и предоставления бытовых благ населению. Оптимизация программ развития в этом случае осуществляется непосредственно на основе углубленного гидрологического анализа и хотя бы оценочных прогнозов. Первостепенным в таком анализе следует признать исследование интенсивности антропогенного воздействия на режим водоемов и водотоков. Нарастающие неблагоприятные изменения качества воды могут потребовать проведения мероприятий по изменению технологии производства, совершенствованию методов очистки сточных вод и т. п.

Заблаговременно представленная контролирующим органам гидрологическая информация позволяет существенно уменьшить неизбежные затраты средств и ослабить неблагоприятные социальные последствия загрязнения вод. В ряде случаев возникает необходимость переброски некоторого количества воды из отдаленного водоема или водотока для восполнения водных ресурсов традиционного источника водоснабжения или стимулирования процессов самоочищения этого источника. Первым опытом осуществления в нашей стране крупного проекта, направленного преимущественно на решение задач водоснабжения населения и

промышленности, явилось создание канала имени Москвы (1937 г.).

Система гидрологического обеспечения коммунального хозяйства при эксплуатации разветвленной сети водоемов и водотоков в пределах Москвы и пригородов служит примером для подобных служб. Оперативная информация с обширной сети действующих гидрологических постов, круглосуточный дистанционный контроль уровней, температуры и химического состава воды (последнее — по нескольким показателям) в важнейших створах — все это, наряду с мероприятиями по очистке сточных вод, позволило изменить, казалось необратимый, процесс загрязнения Москвы-реки. Косвенным подтверждением достигнутого успеха служит факт проведения международных состязаний по подледному лову рыбы на московских водохранилищах.

Участие гидрологов в поддержании чистоты московских акваторий не ограничивается информационными функциями. Известны случаи (1966, 1970, 1981, 1982 гг.), когда при высоких половодьях сотрудники ГМЦ СССР совместно с эксплуатационными службами канала имени Москвы производят необходимые расчеты по разработке схемы маневрирования затворами гидроузлов для пропуска по городским акваториям искусственно созданной «крутой» волны. В результате таких мероприятий донные отложения оказываются вынесенными за пределы Москвы, где процессы самоочищения воды более интенсивны. Оценка ЭЭ гидрологического обеспечения этих натурных экспериментов может быть выполнена путем сопоставления затрат на дополнительные расчеты и оперативное обслуживание в процессе пропуска волны со стоимостью соответствующего объема землечерпательных работ на городских водоемах и водотоках. Нелишне напомнить, что земснаряды сами по себе не служат украшением столичных вод — следовательно, социальный эффект здесь налицо.

В целом, перечень гидрологической информации для промышленности и коммунального хозяйства определяется прежде всего нуждами водоснабжения и водоотведения; это оперативные и прогностические сведения об уровнях воды; о шуге, забивающей решетки водозаборов; о подвижках льда и ледоходе, способных нанести вред сооружениям; о температуре и химическом составе воды.

8.13 В последние годы все большее внимание уделяется повышению качества гидрологического обоснования градостроительных проектов. В связи с недостатком свободных земельных участков в черте города интенсивно происходит застройка пойм внутригородских водотоков. Иногда проекты такого освоения пойм создаются без учета особенностей процессов, определяющих морфологию речных долин. Известны случаи тяжелейших просчетов в этой области. После спрямления и некоторого расширения русла в ходе благоустройства набережных на подходе к пристаням

возникли отмели и осередки; сужение русла приводило к местным размывам, оползням и разрушению набережных.

8.13 Огромными материальными потерями чреват недоучет русловых деформаций при создании водозаборов. В ряде крупных городов, через несколько лет после ввода в действие новых насосных станций, водозаборы оказываются вне береговой зоны — в сотнях метров (иногда и дальше) от реки.

Чрезвычайно остро стоит вопрос о гидрологическом обосновании проектов застройки берегов создаваемых водохранилищ.

Оценка потенциальной ЭЭ нормативной и прогностической информации о руслопойменных процессах и о переформировании берегов водохранилищ приводит к впечатляющим результатам, подчас это шести- и даже девятизначные суммы.

Резервы повышения эффективности производства в нашей стране очень велики. Реализация этих резервов во многом зависит от правильного учета гидрометеорологических факторов. Жизнь ставит все новые задачи перед нашими науками. За десятилетие с середины семидесятых годов расширилась сфера деятельности гидрометеорологов, ведающих оценкой качества воды и воздуха. В территориальных УГКС созданы Центры контроля загрязнения природной среды, укомплектованные квалифицированными кадрами вплоть до специалистов гидробиологов и программистов.

