**КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. АЛЬ–ФАРАБИ**

**М.Х. САРСЕНБАЕВ**

**ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ: ПРОБЛЕМЫ, ОЦЕНКА, УПРАВЛЕНИЕ**

*Учебное пособие*

**Алматы 2015**

**Содержание**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | стр. |
|  | **Введение** | 3 |
| 1 | **Гео – биосфера и деятельность человека** | 5 |
| 1.1 | Вода и её проблемы | 5 |
| 1.2 | Окружающая среда и её проблемы | 6 |
| 1.3 | Экология – наука о взаимосвязях в мире живых существ | 9 |
| 2 | **Вода и её ресурсы** | 11 |
| 2.1 | Современные водные проблемы. | 11 |
| 2.2 | Водные ресурсы и водообеспеченость отдельных территорий | 13 |
| 2.3 | Статистические и возобновляемые водные ресурсы. | 15 |
| 3 | **Оценка антропогенных факторов речного стока** | 17 |
| 3.1 | Научно методические основы оценки хозяйственной деятельности в речных бассейнах | 17 |
| 3.2 | Оценка всего комплекса антропогенных факторов хозяйственной деятельности | 20 |
| 3.2.1 | Речные водосборы горных рек | 20 |
| 3.2.2 | Бассейны крупных равнинных рек | 21 |
| 3.2.3 | Равнинные водосборы средних рек | 22 |
| 4 | **Методы оценки влияния на речной сток отдельных видов антропогена** | 25 |
| 4.1 | Русловое регулирование рек | 25 |
| 4.2 | Орошение земель и возвратные воды в речных бассейнах | 28 |
| 4.3 | Агролесомелиоративные мероприятия в бассейнах рек | 32 |
| 4.4 | Осушение болот и заболоченных земель | 35 |
| 4.5 | Влияние лесных насаждений на речной сток | 37 |
| 4.6 | Урбанизация, промышленное и коммунальное водопотребление | 39 |
| 5 | **Регулирование стока** | 43 |
| 5.1 | Основные положения теории регулирования стока | 43 |
| 5.2 | Виды регулирования стока | 46 |
| 5.3 | Показатели регулирования стока | 53 |
| 5.4 | Основы методов расчета регулирования стока | 54 |
| 6 | **Проблемы управления водными ресурсами** | 58 |
| 6.1 | Задачи управления водными ресурсами | 58 |
| 6.2 | Районирование и планирование комплексного использования и охраны речного стока | 60 |
| 6.3 | Критерии водной независимости и безопасности речного стока Казахстана | 64 |
| 6.4 | Управление водными ресурсами | 67 |
|  | **Заключение** | 70 |
|  | **Литература** | 72 |

**ВВЕДЕНИЕ**

По прогнозам многих учёных человечеству угрожает мрачное будущее. В конце концов, человечество, численность которого намного возрастёт, обеднеет и будет жить в ещё более неблагоприятной, чем сегодня, окружающей среде.

В начале 2006 года на земном шаре было официально зарегистрировано 6,5 млрд. людей. Некоторое ученые полагают, что непрекращающийся рост населения на планете и влияние этого фактора на положение в беднейших странах и их городах представляет наибольшую опасность. Так, огромные города с населением свыше 30 млн. человек не будут редкостью. Контраст между богатством и бедностью еще больше обострится как по доходам, так и по обеспечению продуктами питания, дефицит которых уже сейчас ощущается в странах третьего мира. Численность страдающих от недоедания с 600 млн., в настоящее время, поднимется до 3 млрд. Примерно 90 % всех детей будут рождаться в бедных по уровню жизни районах Земли.

Американские исследователи нарисовали ещё более страшную картину конца XXI века. Если рост населения будет оставаться таким же бурным, как сейчас, то численность человечества может увеличиться до 30 млрд. человек. Такое количество людей наша планета не сможет прокормить.

В этом случае, производство продуктов питания не сможет поспевать за ростом численности населения и всё больше будет отставать от него. Цены на продукты питания вырастут многократно. В океане и морях будут вылавливаться всё меньше рыбы. Накопление двуокиси углерода в воздухе, кислотные дожди, нарушение защитного озонового слоя в атмосфере, потепление климата, промышленное загрязнение водных источников, количественное уменьшение водных источников и их объёмов ─ все эти явления принесут с собой огромные проблемы, в глобальных масштабах. Кроме того, эрозия почв и вырубка лесов приведут к потере пятой части всех полезных площадей суши, экономика всех видов производства начнёт деградировать. Кроме того, чрезмерное увеличение химическими удобрениями и средствами защиты растений также скажется на качественном состоянии продуктов питания, а следовательно на здоровье людей. Т.е. Как пишут учёные, «несмотря на то, что по абсолютным цифрам выработка продукции будет выше, человечество будет беднее, чем сейчас». Однако, все что было сказано выше является **предупреждением человечеству** и его не надо рассматривать как пророчество.

В своей работе немецкий ученый Хефлинг Г. (1990 г.) выразил огромную тревогу и боль за нашу природу, которая, по его мнению, находится в большой опасности. Среди шести, так называемых «бомб замедленного действия» на нашей планете, на первое место он поставил **воду**, подчеркнув, что её гибель – это наша гибель и гибель всей планеты, и только на последнее шестое место он поставил – атомную бомбу. Поэтому, одним из важнейших вопросов третьего тысячелетия являются – охрана, управление и рациональное использование наиболее чувствительного звена природных ресурсов – воды.

В данной работе изложены и оценены все стороны влияния хозяйственной деятельности на водные ресурсы как и в глобальном, так и в регионально аспекте, а также рассмотрены методы управления для водохозяйственных территорий.

Автор надеется, что данная работа будет полезна для специалистов практического профиля, занимающимися вопросами комплексного использования водных ресурсов, для научных сотрудников и проектировщиков в области гидроэкологии и водного хозяйства, а также для студентов бакалавриата и магистратуры соответствующих специальностей.

Автор выражает особую признательность доценту Л.Ю. Чигринец и старшему преподавателю Ж.А. Жанабаевой кафедры «Метеорологии и гидрологии», а также специалисту Данабаеву Р.К. непосредственно принявший участие в технической подготовке данной работы.

**1 ГЕО − БИОСФЕРА И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА**

**1.1 Вода и её проблемы**

Значение воды люди поняли уже много тысячелетий назад. Первые поселения человека размещались близ воды, люди активного использовали воду в своей жизнедеятельности. Как и в современном индустриальном обществе, главным фактором экономики высокоразвитых древних цивилизаций было удовлетворение потребностей в воде. Поэтому, первые писаные законы человечества – это были законы о воде. Еще за 4000 лет до нашей эры у шумеров был разработан подробный регламент орошения полей. Это первый известный нам письменный, юридический документ в истории человечества.

Древние гидротехники уже тогда заботились об экономии воды. Драгоценная влага предусмотрительно накапливалась в высоко расположенных бассейнах, своего рода «водонапорных башнях», и играли важную роль в водоснабжении античных городов. Трубы, отводящие воды из таких резервуарах располагались на различных высотных уровнях. Выше всего укладывались трубы, снабжавшие частные и богатые дома, ниже устанавливались трубы, подводящие воду к общественным зданиям (больницам, баням и т.д.), а ещё ниже – трубы, питавшие общественные фонтаны на улицах и площадях. Таким образом, когда иссякал запас воды в резервуарах, автоматически прекращалось водоснабжение частных домов, а общественные и уличные потребители продолжали получать воду.

Следует отметить, что уже тогда люди понимали, что ресурсы чистой воды ограничены, и за потребление и за потребление различных объёмов воды следует платить соответственно. Для этого были изобретены специальные стандартные насадки на трубы (краны), на которые устанавливались казённые пломбы. Чем больше диаметр насадки, тем больше расход потребляемой воды, тем больше оплата. То есть, это был простой способ нормировать расход воды, подобно современному счётчику.

Кроме того, в Древнем Риме существовали ватерклозеты (туалеты), где применяли не чистую, как сейчас, а уже использованную воду из ванн. Поэтому нас не удивляет знаменитое древнегреческое изречение: «Самое лучшее – это вода, лучше, чем Олимпийские игры, лучше, чем золото».

История человечества гласит, что дефицит водных ресурсов способен привести к государственным конфликтам. Так в третьем тысячелетии до новой эры шумерские города вели междоусобные войны за оросительную воду междуречья Тигра и Евфрата.

К большому сожалению, подобные конфликтные ситуации, а также межгосударственные претензии за водные ресурсы трансграничных рек имели место в XX столетии и продолжаются в XXI веке. Как правило, это аридные и засушливые регионы с огромным дефицитом пресной воды – Северная Африка, Ближний и Средний Восток, Средняя Азия и Казахстан. Кроме того, недостаток в чистой воде во второй половине прошлого столетия стали испытывать уже и развитые страны Западной Европы, а также США и Мексика.

Отметим, что этот вопрос не снимается с повестки сегодняшней действительности. В одном из своих визитов в Казахстан президент Узбекистана Ислам Каримов, касаясь водной проблемы в Центрально–Азиатском регионе, заявил: «…ситуация может обостриться до такой степени, что есть вероятность того, что всё это приведёт не только к противостоянию, но и к войне».

Отсюда − **состояние, перспективы, экономические риски в обеспеченности пресной водой** всех заинтересованных государств является одним из ключевых вопросов, стоящих перед человечеством в XXI веке. Так, по данным ООН, сегодня в мире от дефицита воды страдают более двух миллиардов людей. Таким образом, вода стремительно становится одним из самых **дефицитных природных ресурсов**.

В связи с этим, человек используя воду **как** **носителя жизни** на Земле, обязан повсеместно упорядочить все виды вмешательства в естественный круговорот воды и одновременно предъявить жесткие требования к различным видам потребления водных ресурсов.

На сегодняшний день, среди множества мероприятий в процессе потребления человеком природных ресурсов, одним из важнейших элементов экологических задач – является охрана и регулирование использования воды.

**1.2 Окружающая среда и её проблемы**

В 60-х годах прошлого столетия американский ученый Пол Эрлих писал: ─ «Наша окружающая среда ─ единственная в своём роде «**кожа**» из почвы, воды и газообразной атмосферы, минеральных питательных веществ и живых организмов, покрывающая планету». Следует отметить, что планета Земля отличается от других планет наличием **биосферы** ─ области активной жизни, охватывающей нижнюю часть атмосферы, гидросферу и верхнюю часть литосферы, живые организмы и сферу их обитания, связанные и взаимодействующие друг с другом. Современное учение о биосфере разрабатывалась в трудах выдающегося русского и советского естествоиспытателя энциклопедиста академика В.И. Вернадского. Суть его учения в том, что существует постепенный переход **биосферы в ноосферу**, что является областью взаимодействия природы и общества, где разумная человеческая деятельность становится главным фактором развития. По мнению академика Н. Моисеева «переход в эпоху ноосферы будет трудным и болезненным процессом перестройки организованной структуры общества, воспитания новой морали и нравственности». Т.е. сегодня мы можем лишь говорить о том, что у человека только растёт **сознание** ответственности за сохранение природы и её рациональное использование. Но от сознания до правильного **«экологически безопасного» поведения** – большой путь, который будет пройден только в том случае, если мы начнём глубже понимать существующие проблемы и одновременно научимся распознавать сложные взаимосвязи, а также будем стремиться к верным решениям. Для этого необходима **перестройка мышления и действия**, а также большая сила политического убеждения. Это запрет на использование ядерного оружия в атмосфере, океане, на суше (Невада – Семипалатинск), ликвидация ракет средней и малой дальности, запрет на биологическое и химическое оружие.

Тем не менее, несмотря на вышесказанное, в некоторых странах сегодня, ведётся усиленная разработка ядерного оружия (Иран, северная Корея). Кроме того многие государства обладают биологическим и химическим оружием.

В настоящее время воздействие человека на окружающую среду приняло угрожающие масштабы. Для улучшения этого положения необходимы целенаправленные и продуманные действия. Ответственная и действенная политика по отношению к окружающей среде будет возможна только в том случае, если мы накопим надёжные данные о современном состояние среды, приобретём новые знания о взаимодействии важных экологических факторов, если разработаем новые методы уменьшения и предотвращения вреда, наносимого природе человеком. Для этого в первую очередь необходимы мониторинг эколого-природных данных, а также разработка на их основе физических и математических моделей.

Тот же Пол Эрлих отмечает, что главной причиной нарушения экологического равновесия между природой и человеком является «**демографический взрыв**». Он отмечает что «кожа» нашей планеты заболела «раком». Отсюда возникают новые вопросы: «Излечима ли эта болезнь? Устранимы ли последствия тяжелых экологических нарушений окружающей среды?».

Многие серьёзные специалисты отвечают на этот вопрос отрицательно. Они указывают на распространившиеся повсюду «**опухоли**»: огромные нефтяные пятна на поверхности океанов; масса отравленных рыб в реках; вырубки тропических и хвойных лесов; вымывание и эрозия почвы; огромные скопления мусора и отходов; гибель растительности и исчезновение отдельных представителей животного мира; исчезновение вековых запасов подземных вод и некоторых водоёмов; количественное и качественное уменьшение речного стока; смог над городами; сокращение количества и объёмов ледников; изменение климата и т.д. Кроме того, своё негативное влияние на эти проблемы оказывают прошедшие и существующие войны (Вьетнам, Афганистан, Ближний Восток, Северная Африка и т.п.).

Человек, являющийся частью природы, своими руками и своим поведением вызвал такие «раковые опухоли». Сегодня человечество использует около 45 % поверхности суши. Но его численность растёт. Отсюда третий вопрос: «А что будет дальше?»

Кроме демографического взрыва, существует опасность и от человеческой изобретательности. Возникают новые технологические новинки, оказывающие действия на круговороты и системы природы. Последствия такого вмешательства часто оказываются самыми нежелательными – человек во многих случаях просто ещё не познал сложные природные механизмы, в которые он вмешивается.

Возникает следующий вопрос: «Что же делать?». Ответ может быть только один – человечество уже сейчас должно делать все возможное, чтобы не уничтожить самих себя.

Распространённое мнение о том, что нарушение окружающей среды – это порождение новейшего периода, **совершено не верно**! Человек разрушал природу уже в самые древние исторические периоды, о которых имеются некоторые свидетельства. Ещё на заре своего развития человек, будучи собирателем и охотником, проникал в существующую систему природы. Посеяв первое зерно для получения зерен уже в большом числе, человек начал систематическое преобразование природы. Используя первые простые законы природы, он увеличил запас пищи для себя и своего потомства. Поэтому неудивительно, что первые демографические взрывы происходили там, где условия для примитивного сельского хозяйства было особенно подходящими – в долинах рек: в Китае (река Янцзы), на Ближнем Востоке (реки Евфрат и Тигр), в Египте (нижнее течение Нила).