Увеличение объемов водопользования и водопотребления, усложнение процесса поиска стремительно накапливающейся информации вызвали необходимость коренной перестройки структуры Государственного водного кадастра. Перерабатываются СНиПы, создаются Стандарты на производство основных видов гидрометеорологических работ. Все это повышает ЭЭ деятельности гидрометеорологов. Уже сейчас эта деятельность отличается высокой рентабельностью. Одна из ближайших задач наших наук и оперативной практики подразделений Госкомгидромета СССР — реализация потенциальной полезности гидрометеорологической информации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Г. А. Метод определения коррелятивных зависимостей и его применение для вероятностного прогноза и расчета сезонного стока. — Труды ГГИ, 1951, вып. 31 (85), с. 5—53.
2. Аполлов Б. А., Калинин Г. П., Комаров В. Д. Курс гидрологических прогнозов. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 419 с.
3. Багров Н. А. Об экономической полезности прогнозов. — Метеорология и гидрология, 1966, № 2, с. 3—12.
4. Бахтиаров В. А. Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. — Л.: Гидрометеиздат, 1961. — 430 с.
5. Быков В. Д., Васильев А. В. Гидрометрия. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 448 с.
6. Васильев А. В., Шмидт С. В. Водно-технические изыскания. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 368 с.

7. Гидрометеорология и народное хозяйство. — М.: Гидрометеониздат, 1976. — 352 с.
8. Горбунов Ю. В. Эффективность использования долгосрочных прогнозов притока воды в крупные водохранилища. — М.: Гидрометеониздат, 1969. — 10 с.
9. Горошков И. Ф. Гидрологические расчеты. — Л.: Гидрометеониздат, 1979. — 431 с.
10. Жуковский Е. Е. Метеорологическая информация и экономические решения. — Л.: Гидрометеониздат, 1981. — 304 с.
11. Калинин Г. П., Курилова Ю. В., Колосов П. А. Космические методы в гидрологии. — Л.: Гидрометеониздат, 1977. — 184 с.
12. Колбасов О. С., Корзун В. И., Каверин А. М. Новое в водном законодательстве. — М.: Юридическая литература, 1972. — 96 с.
13. Крюков В. Ф. Методы территориального обобщения статистических характеристик минимального стока рек (на примере бассейна Дона). — Труды ГГИ, 1974, вып. 213, с. 107—126.
14. Монокрович Э. И. Гидрометеорологическая информация в народном хозяйстве. Экономические выгоды и методы оценки. — Л.: Гидрометеониздат, 1980. — 176 с.
15. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3, часть 1. — Л.: Гидрометеониздат, 1962. — 194 с.
16. Попов Е. Г. Гидрологические прогнозы. — Л.: Гидрометеониздат, 1979. — 256 с.
17. Рождественский А. В., Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии. — Л.: Гидрометеониздат, 1974. — 424 с.
18. Руководство по оперативному гидрометеорологическому обслуживанию народнохозяйственных организаций, ч. 1. — М.: Гидрометеониздат, 1962. — 141 с.
19. Угренинов Г. Н. Долгосрочные прогнозы гидрографа полезного притока и их экономическая эффективность. — Труды ГМЦ, 1974, вып. 142, с. 57—74.
20. Хандожко Л. А. Метеорологическое обеспечение народного хозяйства. — Л.: Гидрометеониздат, 1981. — 228 с.
21. Чеботарев А. И. Общая гидрология (воды суши). — Л.: Гидрометеониздат, 1975. — 544 с.
22. Шестакова Р. А. Оптимальная гидрологическая сеть на современном этапе комплексного использования водных ресурсов. Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда, т. II. — Л.: Гидрометеониздат, 1976. — с. 46—56.
23. Эффективность гидрометеорологического обслуживания народного хозяйства. — Л.: Гидрометеониздат, 1973. — 164 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                   | Стр. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>1. ВВЕДЕНИЕ</b> . . . . .                                                                                                      | 3    |
| 1.1. Предмет изучения . . . . .                                                                                                   | 3    |
| 1.2. Место гидрометеорологии в сфере материального производства                                                                   | 4    |
| <b>2. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ГОСКОМГИДРОМЕТА СССР, МИНИСТЕРСТВ И ВЕДОМСТВ</b> . . . . .              | 6    |
| <b>3. РЕГУЛЯРНАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ</b> . . . . .                                                                         | 11   |
| 3.1. Гидрологическая сеть наблюдений . . . . .                                                                                    | 11   |
| 3.2. Информационные посты . . . . .                                                                                               | 14   |
| 3.3. Новые виды гидрологической информации . . . . .                                                                              | 15   |
| <b>4. ЭПИЗОДИЧЕСКАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ</b> . . . . .                                                                      | 16   |
| <b>5. ЭКСТРЕННАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ</b> . . . . .                                                                         | 17   |
| <b>6. РЕЖИМНАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ</b> . . . . .                                                                           | 19   |
| <b>7. НОРМАТИВНАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ</b> . . . . .                                                                        | 19   |
| <b>8. ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ</b> . . . . .                                                                    | 21   |
| 8.1. Виды прогностической информации . . . . .                                                                                    | 21   |
| 8.2. Формы выпуска долгосрочных гидрологических прогнозов . . . . .                                                               | 24   |
| 8.2.1. Первая форма представления долгосрочных гидрологических прогнозов . . . . .                                                | 25   |
| 8.2.2. Вторая форма представления долгосрочных гидрологических прогнозов . . . . .                                                | 26   |
| 8.2.3. Третья форма представления долгосрочных гидрологических прогнозов . . . . .                                                | 27   |
| 8.2.4. Четвертая форма представления долгосрочных гидрологических прогнозов . . . . .                                             | 29   |
| 8.3. Формы выпуска краткосрочных гидрологических прогнозов . . . . .                                                              | 29   |
| 8.3.1. Первая форма представления краткосрочных прогнозов . . . . .                                                               | 29   |
| 8.3.2. Вторая форма представления краткосрочных прогнозов . . . . .                                                               | 29   |
| 8.3.3. Третья форма представления краткосрочных прогнозов . . . . .                                                               | 30   |
| 8.3.4. Четвертая форма представления краткосрочных прогнозов . . . . .                                                            | 30   |
| 8.3.5. Пятая форма представления краткосрочных прогнозов . . . . .                                                                | 30   |
| 8.4. Предупреждения об угрозе наступления ООЯ . . . . .                                                                           | 31   |
| 8.5. Гидрологические прогнозы на основе аэрокосмической информации                                                                | 32   |
| 8.6. Рекомендации по учету или использованию ожидаемого состояния водных объектов в деятельности народнохозяйственных организаций | 33   |