Например, плодовитые земли Вавилона и Египта могли прокормить так много людей, что там возникали первые мощные государства, которые своими армиями смогли покорить соседние территории. Но вскоре сельское хозяйство там стало падать. Историки объясняют, что падение ассиро-вавилонской цивилизации связано с расширением площадей орошения и засолением земель междуречья Евфрата и Тигра. Само же засоление территорий было вызвано неправильным орошением. (VI в веке до нашей эры, период царствования Навуходоносора II и его жены − египетской царевны). Кроме того, вырубка лесов во время Древнего Рима привело к образованию карстовых процессов, эрозии почвы и уменьшению плодородия земель (Югославия, район Далмация).

Другие экологические бедствия древности – свирепые эпидемии в античных городах (чума, холера), которые часто повторялись и даже в средние века. Причина тому – антисанитарные условия в поселениях человечества. (Ближний Восток, Европа).

В недавние времена европейские колонизаторы в захваченных ими странах засеивали огромные площади одними и теми же культурами, что способствовало неограниченному размножению вредителей.

Затем, на рубеже XIX и XX столетий в развитых странах возникли крупные, тесно заселённые промышленные районы, где и сегодня наблюдается глубокие нарушения природной среды. И эти нарушения продолжают развиваться и до настоящего времени. Как яркий пример тому «воробьиный» бум в Китае в период «культурной революции».

Это лишь немногие исторические и существующие примеры. Но ясно одно, что на протяжении тысячелетий своего развития человек постоянно увеличивал свои технологические возможности и усиливал вмешательство в природу. И только одна область познания была в запущении – это наука о взаимодействиях в природе, наука о экологическом равновесии.

**1.3 Экология – наука о взаимосвязях в мире живых существ**

На живое существо влияют различные факторы. Это воздействие со стороны неживой окружающей среды – климата, почвы, водного баланса, которые называются абиотическими факторами, и воздействия живой среды – растений, животных*,* человека, которые называются биотическими факторами. Например, абиотическая среда в климатическом факторе это – свет, температура, влажность, ветер и т.д., а в факторе водного баланса – атмосферные осадки, речной сток, испарение, водные свойства почвы, грунтовые воды и т.д.

Наука о взаимосвязи и взаимодействии различных факторов среды с организмами называется экологией, от греческого слова «ойкос» – «дом». Экология изучает связи живых существ между собой, их отношение с окружающей средой, а также влияние разных факторов на живые организмы. Сформировалась экология в недрах биологической науки. Впервые термин «экология» был употреблён в 1866 г. в работе немецкого биолога Э. Геккеля «Всеобщая морфология организмов», где было отмечено, что «экология – это наука, с одной стороны, о познании экономики природы, а с другой стороны – о взаимосвязи и взаимоотношениях, существующих между собой средой (органической и неорганической) и живыми существами».

За прошедшие годы экология обогатилась новыми данными и почти все современные науки внесли свой посильный вклад в это учение. Но самой первой наукой, которая совместно с биологией изучало окружающую среду, была география, имевшая свои методы исследования и предмет изучения – компоненты природы с человеком в центре. Поэтому сложилась интересная ситуация, когда каждая из современных наук считает «экологию» своей наукой.

Но современное, широко распространённое понимание экологии – **это комплекс наук о взаимоотношениях природы и общества**. Тем не менее, экологические познания человека, в настоящее время, существенно отстают от его возможностей рационального (оптимального)вмешательства в природу, что и приводит к разрушению естественных природных взаимосвязей.

Сегодня, экология с её систематическим и комплексным подходом должна привлекаться для проверки всех экономических и социальных мер, имеющих отношение к окружающей среде, чтобы выявить их последствия, как для природы, так и для человека. Все планируемые мероприятия по охране природы, например по поддержанию чистоты воздуха, борьбы с шумом, очистке воды, рассолению почв и т.п., должны ещё до их осуществления подвергаться детальному рассмотрению, с тем, чтобы знать, как эти мероприятия подействуют друг на друга, какие последствия могут возникнуть.

**Экосистема – это единственный природный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания** (атмосфера, почва, водоём и т.п.), в котором все живые и косные компоненты связаны между собой обменом вещества и энергии. Понятие экосистема применяется к природным объектам различной сложности и размеров: океан или небольшой пруд; тайга или березовая роща. Она состоит из 4-х элементов:

1. Неживая (абиотическая среда) – воды, минеральные вещества, газы, неживые органические вещества, гумус;

2. Продуценты или производители (живая, биотическая среда) – способные из неорганических материалов строить органические вещества и органические соединения, которые идут в пищу животным и человеку, а кислород используется для дыхания (например зелёные растения – фотосинтез);

3. Консументы или потребители. Организмы, питающиеся только растительностью, – консументы 1-го порядка, а животные, питающиеся только или преимущественно мясом, – консументы 2-го порядка;

4. Редуценты (деструкторы) или разлагатели. Эта группа организмов разлагает остатки отмерших существ (растений или животных), превращая их снова в исходную неживую среду – воду, минеральные вещества, CO2, которые в свою очередь пригодны для продуцентов, и которые снова неживое сырьё превращают в органические вещества. Редуценты – это черви, личинки насекомых, почвенные бактерии, грибы и др. микроорганизмы.

Естественно ненарушенные экосистемы стремятся к равновесию. Состояние равновесия – это взаимодействие биотических и абиотических факторов среды. Например, экосистема водоема. Равновесие здесь будет сохраняться пока не изменятся внешние факторы: приток и отток воды, поступление питательных веществ для биотической среды, солнечная энергия и т.п.

**2 ВОДА И ЕЁ РЕСУРСЫ**

**2.1 Современные водные проблемы**

Вода – наиболее распространённое вещество на Земле. В отличии от других природных ресурсов вода, до недавнего времени, считалось бесплатным даром природы и лишь в последние годы приобрела ранг экономического ресурса, использование которого необходимо планировать на длительную перспективу. Вода динамична, находиться в постоянном движение, её количество и качество меняется в пространстве и времени. В отличие от других природных ресурсов вода ежегодно возобновляется в процессе её круговорота на Земле. Несмотря на это, водная проблема не только существует, но и с каждым годом становится серьёзней, и приобретает всё больше экономическое, социальное и экологическое значение. Безвозвратное водопотребление и угрожающее загрязнение природных вод вносят весьма существенное, порой необратимые изменения водного баланса и экологических условий уже во всё более обширных территорий. Кроме того, охрана воды от истощенья и загрязнения ложится тяжелым бременем на промышленное и сельскохозяйственное производство, удорожая стоимость конечной продукции для потребителя.

В наши дни водная проблема уже выходит за национальные рамки и приобретает постепенно глобальный характер. Для разработки мероприятий по рациональному использованию и охране вод от загрязнений и истощения в своё время по линии ЮНЕСКО была учреждена обширная Международная гидрологическая программа (70-е годы прошлого столетия), в которой участвовали учёные более 100 стран всего мира.

В США, где водная проблема также обострилась во второй половине XX столетия, было издано 7 законов, разработана специальная программа, на реализацию которой было потрачено 3 млрд. долларов. Но, как отметил в своём докладе американский учёный Ральф Надер, это программа «потерпела жалкое фиаско».

Поэтому решение водной проблемы это не единственная компания. Оно должно базироваться на международном сотрудничестве с использованием планомерных усилий, рассчитанные на десятки лет и огромные затраты средств.

Для оценки водных ресурсов используются два понятия: **статические** или вековые запасы и **возобновляемые** водные ресурсы. Смешивать эти категории водных ресурсов нельзя.

Статические естественные запасы пресных вод суши – это воды, единовременно находящиеся в водных объектах: озёрах, реках, ледниках, подземные воды. Статические запасы измеряют в объёмных единицах, т.е. в км3, и при неизменных климатических условиях их можно считать постоянными.

К возобновляемым водным ресурсам относят те воды, которые ежегодно восстанавливаются в процессе круговорота воды на Земле, т.е. водообмена между сущей и океаном. Возобновляемые водные ресурсы измеряются в объёмных величинах, отнесённых к единице времени – м3/с или км3/год. Например, испарение с поверхности земного шара составляет 577 тыс. км3/год, из них испарение с поверхности Мирового океана равно 505 тыс. км3/год, а с поверхности материков (суши) − 72 тыс. км3/год. Количество атмосферных осадков выпавших на поверхность океана составляет 458 тыс. км3/год, а на поверхность суши 119 тыс. км3/год. В обоих случаях суммарный круговорот воды на земном шаре оценивается в 577 тыс. км3/год.

Возобновляемые водные ресурсы являются динамической частью статических запасов и представляют собой воду, которая ежегодно сбрасывается в Мировой океан или во внутренние бессточные водоёмы.

Разность ежегодного испарения с поверхности Мирового океана (577 тыс. км3/год.) и осадков, выпавших на поверхность Мирового океана (458 тыс. км3/год), составляет 119 тыс. км3/год и представляет собой источник влаги, переносимый с океана на континенты, и который ежегодно питает все воды суши – реки, озёра, ледники, подземные воды и т.п.

Таким образом, океан, ежегодно принимая речной сток, возобновляет этот сток количественно и восстанавливает его качественно.

Однако, в настоящее время, в процессе хозяйственного использования значительная доля речных и озёрных вод теряется безвозвратно, одновременно ухудшается качество воды. Особенно велики безвозвратные потери воды в орошаемом земледелии, являющегося основным водопотребителем. Промышленность и коммунальное хозяйство, как потребители, являются главными виновниками качественного ухудшения водных ресурсов. Ежегодный рост численности населения, а также объёмов производства и безвозвратного водопотребления – усугубляют и без того сложную картину водообеспеченности территорий пресными водами.

Дефицит пресной воды стал одним из основных, серьёзных вызовов третьего тысячелетия и уже привело в ряде регионов Земного шара к резкому ухудшению экологического состояния природной среды, усыханию озёрных и речных экосистем, росту заболевания населения. Пример тому современное состояние Арала и прилегающих к нему территорий.

Сложности водообеспечения населения и экономики остро ощущаются в странах, где имеет место дефицит водных ресурсов. К числу таких стран относится и Казахстан, большая часть территории которого расположена в зоне недостаточного увлажнения. Кроме того, в этой стране крайне неравномерно распределены по территории поверхностные и подземные воды.

Поэтому оценка и решение проблем рационального использования и охраны водных ресурсов являются одной из важнейших сегодняшних задач специалистов-гидроэкологов, климатологов, географов и других, усилия которых должны быть направлены на разработку рекомендаций по улучшению водообеспечения страны, совершенствованию основ правового регулирования и экономического механизма водопользования, межгосударственных водных отношений, углублению региональных отношений, разработке стратегии национальной безопасности в области водных ресурсов.

Таким образом, на основе вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. вода – важнейший природный стратегический ресурс и неотъемлемая часть любой экосоциальной системы;

2. дефицит водных ресурсов остро ощущается многими субрегионами и странами и становится причиной социально-экономической напряжённости;

3. вопросы водообеспечения и загрязнения водных ресурсов выходят за рамки сугубо национальных проблем одной страны;

4. возникающие противоречия при использовании трансграничных источников воды могут негативно влиять на состояние региональной и национальной безопасности.

**2.2 Водные ресурсы и водообеспеченость отдельных территорий**

Вода в качестве природных ресурсов обладает существенными особенностями. Поэтому вопросы о том, что считать за меру водных ресурсов и что принять за меру водообеспеченностикакой – либо территории, не так просто, как кажется на первый взгляд. В отличие от других видов природных ресурсов (уголь, железо, нефть и др.), запасы, которых учитываются при разработке планов экономического и социального развития, в отношение водных ресурсов – количественные и качественные критерии до настоящего времени четко не выработаны.

По мнению многих специалистов, водные ресурсы представляют собой запасы поверхностных и подземных вод какой–либо территории. Однако, в большинстве случае под водными ресурсами крупных регионов и государств обычно понимают лишь величину годового стока рек.

В последние годы всё чаще с тревогой пишут о прогрессивном истощении многих видов природных ресурсов. С беспокойством говорят о ресурсах пресных вод, которые ещё совсем казались неисчерпаемыми. Появился специальный термин водная проблема для обозначения сложных вопросов, связанных с удовлетворением растущих потребностей в воде. Казалось бы, в отличие от других природных ресурсов, вода ежегодно возобновляется в процессе её круговорота на Земле. Восстанавливается при этом её качество. Но, несмотря на это, водная проблема не только существует, но и с каждым годом становится всё более серьёзней и приобретает ранг государственной и международной значимости.

Для Казахстана вышеназванные факторы с конца 60-х годов прошлого столетия превратились в жизненно важные проблемы. В частности, проблема Арала и Балкаша, а в последнее время и Каспия, загрязнение рек и водоёмов солями и промышленными отходами, засоление орошаемых земель и болезни людей, ухудшение снабжения и обеспечения населённых пунктов водой (особенно в центральной её части) и многое другое. В последние годы к ним добавилось новая напряженность с соседними странами (Китай, Кыргызстан, Узбекистан, Россия), которая вызвана межгосударственным вододелением трансграничных рек. Поэтому, на сегодня для Казахстана крайне важным является решение современных государственных задач – **водная независимость** **и** **водная безопасность** республики.

Согласно расчётов крупнейших ученых-гидрологов общий объём воды в гидросфере составляет примерно 1,39 млрд. км3, из них Мировой океан - 96,4 % или 1,34 млрд. км3, пресные воды 36,7 млн. км3 или 2,65 % от общего объёма гидросферы (ледники – 25,8 млн. км3; пресные подземные воды – 10,5 млн. км3; озёра пресные – 91 тыс. км3; водохранилища 6 тыс. км3; вода в атмосфере – 13 тыс. км3; вода в реках – 2 тыс. км3; вода в болотах – 11 тыс. км3). Из этого следует, основную массу общих запасов воды на Земле (96,5 %) составляют солёные воды, а крайне незначительные объёмы пресной воды в масштабе земного шара сегодня создают острую проблему пресных вод, которая с каждым годом становится всё более серьёзней.

Воды, находящиеся в твёрдой фазе – в покровных льдах, главным образом в Антарктиде составляют 68,7 % запасов пресных вод. В северном полушарии большие запасы пресных вод сосредоточены в Гренландии 2,34 км3 или 6,70 % общего запаса пресных вод, что в 55 раз больше объёма годового стока всех рек Земного шара, или в 88 раз больше годового стока рек северного полушария.

На суще речной сток формируется в объёме примерно 44,7 тыс. км3, из них 42,6 тыс. км3 впадает в океаны. Таким образом, 2,1 тыс. км3 «теряется» на суше, в том числе 1,0 тыс. км3 на испарение во внутренних или бессточных областях и 1,1 тыс. км3 в приморских низменностях (орошения, фильтрация, водоснабжение и т.п.).

Заметим, что согласно современным представлениям потребность в пресной воде, включая забор на орошение, только для территорий расположенных примерно от 35° до 50°северной широты, в ближайшее время может составить от 3 до 4 м3 в год на одного человека. Поэтому не надо удивляется тому, что в 60–х годах прошлого столетия в Европе стали рассматриваться вопросы экспорта и торговли по водоводам пресной водой, как жизненно важного объекта.

Территориальные различия в водообеспеченности отдельных регионов настолько велики, что в настоящее время всплывают совершенно новые аспекты государственных взаимоотношений, и, в частности, относительно воды как экономического и сырьевого ресурса.

В 80-е годы прошлого века удельная обеспеченность речным стоком заметно снизилась. Главные причины этому: 1) рост населения; 2) некоторое уменьшение стока в результате климатических факторов; 3) рост антропогенного воздействия.

Таблица 1. Водные ресурсы стран СНГ (80-е годы)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Республика | Площадь, тыс. км2 | Суммарные водные ресурсы, км3/год | Водные ресурсы, мм /год |
| Россия | 17075 | 4242 | 248 |
| Украина | 604 | 210 | 351 |
| Белоруссия | 208 | 59,2 | 285 |
| Узбекистан | 448 | 104,6 | 233 |
| Казахстан | 2717 | 113,0 | 41,7 |
| Киргизия | 198 | 49,1 | 248 |
| Таджикистан | 143 | 86,5 | 604 |
| Туркмения | 488 | 68,0 | 139 |
| Молдавия | 33,7 | 11,4 | 339 |
| Латвия | 63,7 | 34,5 | 542 |
| Литва | 65,2 | 25,2 | 387 |
| Эстония | 45,1 | 16,7 | 372 |
| Грузия | 69,7 | 62,4 | 894 |
| Армения | 29,8 | 9,4 | 315 |
| Азербайджан | 86,6 | 30,3 | 350 |

По данным С.Л. Вендрова, на конец XX столетия количество речного стока на одного жителя Земли составит (прогноз) не более 60 % того количества, которым обладал человек в 1970 году, т.е. примерно 7,8 тыс. м3 (для территории бывшего СССР это цифра составляла в среднем – 13,9 тыс. м3 на одного человека). По-видимому, для Казахстана в ближайшие годы, с учетом возникающих проблем трансграничных рек, данный показатель может быть в пределах 3-4 тыс. м3, а возможно и меньше.

**2.3 Статические и возобновляемые водные ресурсы**

В настоящее время для оценки водных ресурсов используются два понятия: 1) статические или вековые запасы; 2) возобновляемые водные ресурсы. Их смешивать нельзя, т.к. они имеют различные значения в природе и поэтому необходимы различные подходы к их использованию.

К статическим естественным запасам пресных вод суши относятся воды, единовременно находящиеся в водных объектах: реках, озёрах, ледниках, водоносных слоях, почво-грунтов. Их измеряют в объёмах - м3 или км3.

К возобновляемым водным ресурсам относят те воды, которые ежегодно восстанавливаются за счёт круговорота воды на Земле, т.е. в процессе водообмена между сушей и океаном. Их измеряют в м3/с, м3/сутки или км3/год.

Согласно последним данным в круговороте воды на Земле участвует примерно 577 тыс. км3 воды ежегодно.

Таблица 2. Водный баланс Земного шара (тыс. км3/год)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Элемент баланса | Океан | Суша | Сумма |
| Испарение | 505 | 72 | 577 |
| Осадки | 458 | 119 | 577 |

Разность испарения с поверхности океана и осадков равна 47 км3/год и представляет собой тот источник, который ежегодно питает все воды суши – реки, озёры, ледники, подземные воды. Таким образом, океан, как гигантский испаритель, является основным поставщиком пресной воды на континенты, т.е. он не только возобновляет речной сток количественно, но и качественно. И если бы человек прекратил бы сбрасывать в реки сточные воды, то вода в реках со временем стало бы первозданно чистой.

Если заимствовать терминологию из области экономики, то статические запасы – это постоянный капитал, а возобновляемые водные ресурсы – процент с основного капитала.

Следовательно, возобновляемые водные ресурсы являются **динамической частью** статических запасов и представляют собой воду, ежегодно сбрасываемую с суши в Мировой океан или во внутренние бессточные водоёмы.

Поэтому для эффективного использования водных ресурсов в будущем необходимо иметь надёжное представление о тех изменениях в гидрологическом режиме рек, которые уже произошли под влиянием антропогенных факторов, а также о тех последствиях, к которым могут привести планируемые на водосбросах мероприятия в будущем и которые могут коренным образом преобразовать условия формирования и сток речных вод. В связи с этим проблема оценки влияния хозяйственной деятельности на гидрологический режим, водные ресурсы и водный баланс, еще более становится актуальной и, в настоящее время, уже стоит в центре внимания современной гидрологической науки.

**3 ОБЩИЕ АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ РЕЧНОГО СТОКА**

**3.1 Научно методические основы оценки хозяйственной деятельности в речных бассейнах**

В зависимости от наличия исходной информации, физико-географических особенностей водосбора, вида хозяйственной деятельности все методы количественной оценки влияния антропогенных факторов на гидрологический режим могут быть объединены в три группы:

1) методы, основанные на исследовании многолетних колебаний стока в опорных гидростворах в совокупности с анализом изменений метеорологических факторов и развития хозяйственной деятельности в бассейнах;

2) водно-балансовые методы, предусматривающие раздельный учёт водозаборов и сбросов, изменений элементов водного и теплого балансов в бассейне реки в результате воздействия каждого вида хозяйственной деятельности в отдельности;

3) методы активного эксперимента.

В первой группе методов производится изучение многолетних колебаний гидрологических характеристик в замыкающих створах в зависимости от природных факторов и количественная оценка степени воздействия хозяйственной деятельности. Эти методы позволяют произвести оценку влияния не только всего комплекса факторов хозяйственной деятельности на гидрологический режим, но и выявить роль главных отдельных факторов на изменение речного стока в замыкающих створах. К числу последних следует отнести: агротехнические мероприятия, оросительные и осушительные мелиорации, русловое регулирование, вырубка лесов на водосборах, урбанизация территорий. Сюда следует отнести: а) методы сравнения характеристик стока за различные периоды; б) метод аналогии; в) методы восстановления стока по естественным стокообразующим факторам в бассейне.

а) Методы сравнения характеристик стока за различные периоды. В настоящее время используются несколько способов оценки влияния антропогенных факторов на речной сток.

- Из многолетнего ряда наблюдений выбираются периоды с существенно различным уровнем хозяйственной деятельности в бассейне, а затем производятся сравнение осреднённыхза эти периоды величин стока в замыкающем створе совместно с каким-либо метеорологическимфактором, чаще всего с осадками. Это наиболее простой способ, но даёт хорошие результаты только для зон достаточного и избыточного увлажнения, где коэффициент корреляции *R* связи *Qгод = f(Х)* равен 0,8÷0,95. Для районов неустойчивого и недостаточного увлажнения эта связь очень слабая *R* = 0,25÷0,5 и этот способ применять нельзя, т.е. он не правомерен.

- Учёт большого числа факторов (естественных и антропогенных), действующих на сток, производится путём использования математических методов. Например, метод линейной множественной корреляции, который по экспериментальным данным позволяет разработать многофакторную математическую модель изменения гидрологических характеристик.

б) Метод аналогии. Восстановление естественного гидрологического режима на исследуемой реке, где имеет место хозяйственная деятельность, производится по рекам-аналогам или так называемым контрольным водосборам, имеющим ненарушенный режим стока. Для восстановления используется парная корреляция или строятся графики связи интегральных значений стока в абсолютных величинах или в модульных коэффициентах. Обязательным условием, при этом, является наличие периодов совместных наблюдений, когда водный режим сравниваемых рек был естественным. Однако, сложность выбора аналога в регионах, где имеет место большой антропогенный фактор (южные регионы), не позволяют с большой точностью определить влияние хозяйственной деятельности на речной сток.

в) Восстановление стока по естественным стокообразующим факторам. На водосборе выделяют две зоны: – зону формирования стока, где гидрологический режим естественный; – зону использования стока с замыкающим створом. Затем, сопоставляясток за различные периоды (этапы хозяйственной деятельности), путём построения зависимостей стока для этих зон определяется влияние антропогенного фактора. Эти способы использовались в Средней Азии, Казахстане, Кавказе для бассейнов рек, где широко развито орошение.

Вторая группа – основана на изучении изменений элементов водного, теплого и солевого балансов, проходящих в бассейнах рек под влиянием хозяйственной деятельности (урбанизация, орошение и осушение земель, распашка территорий, создание водохранилищ и т.д.). В настоящее время по выше отмеченным антропогенным факторам разработаны методы оценки влияния на сток рек хозяйственной деятельности. В общем виде они были даны в курсе «Водно-балансовые исследования».

Балансовые методы, при наличии детальных экспериментальных данных, позволяют вскрыть физическую сущность процессов, происходящих под влиянием антропогенных факторов, оценить значение и роль каждого из этих факторов в отдельности, рассчитать изменение гидрологического режима и дать прогноз на будущее. На основе балансовых методов можно разработать и использовать математическое моделирование процессов, происходящих на водосборе. В этом случае предполагаются следующие этапы:

− детальное изучение процессов натуре, создание банка исходных данных;

− составление уравнений, описывающих изменение в пространстве и во времени элементов водного баланса;

− реализация этих уравнений на ЭВМ и расчёты отдельных параметров по натуральным данным;

− численный эксперимент, т.е. расчёт на ЭВМ по разработанной схеме для оценки влияния метеорологических и антропогенных факторов при различных начальных и конечных условиях.

Третья группа **–** методы активногоэксперимента заключается в следующем. На водосборе, где имеются длительные и надёжные ряды наблюдений за гидрологическими и метеорологическими характеристиками, производится искусственное изменение одного из факторов подстилающей поверхности (вырубка или посадка леса, изменение агротехники и т.п.), влияние которого на гидрологические характеристики и водный баланс хотят выяснить. Затем, в течении ряда лет проводят наблюдение за элементами водного баланса. По разности элементов водного баланса до и после проведения экспериментального мероприятия определяют влияние этого фактора.

Метод активного эксперимента достаточно эффективен для выявления роли факторов подстилающей поверхности на изменение речного стока. Но этот метод дорогостоен, длителен во времени, и может применяться только на малых водосборах, результаты исследований по которым не всегда являются репрезентативными для средних и крупных рек. Однако он может применяться в районах, где проводятся одновременно и на больших площадях какие – то коренные изменения в землепользовании. Например, освоение целинных земель в Северном Казахстане (распашка земель, строительство водохранилищ и прудов).

В заключении, исходя из имеющихся научных источников, можно отметить следующее:

1) Изученность проблемы оценки влияния хозяйственной деятельности на водной режим в целом пока ещё не совсем достаточна для надёжного прогноза всех его изменений. Выводы по влиянию антропогенных факторов на речной сток у различных авторов нередко крайне противоречивы;

2) Несмотря на большое разнообразие методических приёмов, многие из них малоэффективны, недостаточно совершены и не дают объективных результатов;

3) Исследования должны проводиться на многолетних материалах в наиболее обжитых регионах с учетом лет различной водности и динамики качества воды в реках. Результаты таких оценок являются основой планирования водохозяйственных мероприятий, направленных на устранение количественного и качественного истощения водных ресурсов;

4) В связи с крайне неравномерным распределением речного стока по территории и несоответствием его с размещением производительных параметров (население, промышленность, сельское хозяйство – что очень характерно и важно для Казахстана) – **территориальное перераспределение** водных ресурсов становится необходимой реальностью, как в настоящем, так и в будущем;

5) Вопросы оптимального регулирования и управления водными ресурсами являются логическим продолжением исследований по проблеме влияния человека на водные ресурсы.

Решение всех этих вопросов становится главной задачей гидрологов и гидрологической науки уже сегодня. Особенно это важно, как отмечалось выше, для республики Казахстан, где проблемы водных ресурсов стоят крайне остро.

**3.2. Оценка всего комплекса антропогенных факторов хозяйственной деятельности**

По характеру воздействия на гидрологические процессы все факторы хозяйственной деятельности можно условно объединить в две большие группы:

1) факторы, обусловленные русловым регулированием и непосредственными изъятиями воды из русловой сети на хозяйственные нужды (создание и эксплуатация водохранилищ, крупные водозаборы и сбросы, переброски стока и т.п.);

2) факторы не связанные с изъятием воды их рек, но изменяющие условия формирования стока и другие элементы водного баланса за счёт преобразования подстилающей поверхности в бассейнах рек (агротехнические и лесомелиоративные мероприятия, осушение заболоченных земель, урбанизация и т.п.).

На крупных водосборах, как правило, одновременно действует большое число факторов, относящихся к обеим группам, которые находятся в сложном взаимодействии друг с другом. Однако в зависимости от физико-географических условий и особенностей хозяйственного освоения районов обычно можно выделить главные антропогенные факторы, а также вспомогательные, имеющие подчинённое значение. Например, в бассейнах рек Сырдарья, Кура, Терек и др. главным фактором является орошение, а подчиненными − улучшение условий орошения путём регулирования стока водохранилищами, осушительные мелиорации, агротехника и обработка почв, уничтожение влаголюбивой дикорастущей растительности, урбанизация населённых пунктов, рост водопотребления на промышленные и коммунальные нужды.

Данные методы основаны главным образом на использовании материалов сетевых гидрометеорологических наблюдений за многолетний период, в которых можно выделить периоды естественного и нарушенного режимов. Основная идея здесь – восстановление естественных характеристик гидрологического режима, а затем путём сравнения их с наблюденными (бытовыми) характеристиками произвести количественную оценку влияния всего комплекса антропогенных факторов без разделения на отдельные составляющие.

**3.2.1 Речные водосборы горных рек**

К таким водосборам относятся водосборы рек Средней Азии, Казахстана, Кавказа, сток которых формируется в горах, а используется на равнинах и низменностях. Обычно можно довольно надёжно выделить **зону формирования**, где значения сезонного и годового стока определяются только метеорологическими факторами и являются естественными, а также **зону использования** стока, где происходит расходование водных ресурсов на непродуктивное испарение и хозяйственные нужды.

Интегральная оценка изменения стока в замыкающем створе производится:

1) методом водного баланса зоны использования стока за различные периоды;

2) методом анализа за многолетний период зависимостей стока от основных определяющих факторов.

В первом случаевыделяется зона использования стока, периоды с различными уровнями хозяйственной деятельности, составляются уравнения водного баланса зоны, по которым определяются потери стока на естественное испарение и на безвозвратное водопотребление за счёт антропогенных факторов. В общем случае уравнение водного баланса стока в среднем за многолетний период имеет вид:

*ΣУпр + Х – ΣУст = Е*; *Е = Енепр. + Ихоз* , (1)

где *ΣУпр* и*ΣУ*ст соответственно объём суммарного стока воды в зону и стока из зоны использования; *Х* – объём осадков в зоне использования; *Е* – объём потерь стока на непродуктивное испарение *Енепр*. и на хозяйственные нужды *Ихоз*.

**Во втором случае** оценка изменений стока в замыкающем створе выполняется путём анализа его колебаний за многолетний период от естественных стокообразующих факторов и хозяйственной деятельности:

*Ур = f* (*Σ Q, X, D*); *Уб* (*Σ Q, X, D, Ихоз* ), (2)

где *Ур* и *Уб* - расчётный и восстановленный сток в замыкающем створе зоны использования за годовой или вегетационные периоды; *ΣQ –* приток стока из зоны формирования*; X* и *D* – соответственно осадки и дефицит влажности воздуха в зоне использования (можно использовать и температуру воздуха); *Ихоз* – комплексный антропогенный фактор, количественно равный потерям стока на хозяйственные нужды.