|                                                                                                                                                               | Стр.      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>9. ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВЕННОГО РЕШЕНИЯ НА<br/>ОСНОВЕ НОРМАТИВНОЙ И ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОР-<br/>МАЦИИ . . . . .</b>                                    | <b>34</b> |
| 9.1. Понятие о методе статистических решений . . . . .                                                                                                        | 34        |
| 9.2. Стохастическая сущность природных процессов . . . . .                                                                                                    | 34        |
| 9.3. Понятие о «потерях» . . . . .                                                                                                                            | 35        |
| ✓ 9.4. Функции потерь . . . . .                                                                                                                               | 36        |
| ✓ 9.5. Свойства функций потерь . . . . .                                                                                                                      | 37        |
| ✓ 9.6. Критерии оптимизации хозяйственных решений . . . . .                                                                                                   | 39        |
| 9.7. Минимизация средних потерь . . . . .                                                                                                                     | 41        |
| 9.8. Применение хозяйственных стратегий, отличных от байесовой . . . . .                                                                                      | 42        |
| ✓ 9.9. Матрица потерь . . . . .                                                                                                                               | 43        |
| ✓ 9.10. Матрица условных вероятностей . . . . .                                                                                                               | 44        |
| ✓ 9.11. Оптимизационный расчет в матричной форме . . . . .                                                                                                    | 45        |
| <b>10. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИ-<br/>ЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА (ЭЭ)</b>                                                     | <b>49</b> |
| 10.1. Потенциальная полезность гидрометеорологической информации                                                                                              | 49        |
| 10.2. Общая схема расчета ЭЭ . . . . .                                                                                                                        | 50        |
| ✓ 10.3. Оценка повторяемости хозяйственного решения . . . . .                                                                                                 | 52        |
| 10.4. Полная ЭЭ методов прогнозирования . . . . .                                                                                                             | 53        |
| 10.5. ЭЭ использования нормативной информации . . . . .                                                                                                       | 54        |
| <b>11. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВ-<br/>НОСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЗ-<br/>ЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА . . . . .</b> | <b>56</b> |
| 11.1. Энергетика . . . . .                                                                                                                                    | 56        |
| 11.2. Водный транспорт . . . . .                                                                                                                              | 65        |
| ✓ 11.3. Водное хозяйство и мелиорация . . . . .                                                                                                               | 68        |
| ✓ 11.4. Сельское и лесное хозяйство, лесосплав . . . . .                                                                                                      | 68        |
| ✓ 11.5. Рыбное хозяйство . . . . .                                                                                                                            | 71        |
| ✓ 11.6. Железнодорожный и автомобильный транспорт . . . . .                                                                                                   | 75        |
| 11.7. Промышленность. Коммунальное хозяйство . . . . .                                                                                                        | 76        |
| <b>ЛИТЕРАТУРА . . . . .</b>                                                                                                                                   | <b>78</b> |

**ГЕННАДИЙ НИКОЛАЕВИЧ УГРЕНИНОВ**

**ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА**

Учебное пособие

Редактор *З. Б. Ваксенбург*

Корректор *Л. В. Ломакина*

Сдано в набор 18.03.86. Подписано в печать 31.12.86. М-15356  
Формат бумаги 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага тип. № 2. Лит. гарн. Печать высокая.  
Печ. л. 5,1. Уч.-изд. л. 5,0. Тираж 700 экз. Темплан 1986 г., поз. 257.  
Зак. 182. Цена 20 коп.  
ЛПИ им. М. И. Калинина. 195251, Ленинград, Политехническая ул., 29.

Типография ВСОК ВМФ