Отсюда количественная оценка влияния комплекса антропогенных факторов ΔУ за нарушенный период определяется по разности между рассчитанным Ур и бытовым (наблюденным) Уб стоком:

*ΔУ = Ур  – Уб*, (3)

**3.2.2 Бассейны крупных равнинных рек**

Оценка влияния антропогенных факторов равнинных территорий впервые была выполнена для бассейна рек Волги и Днепра. В основу расчётов изменения водных ресурсов этих рек положено то обстоятельство, что сток их в основном формируется в увлажнённой лесной зоне, где антропогенные факторы не оказывают существенного влияния на гидрологический режим поверхностных вод, а безвозвратные потери имеют место в лесостепной и степной частях бассейна. Кроме того, для этих рек имеются длительные (до 90 лет) ряды наблюдений, охватывающие периоды с различным уровнем хозяйственной деятельности.

В целом, оценка изменений годового или сезонного стока в замыкающих створах крупных рек производится по зависимости:

*Ур = (У1, У2, … Уп. Хср  tср)*, (4)

где *Ур* – расчётный годовой или сезонный сток в замыкающем створе, *У1, У2, Уп,* сток рек – индикаторов лесной зоны с естественным режимом, *Хср* и *tср*– среднее количество осадков и средняя температура воздуха по метеостанциям, расположенных в зоне использования стока.

Затем окончательная величина изменения стока под влиянием всего комплекса антропогенных факторов определяется по равенству (3).

**3.2.3** **Равнинные водосборы средних рек**

Для этой группы рек, водные ресурсы которых формируются и используются на всей территории бассейна, выявить изменения стока под влиянием хозяйственной деятельности особенно сложно. В этом случае восстановление стока в замыкающем створе производится по его зависимости только от метеорологических факторов, режим которыхможно считать естественным и независящим от хозяйственной деятельности в бассейне.

В зоне избыточного увлажнения восстановление стока в замыкающем створе довольно надёжно определяется по связям годового стока с осадками, коэффициент корреляции *R* равен 0,8÷0,95.

Для лесостепной и степной зон связь годового или весеннего стока, с каким – то одним метеорологическим фактором, как правило, очень слабая, коэффициент корреляции не превышает 0,5. Поэтому восстановление стока в замыкающих створах выполняется путем использования сложных многофакторных зависимостей. Кроме того, в расчет накладывает свой отпечаток большая естественная изменчивость годового и весеннего стока рек.

Исследования В.З. Родионова показали, что для восстановления весеннего стока средних равнинных водосборов лесостепной и степной зон России и Северного Казахстана по метеорологическим факторам наиболее лучшие результаты дают зависимости вида

*Увес.= f* (*S, Xос, D, tв*), (5)

где *Увес*.− объем весеннего стока; *S* − максимальные снегозапасы в бассейне в предвесенний период; *Xос* − характеристика увлажненности водосбора в осенний период (октябрь-ноябрь предыдущего года); *D* − средний на водосборе дефицит влажности воздуха за июнь-сентябрь предыдущего года; *tв* − средняя температура воздуха за период снеготаяния.

Порядок записи переменных правой части зависимости (5) в общем, соответствует их доле вклада в формировании весеннего стока, и наибольшее значение имеет первая составляющая – максимальные снегозапасы. В большинстве случаев можно ограничиться рассмотрением только первых трех переменных − *S*, *Xо*с, *D*. Для районов с частыми зимними оттепелями необходимо дополнительно включать показатель температуры воздуха за зимний период.

Для естественных многолетних периодов зависимость (5) дает, как правило, хорошие результаты, *R* ≥ 0,80. Это даёт возможность эффективно их применять для восстановления средних за отдельные периоды величин стока в замыкающем створе и определения суммарного воздействия хозяйственной деятельности на водосборе Δ*У*по разности восстановленного (расчётного *УР*) и наблюденного (бытового *Уб*) стока по уравнению (3).

По рассчитанным значениям изменённоговесеннего стока можно оценить величину изменённого годового стока (коэффициент корреляции *R*= 0,90÷0,98):

*Угод* = *f* (*Увес*), (6)

Изложенный пример довольно трудоёмок и, помимо многочисленных расчётов, требует большого объёма гидрологических и метеорологических данных за каждый год. Наибольшие трудности возникают для районов недостаточного увлажнения, где гидрометеорологические факторы могут находиться в самых различных сочетаниях. В этом случае, для водосбросов лесостепной или степнойзоны, имеющих многолетний ряд гидрометеорологических наблюдений, выделяют два периода (естественный и нарушенный), для каждого периода подсчитываются средние значения стока и основные метеорологические факторы в следующем виде:

*I период: Уест, S1, Хос.1.,D1*; *II период: Уест, S2, Хос.2, D2*.

При наличии линейной зависимости стока от определяющих факторов (прямо пропорциональной для *S* и *Хо*с и обратно пропорционально для *D*) величина изменения стока во второй период ΔУ может быть рассчитана по формуле

Δ*У = Ур – Уб = Уест*(Δ*S* · $\frac{S\_{2}}{S\_{1}}$ +  Δ*Xос* · $\frac{X\_{ос.2}}{Х\_{ос.1}}$ + Δ*D* · $\frac{D\_{1}}{D\_{2}}$) *– Уб*, (7)

где Δ*S*, Δ*Xос*,Δ*D*– соответственно доли вклада, который вносят метеорологические факторы в управление множественной регрессии стока вида (5).

Расчёты показали, что величина вкладов в зависимости от физико-географических условий и особенностей водосборов изменяются в широких пределах и могут быть районированы следующим образом:

– реки бассейна Дона: Δ*S*= 0,70;Δ*Xос* = 0,20;Δ*D*– 0,10;

– реки лесостепной зоны правобережья Волги: Δ*S* = 0,50;Δ*Xос* = 0,25;Δ*D*= 0,25;

 – реки равнинных районов Урала, Заволжья, Северного Казахстана: Δ*S* = 0,60; Δ*Xос* = 0,15;Δ*D* = 0,25.

Расчёты, произведенные И.А. Кузником для р. Малый Узень для условного естественного режима (1904-1950 гг.) и нарушенного периода (1951-1972 гг.), показали, что под влиянием хозяйственной деятельности сток реки уменьшился на 22 %. Надо полагать, что на сегодняшний день сток этой реки уменьшился еще больше.

В качестве дальнейшего упрощения данного способа оценки изменений стока И.А. Кузник предложил наиболее трудно определяемые факторы – максимальные снегозапасы и дефицит влажности воздуха за летний период, заменить на суммы зимних и летних осадков. В частности, для реки Малый Узень он установил довольно надёжную связь между годовым стоком, осадками за зимний период и увлажнённостью бассейна реки за летнее-осенний период (*R* = 0,94):

*Угод = f* (*Хзим, Хос*) (8)

**4 МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ НА РЕЧНОЙ СТОК ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ АНТРОПОГЕНА**

**4.1 Русловое регулирование рек**

В результате сооружения водохранилищ происходит изменение объёма стока в замыкающем створа реки (Δ*У*) за счёт изменения суммарного испарения в бассейне (*Е*), а также в результате заполнения чаши водохранилища и увеличения запасов подземных вод (*W*).

*ΔУ = Е + W*, (9)

Величина *Е* является постоянно действующим фактором за все время существования водохранилища, а *W* – представляет собой временные потери, действующие с момента заполнения водохранилища до наступления установившегося режима подземных вод. При этом продолжительность такого периода для крупных равнинных водохранилищ весьма велика и составляет 7-15 лет. Как правило, значения *Е* и *W* бывают наибольшими при сооружении водохранилищ в зонах недостаточного увлажнения: первое – за счет большой разности испарения с воды по сравнению с сушей, а второе – за счет глубокого залегания в естественных условиях уравнений грунтовых вод в районе сооружения водохранилища.

Рассмотрим каждую в отдельности.

1) Объем потерь воды за счет испарения в бассейне складывается из трех составляющих:

*Е = ЕЗ + ЕЗП + ЕНБ*, (10)

где *ЕЗ* – объём потерь с зоны затопления водохранилища; *Е*ЗП – объём потерь с зоны подтопления; *Е*НБ – объём потерь за счёт изменения заливаемости в нижних берегах водохранилища.

Главной составляющей в уравнении (10) является *ЕЗ* (км3), которое определяется площадью затопленной территории *FЗ* (км2), и дополнительным слоем испарения *ЕЗ* с этой территории

*ИЗ =ЕЗ · FЗ · 10– 6*. (11)

Значение *ЕЗ* может быть рассчитана по разности уравненияводного баланса до и после сооружения водохранилища и, в конечном итоге, определяется по формуле:

*ЕЗ = ЕВ  – Х + УЗ*, (12)

где *ЕВ* –испарение с водной поверхности водохранилища; Х – осадки, выпавшие на водное зеркало; *УЗ* – сток с участка долины, на которое распространяется водохранилище.

Величина FЗ вычисляется из выражения:

*FЗ = FВ  – FР*, (13)

где *FВ* – площадь водного зеркала водохранилища; *FР*– площадь водной поверхности реки до создания водохранилища.

Потери с зон подтопления *ЕЗП*(км3) определяется разностью испарения до и после создания водохранилища *ΔЕЗП*с площади подтопленной суши *FПОД.*, обусловленной повышенным уровнем грунтовых вод

*ЕЗП = ΔЕЗП · FПОД. · 10–6*, (14)

При этом Δ*ЕЗП*рассчитывается по разности испарения грунтовых вод до и после создания водохранилищ, значение каждого из которых можно приближенно рассчитать по формуле:

*ЕГР*= (*ЕО – Х*)*a ·e–b·H·ГР*, (15)

где *ЕО* – испаряемость, определяемая по графикам Л.И. Зубенок; *Х* – осадки; а – параметр, учитывающий влияние температурного градиента в верхнем слое почвы; *b* – параметр, зависящих от водопроводящих свойств почвы; *Н·ГР* – разность между глубиной залегания грунтовых вод и глубиной наибольшего распространения корневой системы растительности.

Согласно И.А. Шиколоманову, при отсутствии данных по почвогрунтам, значения параметров *а* и *b* могут быть приближено, приняты соответственно равными 1,0 и 0,5. Метеоданные принимаются по метеостанциям, расположенным в зоне подтопления или вблизи неё.

Площадь подтопленных территорий *FПОД* определяется по проектным данным или по материалам специальных исследований прибрежных зон с глубиной залегания грунтовых вол выше 1-2 м. Данные таких исследований показывают, что площади подтопления не провещают 5-7 % площади водного зеркала, и следовательно, величина потерь стока с подтопленных территорий *ЕЗП*не велика по сравнению с потерями с зон затопления *ЕЗ.*

При отсутствии сведений о площадях подтопления равнинных водохранилищ величины потерь *ЕЗП*ввиду их незначительности могут быть приняты ориентировочно равными 4-10 % от *ЕЗ.*Для горных водохранилищ *ЕЗП*  равно нулю.

Для некоторых речных бассейнов влияние водохранилищ на испарение проявляется и на нижележащих участках в связи с изменением режима и площадей затопления поймы и дельты (Волга, Урал, Кубань, Терек, Сырдарья, Амударья, Или и др.). Величина *ЕНБ*пропорциональна изменению заливаемости Δ(*Т3*), отражающего изменение максимальной площади и площади заливания в результате снижения максимальных расходов и объёмов половодья, за счёт уменьшения площадей затопления. Поэтому, объём потерь *ЕНБ*, как правило, в среднем получается со знаком минус, т.е. регулирование стока в бассейне приводит к уменьшению потерь на испарение на нижележащих участках поймы в дельте реки.

Как отмечает, И.А. Шикломанов по абсолютному значению *ЕНБ*может составлять значительную долю от *ЕЗ* и даже, в отдельных случаях, значительно её превышать.

2) При сооружении водохранилищ объём стока воды *W* в замыкающем створе уменьшается за счёт аккумуляции воды в чаще водохранилища *WАК*и пополнения запасов подземных вод *WПВ*, т.е.

*W= WАК + WПВ* , (16)

Отсюда следует, что затраты на *W* не являются безвозвратными потерями в целом, а представляют собой временные потери стока только в замыкающем створе, которые перераспределились и перешли из одного вида ресурсов в другой, т.е. суммарные водные ресурсы за счёт *W* не уменьшаются.

Значения *WАК* определяютсяпо проектным данным или по фактическому водному балансу водохранилища. В период наполнения водохранилищ величина *WАК*, при отсутствии данных по водным балансам, определяется по формуле:

*WАК = КН ·WОБЩ* (17)

где *КН* – коэффициент степени накопления водохранилища за рассматриваемый период; *WОБЩ* – общий объём водохранилища при НПУ.

Величина *WПВ*складывается из затрат воды на насыщение зоны аэрации ложа водохранилища *WЛВ* и объёмов воды, поступающей в берега *WБВ*, т.е. *WПВ = WЛВ + WБВ*. При этом *WЛВ* (км3) определяется по выражению:

*WЛВ = F3 ∙НЛ ∙μЛ ∙ 10-3 ,* (18)

где *НЛ* – средняя мощность зоны аэрации ложа водохранилища до его сооружения; *FЗ* – площадь затопления; *μЛ* – недостаток насыщения грунта (коэффициент водоотдачи).

Значения *НЛ* для каждого водохранилища определяются по гидрологическим картам, параметры *μЛ*принимаются в зависимости от характеристики грунтов зоны аэрации.

Исследования показали, что потери воды на пополнение запасов подземных вод в прилегающих к водохранилищам землях *WБВ* распространяются на значительные территории и их объёмы зависят, главным образом, от подпора воды в водохранилищах, их длины и объёма, а также от глубины залегания подземных вод и характеристики грунтов.

По рекомендации И.А. Шикломанова величину *WБВ*для крупных равнинных водохранилищ можно ориентировочно оценить по следующей формуле:

*WБВ ≈ 0,5 · КН · Wобщ.· μЛ · НГР 0,6* , (19)

где *НГР* – средняя глубина залегания грунтовых вод на территориях, прилегающих к водохранилищу до его сооружения.

**4.2 Орошение земель и возвратные воды в речных бассейнах**

При наличии экспериментальных данных по всем элементам водного баланса орошаемых земель, расположенных в различных частях водозабора, применяется детальная схема оценки влияния оросительных мероприятий на сток, основанная на разности уравнений водного баланса участка водозабора до и после развития орошения. Такая схема позволяет рассчитать полное и безвозвратное водопотребление на орошение, возвратные воды, изменение запасов воды в зоне аэрации, снижение непродуктивного испарения и т.п. Это дает возможность оценить не только изменение стока в замыкающем створе, но и наметить меры для эффективного использования оросительных систем и планировать рациональное использование водных ресурсов в перспективе.

Большие исследования в данном направлении были проведены ГГИ в 60-80-х годах прошлого столетия под руководством С.И. Харченко на орошаемых массивах в бассейнах рек Сырдарьи, Чу, Таласа, Кубани, Иле и др.

Для большой группы разных водосборов Средней Азии и Кавказа, где орошение развито с древнейших времен и в настоящее время является основным видом хозяйственной деятельности, оценка влияния орошения была выполнена на основании многолетних данных по стоку в замыкающих створах совместно с основными стокообразующими факторами, метеоусловиями и с динамикой развития орошаемого земледелия в бассейне. В указанных районах сток формируется в горах, где он является естественным, а используется на равнинных и низменных участках водосбора. Для оценки влияния орошения и обеспечивающих его инженерно-технических мероприятий вначале производится расчет изменения стока под влиянием всего комплекса факторов хозяйственной деятельности в соответствии с приемами изложенными выше, а затем путем применения водобалансовых методов оценивается роль каждого из второстепенных видов хозяйственной деятельности: водохранилищ, промышленно-коммунального и сельскохозяйственного водопотребления. При расчёте на перспективу учитывается тенденция антропогенных изменений стока за прошедшие годы, предполагаемый прирост орошаемых земель в бассейне и намеченные мероприятия по усовершенствованию оросительных систем и повышению эффективности использования водных ресурсов.

По данным ГГИ в бассейне р. Сырдарьи, на уровень 60-х годов ХХ века, водопотребление сельского хозяйства составило 33,5 км3/год, снижение стока реки в нижнем течении – 8 км3/год. Было предположено, что дальнейшее расширение орошаемых площадей неизбежно приведут к ещё большому снижению стока р. Сырдарьи. Прогнозирование ожидаемых изменений стока в зависимости от природных и антропогенных факторов было рассчитано С.И. Харченко. Для этого было использовано уравнение водного баланса участка русла в пределах орошаемого контура, которое имеет следующий вид:

*УВ – УН +УВП –УН.П + УБ.П + qЗАБ + УПГ – УО.Г + ВС + Х – ЕВ –ЕС + ΔW +Δq=0*, (20)

где *УВ* ,*УН*– поверхностный русловой сток в верхнем и нижнем створах; *УВ.П* ,*УН*.*П* – подрусловый сток соответственно в тех же створах; *УБ.П* – боковая приточность; *qЗАБ* – водозабор из реки на орошение; *УПГ* – приток естественных грунтовых вод в русло с орошаемого контура; *УО.Г* – отток грунтовых вод из русла в сторону контура; *ВС*– суммарные возвратные воды; *Х* – атмосферные осадки; *ЕВ* – испарение с водной поверхности; *ЕС* – суммарное испарение с прилегающих участков поймы и полупогруженной влаголюбивой растительности; Δ*W* – аккумуляция воды в микропонижениях на поймах; Δ*q* – водообмен грунтовых вод с глубинными водоносными слоями.

Решая уравнение (20) относительно стока в нижнем створе, получим,

*УН  = УО ± ΔУГР*, (21)

где УО *–* общий поверхностный сток в русле за пределами орошаемого массива:

*УО = УВ + УБ.П – qЗАБ + ВС + Х – ЕВ – Е + ΔW;* (22)

*ΔУГР –* изменение запасов грунтовых вод в нижнем створе реки:

*ΔУГР = УВ.П –УН.П + УПГ  – УО.Г + Δq* (23)

Величина параметра *ΔУГР* зависит от литологического строения подстилающих пород и определяется индивидуально для каждого водотока или участка русла. При *УВ.Н –УН.П = 0* и *Δq = 0*, параметр *ΔУГР* = *УПГ – УО.Г.* В случае если *ΔУГР* имеет положительный знак, то на исследуемом участке русла преобладает приток грунтовых вод, если отрицательный – река теряет воду подземным путём в сторону прилегающего контура. Следует отметить, что без гидрологических наблюдений определение естественного притока (*УПГ , УВ.П*) и оттока (*УО.Г , УН.П*) грунтовых вод, а также ирригационного возвратного стока с орошаемых земель, представляет собой большое затруднение.

Таким образом, решения уравнений (20-23) требуют проведения широких и комплексных экспедиционных водно-балансовых исследований, которые невозможны без значительного финансирования.

Расчет измененного стока р. Сырдарьи в нижнем течении и притока в Аральское море, выполненного С.И. Харченко в 60-х годах прошлого столетия по вышеизложенной методике, с учетом заданной водности лет и проектной обеспеченности элементов водного баланса, показал, что сток реки, при намечаемых на тот период темпах развития орошения в бассейне, к 1990 г. уменьшится на 12-14 км3 вгод. Это означало практически полное прекращение притока в Арал, что приведёт к катастрофическому нарушению его водного баланса и значительному сокращению его акватории. Данный прогноз, несмотря на весь его трагизм, полностью себя оправдал.

Количественная оценка влияния орошения на сток рек в степной и лесостепной зон России (Волга, Дон, Кубань, Урал, Ока, Обь и др.) была выполнена в ГГИ под руководством И.А. Шикломанова. Результаты этих исследований подробно изложены в последующих разделах.

В заключении отметим, что орошение сельскохозяйственных угодий приводит к большим изменениям водного баланса и внутригодового распределения, а также к значительному уменьшению стока рек. Поэтому, оценка изменения водного стока под воздействием орошаемого земледелия и прогноз на этой основе оросительной способности рек – водоисточников, является важной проблемой современной гидрологической науки. В особенности это касается республики Казахстан, чьи водные ресурсы крайне скудны.

Сток с орошаемых земель – это совокупный продукт, образованный из четырёх источников: 1) дренажа естественных грунтовых вод; 2) стока атмосферных осадков; 3) дренажа оросительных вод, сформировавшихся за счёт инфильтрации оросительных вод на полях и в каналах; 4) поверхностного стока оросительных вод с орошаемых полей.

Согласно С.И. Харченко – возвратными водами можно считать только ту составляющую стока с орошаемых земель, которая достигает водоприёмника и может быть использована повторно для хозяйственных целей. Такой подход, по его мнению, к оценке возвратных вод позволяет обоснованно определять коэффициент полезного использования воды и степень возобновляемости водных ресурсов за счёт возврата части стока**.**

По вопросу количественной оценки возвратных вод встречаются самые противоречивые оценки. Например, для Ферганской, Зеравшанской, Чуйской и др. межгорных котлован возвратные воды с орошаемых земель у разных исследователей составляют от 15 до 43 % от водозабора. А для таких крупных рек, как Амударья и Сырдарья, в одном случае 11-15 %, в другом 50-60 % от водозабора. Для низовьев этих рек Л.В. Дунин – Барковский допускал, что возвратные воды по объёму равны водозабору.

С.И. Харченко причину такой разноречивости объясняетотсутствием единой теории формирования возвратных вод с орошаемых земель и обоснованного метода количественного определения. По его мнению, возвратные воды состоят из двух составляющих, которые следует рассматривать раздельно: 1) ирригационно-поверхностные; 2) ирригационно-грунтовые. Отсюда, суммарный объём возвратного стока *ВС* с орошаемых полей равен:

*ВС = ВП + ВГ*, (24)

где *ВП, ВГ*– соответственно ирригационно-поверхностный и ирригационно-грунтовый возвратный сток.

Величина *ВП* достаточно надежно определяется гидрометрическим способом в створах, где осуществляется сброс вод с орошаемых массивов. Значение *ВГ* в вегетативный период определяют либо по общему уравнению водного баланса орошаемого массива (с учетом аккумуляции влаги на поверхности, в зоне аэрации и в водоносном слое) или по уравнению водного баланса водоносного слоя с учётом влагообмена в зоне аэрации. В межвегатационный период (октябрь-апрель) *ВГ* – можно измерить на коллекторно-дренажной сети.

Грунтовый сток с орошаемых и неорошаемых территорий, при Δ*q* = 0, определяется по уравнению общего водного баланса:

а) при наличии орошения

*УГ = Х + М + ZO + УПГ + УПП – УП – Е – МСТ ± ΔU*, (25)

б) при отсутствии орошения

*УГ’ = Х’ + У’П.Г – У’П.П – УП ’– Е’ ± ΔU’*, (26)

Разность уравнений (25) и (26) представляет грунтовую составляющую возвратных вод:

*ВГ = УГ – УГ’*. (27)

*ВГ = (Х–Х’)+(УПГ–У’П.Г)+(УП.П–УП’.П)+(УП’–УП)+(Е’–Е)+(ΔU–ΔU’)+Q–МСТ,* (28)

где *Q = М + ZO*– величина водозабора на орошение.

В этом случае суммарная величина возвратных вод:

*ВС = ВГ + МСБ*,  (29)

где *МСБ*– сброс поливных вод поверхностным путём представляет собой ирригационно-поверхностный сброс (*ВП*).

Аналогично *ВГ*можно определить из разности уравнений водного баланса водоносного слоя территорий с орошением и с тех же площадей до орошения, при Δ*q* = 0:

при орошении – *ΔUГР = УПГ – УП – УГ  + J – K*, (30)

до орошения – *ΔUГР ’ = УПГ’ – УГ’ + J – K’*

Таким образом, из анализа уравнений (24)-(29) видно, что формирование возвратных вод при орошении зависит от многих естественных и антропогенных факторов: величины водозабора; безвозвратных потерь на испарение; аккумуляции влаги в зоне аэрации и в водоносном слое; инфильтрационных процессов; объёмов коллекторно-дренажного сброса с орошаемых земель; атмосферных осадков и т.д. Однако, если рассматривать периоды до и после орошения (уравнения 25-26), и представить, что значения *Х*, *УП*, *УПП*, *УПГ*, а также *ΔU* – мало изменились, то выясняется, что наибольший вклад в формировании *ВС*дают величины водозабора (*М* + *ZO*), сброса *МСТ*и безвозвратные потери на испарение (*Е’–Е’*). В свою очередь эти объёмы определяются теми сельскохозяйственными культурами, которые орошаются (водоёмкие, не водоёмкие), а также климатическими, почвенными, гидрогеологическими и геоморфологическими условиями, типом оросительной системы и планами водопользования.

Например, для рисовых систем в вегетативный период поля залиты слоем оросительных вод, которые при постоянной проточности стекают в коллекторно-дренажную сеть, а затем в источник орошения (река, водоём). То есть для этого периода основной составляющей возвратного стока является *МСТ*, а в межвегатационный период, когда нет оросительных поливов и проведена уборка урожая, возвратный сток за счёт выклинивания грунтовых вод в дренажную сеть, полностью представляет собой *ВГ***.**

В целом по данным С.И. Харченко для систем, где культивируется хлопок, объём *ВС*практически равен нулю, где сахарная свёкла и зерновые *ВС* составляет 14-17 % от водозабора, а на рисовых массивах величина *ВС* равен 65-70 % от водозабора.

Вместе с тем, на объём возвратного стока оказывает влияние близость или удалённость расположения орошаемого массива к водоприёмнику. Чем дальше массив от водоприёмника, тем больше безвозвратных потерь возвратного стока на испарение в процессе передвижения этой воды к водоприёмнику. Например, в низовьях реки Иле на огромные потери возвратного стока с Акдалинского массива орошения оказывает значительное влияние большая протяженность главного сбросного коллектора (более 100 км), русловые процессы в этом дренажном канале, а также неорганизованные сбросы воды на прилегающие пустынные площади по руслу Шет-Баканас.

Вторым фактором уменьшения объёмов возвратного стока является использование этих вод на повторное орошение. Это осуществляется путём разбавления солёных возвратных вод оросительной пресной водой и использования их затем для поливов растений, малочувствительных к минерализованной воде.

**4.3 Агролесомелиоративные мероприятия в бассейнах рек**

Проблема преобразования естественного водного баланса под влиянием агротехнических и лесомелиоративных мероприятий является весьма важной в широком комплексе воздействия человека на окружающую среду. Данному кругу вопросов было посвящено многочисленное количество работ. Однако в течении длительного времени, не было выработано единого мнения в отношении влияния вышеуказанных мероприятий на годовой сток рек, не разработана методика оценки этого влияния.

В 80-х годах прошлого столетия в ГГИ под руководством В.Е. Водогрецкого наконец-то были разработаны принципиальные основы метода оценки и учёта влияния агролесомелиоративныхмероприятий на элементы водного баланса и, в частности, на склоновый, грунтовый и суммарный сток рек и суммарное испарение.

За основу было принято уравнение водного баланса водосбора за многолетний период, в котором, при неизменных средних осадках, величине изменений поверхностной (склоновой) и подземной составляющей стока должно соответствовать такое же изменение суммарного испарения на водосборе. Это уравнение может быть записано в виде

*УС + УГР = Х – Е*, (31)

а уравнение баланса изменений его составляющих под влиянием агролесомелиоративных мероприятий представлено в виде

*ΔУС + ΔУГР = ΔХ – ΔЕ*, (32)

где *ΔУС* и *ΔУГР*– соответственно склоновый и грунтовый сток; *Х* – атмосферные осадки; *Е* – суммарное испарение; со знаком *Δ* – изменения этих элементов.

В случае постоянства атмосферных осадков во времени уравнение (31) может быть записано.

*ΔУС + ΔУГР = ΔЕ.*  (33)

Параметры уравнения (32) под влиянием агролесомелиоративных мероприятий определяются следующим образом:

а) параметры левой части уравнения

*ΔУАГ = ΔУС + ΔУГР = ΣΔУП.Л.Л.П · f П.Л.Л.П + ΣΔWП.Л.Л.П · f П.Л.Л.П*, (34)

б) параметры правой части уравнения

*ΔЕ = ΣΔЕП.Л.Л.П**·fП.Л.Л.П*, (35)

где *ΔУАГ*– изменение суммарного стока реки; *ΔУП.Л.Л.П*– среднее уменьшение склонового стока соответственно с пашни, леса и лесных полос; *ΔWП.Л.Л.П*– среднее увеличение грунтового стока или питания грунтовых вод атмосферными осадками на угодьях; *ΔЕП.Л.Л.П*– изменение суммарного испарения на сельскохозяйственных угодьях (после мелиоративных мероприятий); *fП.Л.Л.П* – площади угодий в пределах различных почво-грунтов в долях от единицы, за которую принимается общая площадь бассейна.

Оценка изменения поверхностного стока (*ΔУП.Л.Л.П*) производится на основании построения и анализа зависимости вида

*LС = f* (*UT , J*), (36)

где *LС* – коэффициент склонного зимнее-весеннего стока; *UT*– показатель (индекс), характеризующий степень увлажнённости в метровом слое и промерзаемости почво-грунтов в период, предшествующий стоку; *J* – уклон склона.

Индекс *UT ,*является показателем водопроницаемости почво-грунтов: чем выше индекс, тем выше коэффициент стока, и наоборот.

Оценка грунтовой составляющей стока (*ΔWП.Л.Л.П*) производится на основании построения и анализа зависимостей вида:

*LГ = f* (*HГ*), (37)

где *HГ –* глубина залегания грунтовых вод(мощность зоны аэрации); *LГ –* коэффициент питания грунтовых вод представляет собой долю грунтовых вод от суммарных годовых атмосферных осадков, т.е.

*LГ = WПГВ / Х*, (38)

где *ΔWПГВ*– питание грунтовых вод за год; *Х* – годовые атмосферные осадки.

Зависимости (35) и (36) были построены по данным водобалансовых станций и экспериментальных стационаров отдельно для залежных, распаханных и лесных склонов на преобладающих супесчаных и суглинистых почвогрунтам в пределах лесной, лесостепной, степной зон России и Северного Казахстана для лет с различной увлажнённостью атмосферными осадками. Полученные зависимости характеризуются соответственно коэффициентом корреляции *R*=0,78÷0,90 и *R* = 0,75÷0,95 относительная средняя квадратическая ошибка для обоих случаев составила 17-12 %.

Оценка влияния агротехнических мероприятий, леса и лесных полос на суммарное испарение производится на основании построения и анализа зависимости вида

*Еi**/ Ео* = *f* (*R / L∙X)*, (39)

где *Еi –* суммарное испарение с поверхности каждого отдельного угодья*; Ео* – испаряемость с тех же угодий; (*R / L∙X*) – радиационный индекс сухости (отношение радиационного баланса к атмосферным осадкам).

Результаты проведённых исследований ГГИ по оценке изменений речного стока под влиянием агролесомелиоративных мероприятий на конкретных водосборах показали, что эти изменения вполне соизмеримы с изменением суммарного испарения (в пересчёте на сток), средние отклонения в результатах расчета по выражениям (30–38) не превысили ± 15÷20 %.

Расчёты, выполненные В.Е. Водогрецким на разные периоды, приведены в таблице 3, из которой следует, что в Казахстане, где имеет место широкое развитие агромелиоративных мероприятий (освоение земель под сельскохозяйственные угодья) даже для крупнейших рек республики, прогнозируется достаточно значительное уменьшение речного стока, которое на сегодняшний день даже превышают прогнозные.

Таблица 3. Уменьшение среднего годового стока рек под влиянием агротехнических и лесомелиоративных мероприятий

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Река-пункт | Площадь водосбора, тыс. км3 | Годовой сток, км3 | Распашка бассейна, % | Изменение стока, % |
| 1970 | 2000 | 1950 | 1970 | 2000 |
| Дон – устье | 422 | 27,8 | 70 | 66 | 4 | 6 | 6 |
| Днепр – устье | 500 | 55,5 | 56 | 56 | 3 | 5 | 6 |
| Иртыш – устье | 1643 | 73,9 | 24 | 29 | 1 | 4 | 5 |
| Урал–г. Уральск | 180 | 9,40 | 29 | 39 | 4 | 7 | 13 |
| Урал – устье | 237 | 11,4 | 30 | 45 | 4 | 5 | 10 |

В заключении отметим, что при проведении широких агромелиоративных работ методика Водогрецкого позволяет определить величину изменения элементов водного баланса, оценить изменения стока на годы различной водообеспечености (многоводный, средний и маловодный) и дать его прогноз, найти зависимости речного стока от климатических факторов и физико–географических условий подстилающей поверхности, проектировать водопользования для разработки перспективных планов сельскохозяйственного и лесомелиоративного освоения земель, а также планирования водохозяйственных мероприятий по регулированию речного стока и его территориального перераспределения.

**4.4 Осушение болот и заболоченных земель**

Болота являются естественными регуляторами стока, они снижают *Qmax* весеннего половодья и удлиняют период спада высоких уровней воды. Осушение болот и заболоченных земель приводит к изменению объема годового стока ∆*Q* за счет изменения суммарного испарения на осушенных территориях *∆E* и сработки вековых запасов подземных вод *∆YГ.* т.е. изменяется водный баланс, гидрологический режим рек и другие элементы экологической среды:

∆*Q =* ∆*E +* ∆*YГ*.(40)

Увеличение годового речного стока за счет сработки ∆*YГ* является единовременным и происходит с момента проведения мелиоративных работ (строительство дренажных каналов) и в течение 3-5 лет после их завершения. По результатам исследований: сток рек, за счет сработки грунтовых вод, увеличивается на 30-50 %, но это только на вышеуказанный период, потом происходит спад. Объем сработки ∆*YГ* определяется по формуле:

∆*YГ = hБ ∙ FБ.ОС + hС ∙ FС* , (41)

где *hБ* и *hС –* соответственно слои сработки болотных вод и грунтовых вод с осушенных водостоков; *FБ.ОС* и *FС –* соответственно площади осушенных болот и площади прилегающих к болоту суходолов, находящихся под влиянием осушения.

Изменение суммарного испарения *∆E* является постояннодействующим фактором, влияющим на годовой сток, и его расчёт проводится только для летнего периода по формуле:

∆*E = (EБ – EБ.ОС* ) *∙ FБ.ОС,* (42)

где *EБ* и *EБ.ОС –* соответственно испарение с неосушенных и осушенных болот.

Расчет среднемноголетнего испарения с естественных болот производится по уравнению:

*ĒБ = m ∙ β ∙ ĒО,* (43)

где *ĒО –* среднемноголетняя испаряемость по данным метеостанции; *m –* микроклиматический коэффициент перехода от испаряемости по данным метеостанции к испаряемости для болотного массива; *β –* эмпирический коэффициент, равный отношению измеренного испарения с болот к расчетному.

Испарение с осушенных или освоенных болот:

*ĒБ.ОС.= k ∙ ĒБ* (44)

где *k –* коэффициент пропорциональности, зависит от типа болот и характера его освоения.

Часто, из-за недостатка исследований на болотах и опущенных территориях, для расчётов значений *ĒВ и ĒБ.ОС* используются региональные рекомендации в виде поправочных эмпирических коэффициентов.

Отметим, что влияние осушения и освоения болот и заболоченных земель на водный баланс и запасы водных ресурсов в разных физико-географических зонах и бассейнах проявляются по-разному: в большей степени оно зависит от климатических условий территорий, от способов осушения и характера освоения болотистых массивов под мелиорации. Например, в зоне неустойчивого увлажнения используетсядвухстороннеерегулирование водного режима болот.

Исследования показали, что в результате осушения и освоения болот в северной части Украины, а также в Белоруссии и России происходит уменьшение речного стока на 30-50 % и даже больше в зависимости от площади осушенных болот.

Таким образом, при осушении болот в режиме речного стока наблюдаются два противоположных явления:

1 – в период строительства осушительных систем и в последующие 2-3 года после освоения болот речной сток увеличивается примерно на 30-50 % за счет сработки вековых запасов грунтовых вод;

2 – после окончания этого периода речной сток уменьшается от естественного стока на те же 30-50 %.

**4.5 Влияние лесных насаждений на речной сток**

Лесные массивы являются естественными регуляторами речного стока, их влияние проявляется в следующем: 1) замедляют интенсивность снеготаяния на водосборе; 2) удлиняют период весеннего половодья; 3) уменьшают пик весеннего половодья; 4) увеличивают грунтовое питание в реках.

Как показали исследования последних лет, хозяйственная деятельность человека в лесных массивах по своему оказывают влияние на речной сток. Здесь необходимо учитывать два момента: а) влияние вырубок и восстановления лесов в бассейнах рек; б) влияние площади залесенности территории бассейна рек.

а) В результате вырубок и восстановления лесов изменяются их характеристики и основные элементы водного баланса лесных участков (испарение и сток). Эти изменения происходят непрерывно на протяжении 120 – летнего периода роста нового леса. В старых лесах характеристики стабилизируются, годичный прирост древесины примерно равен объему ежегодно отмирающих деревьев (рисунок 1).

Из рисунка следует, что после вырубки леса речной сток очень резко возрастает за счет поверхностного до 60 % от среднемноголетнего стока, а затем по мере роста лесонасаждений начинает уменьшаться и при возрасте леса ≈ 50-60 лет это уменьшение достигает ≈ 40 % от нормы. В последующем объем стока плавно увеличивается к 100-летнему периоду роста леса достигает нормы за счет грунтовой составляющей.

В свою очередь, испарение после вырубки леса также резко уменьшается ≈ 30-35 % от среднемноголетней величины испарения (лесной массив леса испаряет больше, чем открытая поверхность), затем испарение возрастает и при возрасте леса ≈ 50-60 лет достигает максимума (примерно на 20-25 % больше нормы), а затем плавно уменьшается, достигая нормы к 100-летнему периоду роста леса. Последняя доза уменьшения испарения по-видимому, связана с ростом отмирающих деревьев в лесу, т. е. к старости всего лесного массива.



Рисунок 1. Влияние возраста восстанавливающегося леса на ход испарения и стока (по О.Н. Крестовскому)

При оценке влияния вырубок и восстановления лесов на годовой и сезонный сток за расчетную единицу времени принимают 10-летнюю ступень роста леса. При лесных таксациях (учет леса, материальная оценка – определения возраста, диаметр и высота стволов, запасы, прирост, качество, инвентаризация), которые проводятся каждые 5-10 лет, участки леса разделяются по возрастному и видовому древостоев и учетом их площадей в га и % от всей площади лесного фонда).

Расчет изменений готового и сезонного стока производится в два этапа: Сначала определяется изменение стока с залесенных участков под влиянием его возраста по десятилетиям:

∆*Yi = (ky1 ∙ f1 + ky2 ∙ f2 +…+ kyn ∙ fn) – 1,0* (45)

где∆*Yi –* среднее значение изменения суммарного стока в долях нормы стока за *i*-е десятилетие;

*ky1 … kyn –* коэффициент влияния возраста леса на сток в 1 – м … *n* – м десятилетии;

*f1 … fn –* площади лесов разного возраста в долях от всей площади лесного массива, ∑ *fi=1,0.*

Затем, на втором этапе, определяется изменение стока рек данного бассейна за *i*-е десятилетие:

∆*Qi =* ∆*Yi ∙ γ ∙Q,*  (46)

где *Q –* норма стока; *γ –* лесистости территории в долях от всей площади бассейна реки.

б) Исследования по оценке влияния площадей залесенности на речной сток показали, что каждый речной водосбор имеет свой оптимум лесистости, которому соответствует наибольшее увеличение стока. Величина этой оптимальной или, как ее называют, водоохранной площади залесенности (лесистости) уменьшается с севера и северо-запада Украины на юг и юго-восток. Так в Полесье она колеблется по бассейнам от 40 до 60 %, в лесостепи от 22 до 25 %, в степи от 15 до 18 %. При этом, с увеличением площади лесистости возрастает подземная составляющая речного стока примерно в 2-3 раза. Так суммарный речной сток в Полесье увеличивается на 25-30 % в лесостепи на 11 %, а в степи наоборот уменьшается на 20-25 %.

Таким образом, установлено, что максимальное положительное влияние лесных насаждений на речной сток наблюдается при частичном облесении водосборов. Даже в пределах одного водосбора с увеличением лесистости до оптимальной водоохранной речной сток будет возрастать, однако при дальнейшем увеличении лесистости он будет уменьшаться. Учет данной закономерности имеет большую практическую значимость, так как позволяет решать вопросы наиболее рационального размещения лесонасаждений по площади водосборов и определять экономическую эффективность использования водоохранной роли леса в различных климатических условиях.

**4.6 Урбанизация, промышленное и коммунальное водопотребление**

а) Урбанизация территорий

Влияние промышленности и населения на водные ресурсы и гидрологический режим весьма многообразно. Промышленно-коммунальное водопотребление является основной причиной возникновения проблемы обеспечения человечества чистой водой, что объясняется исключительно высокими во многих странах темпами роста городов, промышленных комплексов, горных выработок и других объектов, изменяющих природные ландшафты и оказывающих большое влияние на все элементы водного баланса, гидрологический режим и окружающую среду.

Влияние названных антропогенных факторов проявляется, во-первых, в непосредственных изъятиях воды из гидрографической сети и последующих сбросах использованных сточных вод в реки и водоемы, а во-вторых, связано с изменением условий формирования стока рек в результате горных выработок, сооружения на водосборах промышленно-коммунальных объектов и крупных водозаборов подземных вод.

Промышленно-коммунальное водопотребление характеризуется тем, что подавляющая часть воды, используемая промышленностью в технологических процессах и в коммунальном хозяйстве, возвращается обратно в виде возвратных вод. При этом меняется качество воды, ее химический состав, температура и т.д.

б) Промышленное использование воды

В промышленности и теплоэнергетике безвозвратное водопотребление составляет, как правило, незначительную долю водозабора (соответственно 6-30 % и 1-3 %), а возвратные воды представляют собой сбросы загрязненных сточных вод в реки. По своей структуре безвозвратные потери воды при промышленном водопотреблении могут быть разделены на три части: 1) потери на дополнительное испарение при водоподаче от источника до потребителя; 2) потери на испарение воды внутри предприятий в ходе технологического процесса; 3) потери воды за счет включения её в состав готовой продукции.

Большая часть безвозвратных потерь приходится на первую группу и зависит от климатических условий: для южных регионов влияние промышленного водопотребления более значительное по сравнению с северными и избыточно увлажненными районами. Вторая и третья группы потерь практически не зависят от климатических условий и целиком определяются характером производства.

Кроме того, безвозвратные потери в промышленности и теплоэнергетике зависят от применяемой системы водоснабжения: при прямоточной системы безвозвратные потери наименьшие, при оборотной – резко уменьшается забор свежей воды и объем сбросных вод, но безвозвратные потери увеличиваются в 1,5-2 раза. При этом резко уменьшается загрязненность водных объектов, т.е. это более экологически «чистое» производство.

Поэтому в перспективе в связи с развитием систем оборотного водоснабжения и повторного многократного использования воды в промышленности следует ожидать более заметного влияния промышленного водопотребления на качественные характеристики суммарных водных ресурсов.

Горные выработки и крупные водозаборы подземных вод приводят к снижению уровня грунтовых вод и созданию депрессионных воронок на площадях, достигающих иногда тысяч квадратных километров, что оказывает всестороннее влияние на водный режим в речных бассейнах. Снижение уровня грунтовых вод заметно уменьшает суммарное испарение, а так же естественную разгрузку подземных вод в речную сеть, что приводит к уменьшению общего речного стока.

Вместе с тем водоотведение при горных выработках, которое сопровождается сбросом шахтных вод в реки, увеличивает речной сток. Например, при добыче угля в Донбассе с больших глубин в реки сбрасывается около 0,6 км3/год, что составляет 13 % суммарного годового стока рек Донецкой области. Эти воды не только изменяют гидрологический режим, но и качество поверхностных вод.

Таким образом, горные выработки и эксплуатация подземных водозаборов для водоснабжения могут действовать как в сторону увеличения, так и в сторону снижения стока.

в) Коммунальное водопотребление

В коммунальном хозяйстве величина безвозвратного водопотребления может быть весьма различна и зависит от способа и объема водоотдачи. Потребление воды коммунальным хозяйством городов и поселков городского типа происходит, как правило, по канализационным системам. Основная часть безвозвратных потерь складывается из потерь воды на испарение при утечках из водопровода и канализационных сетей, при поливах зеленых насаждений, улиц, зон отдыха, приусадебных участков и в большей степени зависит от климатических условий.

Отметим, что для города в 1 млн. жителей – 0,5 млн. м3 воды в сутки или более 180 млн. м3 в год (0,18 км3). Безвозвратное водопотребление непосредственно на личные нужды человека по сравнению с потерями воды на испарение незначительно. Следует отметить, что относительные величины безвозвратных потерь, выражаемые в процентах от водозабора, в большей степени зависят от объемов удельного водопотребления на коммунальные нужды. Например: 1) В современных благоустроенных городах с централизованной водопроводной сетью и эффективной системой канализации удельное водопотребление составляет 400-600 л/сутки на одного жителя, а безвозвратные потери на коммунальные нужды не превышают 5-10 % от суммарного водопотребления; 2) для малых городов с фондом индивидуальных застроек, где удельное водопотребление составляет 100-120 л/сутки на одного жителя, безвозвратные потери значительно возрастают и могут достигать 40-60 % водозабора; 3) в сельской местности, где водопроводы и канализация практически отсутствуют, безвозвратные потери велики и составляет 70-100 % водозабора. При прочих равных условиях относительная величина безвозвратных потерь значительно увеличивается с севера на юг и повышается в засушливые периоды. В перспективе, в связи с более широким внедрением централизованных систем водопроводов и канализации удельное водопотребление коммунальным хозяйством резко возрастет, а относительная величина безвозвратных потерь значительно уменьшится.

В настоящее время для приближенной оценки влияния промышленно-коммунального водоснабжения на среднегодовой сток речных бассейнов, где расположены разнообразные населенные пункты и отрасли промышленности, используется следующая допустимая расчетная схема:

1. Современные безвозвратные потери воды, выраженные в процентах от водозабора, принимаются равными в промышленности от 10 % (северные районы) до 25 % (южные проценты), в теплоэнергетике соответственно от 1 до 3 %; в перспективе на первое десятилетие XXI века в связи с предполагаемым широким внедрением систем оборотного водоснабжения и повторного использования воды относительные безвозвратные потери увеличиваются в промышленности до 30-40 % и в теплоэнергетике до 2-4 %.

2. Объемы относительных значений безвозвратного потребления на нужды городского населения оцениваются от 10-25 %, а на водоснабжение в сельской местности от 70-90 % соответственно для северных и южных районов; в перспективе в результате строительства канализации предполагается уменьшение указанных значений до 5-10 % для городского населения и до 50-70 % в сельских районах.

3. В маловодные годы с жарким летом и малым количеством осадков приведенные выше значения потерь возрастают примерно на 15-25 %, а во влажные многоводные годы приблизительно на столько же снижаются.

Урбанизация территорий оказывает с каждым годом все большее влияние на окружающую среду, внося существенные изменения в природный влагооборот и качество вод. Сток с урбанизированных площадей количественно и качественно резко отличается от стока с естественных водосборов. Различия эти касаются годового стока, величин максимальных и минимальных расходов воды, а также соотношений между поверхностной и подземной составляющими стока.

Годовой сток с урбанизированных территорий может быть больше примерно на 5-15 % по сравнению с естественными условиями за счет некоторого увеличения осадков в городах, более высоких коэффициентов стока и меньших потерь на фильтрацию.

Наиболее резко урбанизация сказывается на максимальных, объеме и форме дождевых паводков. По данным исследователей различных стран, максимальные расходы дождевых паводков на урбанизированных территориях за счет увеличения скоростей стекания и повышения коэффициентов стока с малопроницаемых дорожных покрытий и крыш могут увеличиваться в 3-8 раз.

С другой стороны наиболее важным аспектом влияния урбанизации на водные ресурсы является изменение в промышленности и коммунальном хозяйстве и ливневого стока в пределах городских территорий образуется загрязненная вода, обогащенная минеральными, органическими, вредными и токсичными веществами, тяжелыми металлами, которая сбрасывается в реки и озера, загрязняя их на большом протяжении. Кроме того, загрязнение водных объектов происходит за счет стока с городских территорий ливневых, талых и поливомоечных вод.

Таким образом, в связи с интенсивным ростом городов комплексные исследования гидрологических аспектов урбанизации отражают одну из важнейших сторон проблемы преобразования водного режима и водного баланса под влиянием хозяйственной деятельности.

**5 РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА**

**5.1. Основные положения теории регулирования стока**

Необходимость регулирования речного стока возникает в случаях, когда естественный гидрологический режим реки не отвечает режиму водопользования и водопотребления. Регулирование речного стока осуществляется с помощью водохранилищ, которые задерживают речной сток для последующего его использования, тем самым изменяя естественный режим водотока для наиболее рационального использования водных ресурсов в интересах народного хозяйства.

Комплекс гидротехнических сооружений, обеспечивающих непосредственно регулирование стока, использование воды или отвод ее из водоисточника для тех или иных народнохозяйственных целей, называется водохозяйственной установкой.

В зависимости от условий и назначения на одну установку может быть возложено решение одной конкретной частной задачи или целого комплекса задач, например: одновременно по регулированию стока, орошению, отводу вод и т.д. Установка, решающая одну задачу, называется отраслевой установкой, а несколько задач сразу – комплексной.

Обычно водохозяйственная установка представляет собой несколько гидротехнических сооружений специального назначения, например: плотина и водосброс, здание гидростанции, деривация, напорный канал и др.

Распределение по времени воды, поступающей к водохозяйственной установке при естественном гидрологическом режиме реки в силу различных причин, как правило, не совпадает с требованиями водопотребителя или водопользователя. Обычно в многоводные периоды река несет намного больше воды, чем требуется, и избытки ее не используются совсем. При низком речном стоке – наоборот: иногда даже необходимо ограничивать водопотребление из-за недостатка воды.

В подавляющем большинстве случаев запросы потребителей на воду удается удовлетворить путем приспособления их к естественным изменениям речного стока. При этом с помощью водохозяйственной установки используются избытки воды многоводных периодов. Режим работы водохозяйственной установки представляет собой результат согласования (увязки) требований потребителя воды (или энергии) с естественными водными ресурсами используемого источника.

В общем случае задача сводится к выяснению необходимых размеров сооружений, условий их эксплуатации и к оценке получаемого в результате народнохозяйственного эффекта. Поэтому проектирование водохозяйственной установки должно начинаться с подробного исследования элементов гидрологического режима водного объекта, от которых зависят размеры и конструктивные особенности самой установки.

При проектировании установки обычно решаются следующие наиболее главные водохозяйственные задачи:

а) определение наиболее оптимальных или целесообразных размеров водохозяйственной установки и величины ее водо или энергоотдачи. В таком виде ставится задача в засушливых районах для размещаемых здесь новых предприятий и нуждающихся в большом водопотреблении. Подобным образом также обстоит дело при проектировании гидроэлектростанций. При этом имеется в виду, что энергосистема должна обеспечивать потребителей еще и при различных комбинациях мощности ГЭС и ГРЭС, включенных в единую энергосистему;

б) выбор и установление на рассматриваемом водоисточнике размеров основных гидротехнических сооружений при заданном водоэнергопотреблении. Примером может служить задача водоснабжения населенного пункта или промышленного предприятия, которые нуждаются для нормальной работы в конкретных объемах воды;

в) получение оптимального эффекта от работы водохозяйственной установки при уже установленных ее размерах. Эта задача часто встречается при составлении правил эксплуатации водохозяйственной установки, а также в упрощенном виде решается в расчетных схемах «а» и «б».

Решение перечисленных задач при известном водном режиме водоисточника сводится к выявлению хозяйственного эффекта по различным вариантам подпора (размеров сооружений) и правилам эксплуатации установки. Такие решения и составляют сущность водохозяйственного расчета.

При регулировании речного стока, как известно, можно планомерно перераспределять сток реки с целью наиболее полного удовлетворения потребности народного хозяйства в необходимых объемах воды. В этом случае в задачу водохозяйственного расчета входит не только выявление особенностей работы водохозяйственной установки, но также и выбор наиболее целесообразного режима ее эксплуатации, т. е. режима наполнения и сработки используемого водохранилища.

Обычно условия работы установки определяются режимом отдачи воды или энергии, а также рядом показателей, от которых зависят размеры и даже сохранность самой установки.

Исследования и определение величины сбрасываемых установкой расходов воды необходимо для определения типов, размеров, а также условий работы водосливов и водоспусков. Нередко регулирование сброса высоких вод является одной из основных и очень важных задач, решаемых установкой, особенно на водотоках с паводочным режимом.

Не менее важным является также исследование уровней воды. В частности, от уровней верхнего и нижнего бьефов зависят условия отвода воды из водохранилища в каналы и водоприемники. Ими же определяется высота подачи воды насосами к потребителям, напор на турбинах ГЭС. С режимом уровней связан и расчет устойчивости плотин, гидравлический расчет водосливов, водоспусков и др. А кривые подпора уровней воды от плотины вверх по течению реки характеризуют размеры затопления и подтопления прилегающих к водохранилищу территорий.

Таким образом, основными элементами режима, необходимыми для оценки работы водохозяйственной установки, являются:

- расходы воды, подаваемой потребителям (с разделением и распределением между ними); мощности ГЭС;

- сбросные расходы; уровни верхнего бьефа (у плотины, у водоприемников и в характерных пунктах по длине водохранилища);

- уровни нижнего бьефа (у плотины, в пунктах выхода судоходной и силовой деривации и т. д.);

- напоры, используемые ГЭС.

Отсюда следует, что регулированием стока решаются две основные задачи:

*1. Повышение низких расходов воды для надежного водо-или энергоснабжения населения и промышленности.* Такое регулирование является типичным, когда решается задача использования стока, недостаточного в межень и избыточного в половодье и паводки.

*2. Понижение высоких расходов.* В этот вид регулирования входят задачи устранения наводнений на участке реки ниже гидроузла, а также задачи сокращения размеров и удешевления гидротехнических сооружений, с помощью которых излишки воды сбрасываются вхолостую.

Эти две основные задачи, обычно решаемые одним и тем же водохранилищем, нередко оказываются противоречивыми: не зная заранее величины высокого стока и времени его прохождения, приходится держать водохранилище пустым, а для повышения низкого стока – наполненным. В подобном случае преимущество отдается главному водохозяйственному мероприятию, а второстепенная задача решается частично, но с учетом проектных условий работы установки по основному водохозяйственному плану.

Если второстепенная задача незначительно влияет на экономические показатели решения основной задачи, то оба мероприятия могут решаться в полной мере. Так, например, чтобы регулировать сток с целью защиты народнохозяйственного объекта от затопления, необходимы весьма большие объемы водохранилищ для аккумуляции высокого стока. Поскольку регулирование стока для водоснабжения населенного пункта этого объекта требует сравнительно небольших дополнительных объемов, то обе потребности удовлетворяются в этом конкретном случае полностью.

В некоторых сложных случаях оптимальное решение принимается по результатам анализа вариантов, составленных из комбинаций элементов обеих задач. Вначале рассмотрим вопросы, которые принадлежат первой задаче регулирования стока, т. е. вопросы повышения низких расходов.

Необходимость регулирования стока отчетливо выявляется из сравнения потребных расходов воды и минимальных среднесуточных расходов речного стока за многолетний период. При наличии многолетних данных о стоке потребный расход следует сравнить с обеспеченным минимальным стоком. По этим данным минимальные суточные и минимальные месячные расходы отдельно для открытого русла и отдельно при ледоставе определяются вероятностным расчетом по параметрам минимумов – их норме, коэффициентам вариации и т. п.

В случае полного отсутствия гидрометрического ряда наблюдений обеспеченные минимумы стока (среднесуточные и среднемесячные) устанавливаются по данным региональных обобщений.

Таким образом, выявив потребность в регулировании стока, находят его продолжительность – также сравнивая объёмы водопотребления и естественного стока в маловодные периоды за сутки, неделю, сезон, год и т. д.

Регулирование стока на повышение низких расходов выполняется путем временного задержания в водохранилище избытков стока над потреблением (в многоводные сезоны или годы), которые затем срабатываются в маловодье, когда приток меньше потребления.

Возможность приведения режима стока в соответствие с запросами потребителей зависит от величины и режима стока, величины и режима потребления воды и объема самого водохранилища.

**5.2. Виды регулирования стока**

Среди известных видов регулирования речного стока различают следующие его виды: суточное, недельное, сезонное (или годовое) и многолетнее. Нередко в практике можно также встретить компенсирующее, вторичное (буферное) и непериодическое регулирование стока.

*Суточное регулирование* заключается в перераспределении по часам суток практически равномерного среднесуточного стока *qср.* соответственно неравномерному водопотреблению. В часы малого потребления вода накапливается в специальном аккумулирующем резервуаре, а в часы пик расходуется из него в соответствии с неравномерностью водопотребления (рисунок 2).



Рисунок. 2. Схема суточного регулирования стока

Суточное регулирование, в частности, позволяет использовать небольшую пропускную способность водозаборного сооружения, насосной станции и водовода (или канала), которые при этом обеспечат в необходимом объеме равномерную доставку воды в бассейн суточного регулирования. Применение такого подхода экономически выгодно. Суточное регулирование имеет большое значение в гидроэнергетике для повышения использования мощности ГЭС.

Недельное регулирование низких расходов воды в реке, если они полностью используются, означает перераспределение в течение недели практически равномерного стока соответственно нормальному водопотреблению – в рабочие дни и пониженному водопотреблению – в нерабочие. Снижение водопотребления за 1–2–3 нерабочих дня позволяет при наличии аккумулирующей емкости повысить отпуск воды в рабочие дни (рисунок 3).



Рисунок. 3. Схема недельного регулирования стока

Если потребление воды в рабочие дни *q1*, а в нерабочий день *q2*, то при продолжительности недели (декады) *n* дней, в числе которых имеется *k* нерабочих дней, общее потребление воды за это время составит

*[q1 (n – k) + q2 k] 86 400 .м3* , (47)

а среднее водопотребление ( м/с), равное стоку, можно представить так:

*qср = Q.* $\frac{q\_{1} \left(n-k\right)+ q\_{2}K }{n}$ *м3 /с* (48)

Из этой формулы видно, что за счет разницы в нерабочие дни (*qср – q1* ) среднесуточный расход в рабочие дни может быть повышен до величины

*q1 = qср +* $\frac{ \left(q\_{ср}-q\_{2}\right)k }{n-k}$(49)

Понятно, что превышение дополнительного объема потребления воды над равномерным стоком в рабочие дни:

*V1 =* ( *q1 – qср*) (*n-k*) *86400 м3* (50)

равно избытку ее в нерабочие дни:

*V2 =* (*qср – q1*)*k*  *86 400 м3* (51)

Подставляя значение в одну из двух последних формул, найдем необходимую емкость недельного регулирования: *qср*

*V = V1 = V2 = k* (*q1 – q2*) $\frac{n-k}{n }$ *86 400 м3 .* (52)

*Сезонное (годовое) регулирование* заключается в перераспределении стока из многоводных сезонов на маловодные сезоны. При этом водопотребление каждого года удовлетворяется стоком этого же года. Такое регулирование обусловлено внутригодовой неравномерностью естественного стока и несовпадением его величины по времени с водопотреблением. В тех случаях, когда обеспеченный объем годового стока *Wp* больше водопотребления брутто (вместе с потерями воды) за год *Абр* или равен ему (*Wp ≥ Абр*), – причем в отдельные периоды года сток меньше водопотребления, – возникает необходимость внутригодового или сезонного регулирования стока до величины необходимого зарегулированного расхода *Q*. Если таким периодом является вся межень, то этот вид регулирования называют также годовым.

Полное годовое регулирование удовлетворяет получению гарантированного объема водопотребления, равного обеспеченному объему годового стока: *Абр* = *Wp.* Если *Абр* приближается к *Wp*, то имеет место глубокое сезонное или неполное годовое регулирование. При этом водохранилище заполняется практически во все годы в пределах заданной обеспеченности . В расчетном году весной имеются сбросы воды, и обеспеченность заполнения водохранилища обычно больше величины обеспеченности потребления. Малые соотношения *Абр* к *Wp* свойственны случаям неглубокого сезонного вида регулирования речного стока.

На рисунке 4 показаны гидрографы естественного стока расчетного маловодного года (а) и зарегулированных расходов для простейшего случая равномерного водопотребления (б).



Рисунок 4. Схема сезонного регулирования стока:

а – естественные расходы; б – зарегулированные расходы

В период избытков притока воды над потреблением водохранилище наполняется, в периоды недостатков – срабатывается. Его емкость, необходимая для сезонного регулирования, равна дефициту стока (на рисунке 4 – заштрихованная площадь), т. е. разности объемов потребления и притока воды за время его нехватки.

В том случае, когда зарегулированный расход меньше среднего расхода расчетного маловодного года, избытки стока превышают дефицит, и после наполнения водохранилища оставшаяся часть объема стока сбрасывается.

Рассмотренный выше пример представляет собой простой случай однотактной работы водохранилища, т. е. оно в течение водохозяйственного года по одному разу наполняется и полностью срабатывается. При сложной форме гидрографа притока (при наличии летнеосенних паводков) водохранилище работает в несколько и более тактов.

В практике встречаются два типа сезонного регулирования.

1. Первый тип относится к случаям, когда *Абр* < *Wp*. При этом водохранилище ежегодно в половодье наполняется до предела (имеют место сбросы), а в период межени полностью срабатывается. Такова схема регулирования стока небольшим водохранилищем для промышленного и коммунального водоснабжения.

2. При втором типе водохранилище даже значительных размеров, способное справляться с многолетним регулированием, эксплуатируется с полной сработкой к концу периода низкого стока во все годы, в том числе и в весьма многоводные. Например, таковы водохранилища, поддерживающие попусками судоходные глубины. Эти водоемы полностью срабатываются к концу навигации. В весенний период они иногда недостаточно наполняются (соответственно величине стока половодья) и поэтому имеют переменную по годам отдачу.

Широко распространен тип регулирования (имеющий черты первого и второго) с ежегодным как полным опорожнением, так и наполнением водохранилища при переменной по годам отдаче. Это свойственно большинству ГЭС, водохранилища которых недостаточны для значительного перераспределения стока между годами.

В связи с возможностью перехода от одного вида регулирования стока к другому виду необходимо отметить следующее.

Несмотря на то, что продолжительность или период сработки водохранилища находятся в достаточно тесной связи с видом регулирования (в зависимости от длительности: сезонное или многолетнее), тем не менее, для каждого данного водохранилища период регулирования неустойчив. Поэтому существующее в практике деление регулирования на сезонный или многолетний вид является в известном смысле достаточно условным, т.к. одна и та же емкость может в одних случаях выполнять роль только сезонного регулятора стока, а в других – перераспределять сток между годами.

Значит, с учетом возможных в будущем колебаний стока грань между упомянутыми видами регулирования в некоторой мере стирается. Поэтому строго относить регулирование данным водохранилищем к тому или иному виду можно лишь применительно к известному ходу стока в конкретный период времени.

За критерий, по которому определяется вид регулирования, принимают соотношение между отдачей *Абр* и годовым стоком расчетной обеспеченности *Wp*. При *Абр* < *Wp* регулирование стока считается сезонным, соответственно при *Абр* > *Wp* – многолетним.

*Многолетнее регулирование стока*. Если величина гарантируемого водопотребления больше обеспеченного объема годового стока (*Абр* > *Wp*), то требуется, очевидно, перераспределение с помощью водохранилища части стока из многоводных лет на маловодные годы. При этом дефицит стока в период маловодного *n*–летия (на рисунке 5 – заштрихованная часть) должен покрываться запасами воды, накопленной в водохранилище еще за предшествовавший маловодью многоводный период.



Рисунок 5. Схема многолетнего регулирования стока

При многолетнем регулировании цикл работы водохранилища наполнение – сработка длится несколько лет. В отличие от него сезонное регулирование замыкается в пределах только одного года. Практический интерес представляют в отдельности продолжительность наполнения и сработки. Чем больше глубина регулирования, т. е. чем ближе значение годового водопотребления *Абр* к среднему годовому значению объема стока *Wо*, тем длительнее период наполнения и сработки, тем требуется большая емкость водохранилища, которая резко возрастает с увеличением соотношения *Абр* к *Wо*.

Необходимо отметить, что при многолетнем регулировании стока всегда емкость водохранилища больше, чем при годовом виде. Это следует из того, что кроме объема для внутригодового регулирования, или сезонной составляющей емкости водохранилища *Vc*, требуется также многолетняя составляющая емкости *Vм* для накопления стока многоводных лет с целью использования его позже в маловодные годы. Таким образом, при многолетнем виде регулирования полезная емкость включает две составляющие: *Vп* = *Vc* + *Vм*. В одних приемах водохозяйственных расчетов не требуется разделения емкости на составляющие, в других оно необходимо.

С теоретической точки зрения пределом обеспеченного водопотребления при многолетнем виде регулирования стока является *Абр* = *Wо*..

Легко видеть, что если имеется достаточно большая емкость водохранилища, то становится возможным многолетнее или годовое регулирование стока.

В первом случае гарантированное водопотребление будет больше, а среднегодовое за многолетие – меньше, чем во втором. Применение того или другого вида регулирования требует всегда технико-экономического обоснования, при этом следует иметь в виду, что преимущества годового регулирования возможны лишь при наличии избытков воды (превышение объемов гарантированного потребления), если таковые имеются.

*Компенсирующее регулирование****.*** Данный вид регулирования стока применяется в случае, если место водозабора или водопользования расположено на реке ниже водохранилища, причем на участке между ними имеется существенный нерегулируемый приток; тогда водохранилище проектируется на обеспеченное покрытие дефицита между годовым графиком водопотребления и расчетным гидрографом стока с незарегулированного участка реки. В этом случае водохранилище должно так зарегулировать проходящий через него сток, чтобы с учетом нерегулируемого промежуточного притока, поступающего в реку ниже водохранилища, получить необходимый режим расходов в пункте водозабора.

*Вторичное (или повторное) регулирование стока.* Так можно назвать вид регулирования, который вызывается в основном не режимом стока, а режимом регулирования на вышерасположенной водохозяйственной установке, не удовлетворяющим требованиям многочисленных потребителей воды, расположенных ниже по течению реки. Так, например, ГЭС, регулирующая сток на покрытие зимнего максимума нагрузки, может не удовлетворять (по годовому ходу турбинных расходов) условиям нижерасположенного оросительного водопотребления с максимумом в летний период. В таком случае для обеспечения орошения требуется перерегулирование расходов воды гидростанции.

С некоторой условностью к этому же виду регулирования можно отнести случай, когда компенсирующее водохранилище не может точно приспособиться к режиму нижерасположенных водопотребителей (например, вследствие сложности или невозможности правильного определения времени добегания при переменном наполнении нижнего бьефа и в других случаях). В подобных условиях требуется дополнительное регулирование расходов водохранилищем нижнего водопотребителя. Такое регулирование иногда называется буферным.

*Непериодическое регулирование* отличается от других видов регулирования стока тем, что оно не имеет строго заданного объема водопотребления или графика работы. Сработка и наполнение водохранилища производятся по мере надобности и возможности (наличия достаточного притока). Этот вид регулирования используется для ряда конкретных потребностей водного хозяйства, например при лесосплаве, на водном транспорте и др.

При лесосплаве регулирование речного стока применяется как в суточном, так и в сезонном режиме. На водном транспорте сосредоточенные попуски воды из водохранилища применяются в тех случаях, когда на некоторое непродолжительное время требуется повысить судоходные глубины на перекатах.

В санитарных целях подобные попуски применяются для временного затопления и промывки отдельных участков реки и ее поймы. В рыбоводстве – главным образом для достижения оптимальных глубин в местах расположения нерестилищ, а также с целью дать возможность рыбам выйти в главное русло водотока из сети стариц и проток, отрезанных от него в результате маловодья. В сельском хозяйстве весенне-летние попуски необходимы для затопления пойменных луговых угодий с целью увлажнения сенокосных угодий, а также при лиманном виде орошения.

**5.3. Показатели регулирования стока**

Одними из основных показателей регулирования являются необходимая величина повышения низкого стока, обеспеченная отдача водохранилища, его объем и режим работы, которые устанавливаются расчетным путем.

Обеспеченной, или гарантированной, отдачей водохранилища называется то количество воды, которое можно получить из него за год при заданных значениях процентной обеспеченности и объеме водохранилища. Отдача обычно определяется в объемных абсолютных величинах (в м3 /год), а также в относительных величинах – в долях от среднегодового стока. Можно также определять отдачу и за сезон, в этом случае она соответствует конкретной доле годового стока из водохранилища. В водохозяйственных расчетах различаются отдача брутто и отдача нетто.

Отдача брутто (или просто отдача) состоит из суммы полного хозяйственного годового водопотребления *Aп* плюс годовой объем потерь из водохранилища *aкр*. При этом потери определяются за критический период, т. е. за период полной сработки водоема. Они включают в себя обычно потери на испарение и фильтрацию (в отдельных случаях учитываются также и потери на льдообразование).

Отдача брутто в долях среднегодового стока *Qo* называется коэффициентом регулирования стока брутто *kбр*. Отдача, выраженная таким коэффициентом *(kбр)*, имеет своим верхним пределом единицу. Однако теоретически при немалых величинах полезного объема и невысокой обеспеченности водоотдачи *kбр* может быть значительно больше.

Отдача нетто (или полезная отдача) по аналогии с отдачей брутто включает в себя только хозяйственное водопотребление из водохранилища без вышеупомянутых потерь воды из него. Полезная отдача должна удовлетворять гарантируемое водопотребление.

Отдача нетто в долях от среднегодового стока называется коэффициентом регулирования стока нетто *kн.*

Таким образом,

*kбр =* $\frac{A\_{n + }а\_{cр }}{Q\_{0}}$ *; kн =*$ \frac{A\_{n}}{Q\_{0}}$ (53)

В практике водохозяйственных расчетов различают также степень использования стока, характеризуемую коэффициентами его использования *ηбр* и *ηн*:

*ηбр =* $\frac{Q\_{0 }- С}{Q\_{0}}$ *; ηн =* $\frac{Q\_{0 - а}\_{ср}- С}{Q\_{0}}$ *,* (54)

где *аср* – годовой объем потерь воды из водохранилища в среднем за многолетие; *С* – среднегодовой объем холостого сброса.

При регулировании стока на жесткий график отдачи с относительно высокой обеспеченностью коэффициенты *kбр* и *ηбр* практически совпадают. При невысокой обеспеченности, т.е. при частых перебоях, *ηбр* < *kбр* в связи с недодачей воды потребителям. Для установок, отдача которых за многоводные периоды повышается по сравнению с гарантированной отдачей (таковы, например, гидроэлектростанции), коэффициенты использования стока больше коэффициентов регулирования, и величины η определяются обычно лишь для этих случаев.

Показатели *kбр* и *ηбр* являются основными и важными характеристиками условий регулирования стока, а коэффициенты *kн* и η*н* определяют условия обслуживания потребителей воды и энергии: размер полезной отдачи, долю потерь и т. п. На практике определение потерь и полезной отдачи при заданной отдаче брутто производится обычно табличным расчетом.

Кроме рассмотренных характеристик важным параметром является коэффициент регулирования стока *βn*, представляющий собой отношение полезного объема водохранилища *Vn* к среднему объему годового стока *Qo.*:

*βn = Vn / Qo.* (55)

При расчетах регулирования стока возникает необходимость решения основных задач. Прямой задачей регулирования считают определение полезной емкости *Wп*  по заданной величине потребления, т.е. по зарегулированному расходу *Q* или отдаче *Аn*и по режиму работы водоема. Обратной задачей является определение величины отдачи водохранилища по его заданной емкости *Wn* и режиму работы.

Таким образом, установлением зависимости *Q = f(Wn),* которая является результатом регулирования речного стока и выбора емкостей водохранилища, выявляют характеристики режима работы водохранилища за многолетний период (ход его наполнений, сбросов и т.п.).

**5.4. Основы методов расчета регулирования стока**

Все виды расчетов регулирования, в том числе установление основных параметров водохранилища (емкости, отдачи), режима его работы, производятся на основе подробного анализа гидрологических данных и режима речного стока. При этом, берется во внимание, что колебания фазовооднородных величин стока носят случайный характер, подчиняющийся определенной закономерности только лишь в смысле распределения вероятностей. Отличием от этого является внутригодовой ход стока, обладающий для большинства рек довольно устойчивой закономерностью, которая отчетливо проявляется по временам года в циклической смене гидрологических фаз водного режима.

При производстве расчетов по регулированию стока вышеуказанные обстоятельства определяют следующие основные принципы использования гидрометрических материалов.

1. Гидрограф стока на будущий длительный период работы водохранилища не может быть надежно предсказан заранее. Для его определения используется вероятность различных сочетаний стока, а также, для уточнения, данные гидрологических прогнозов, имеющих заблаговременность от нескольких дней до 1-2 месяцев и более. Эта же информация принимается во внимание как в расчетах, так и при эксплуатации водохозяйственных установок.

2. Ряд конкретных значений стока за время наблюдений позволяет получить представление о возможных в будущем особенностях водохозяйственного режима и об их вероятностях (с учетом эмпирических обеспеченностей).

В существующей теории регулирования стока, исходя из указанных принципов, рассматриваются два основных метода водохозяйственных расчетов:

а) расчет по фактическому ряду наблюдений стока (в табличной форме или по интегральным кривым притока и потребления);

б) обобщенный расчет на основе теории вероятностей с использованием статистических параметров стока.

По первому методу за основу водохозяйственного расчета принимаются календарные величины стока гидрологических постов за истекший период. Расчет заключается в непосредственном построении водохозяйственного плана по конкретному наблюденному ряду расходов воды.

Второй метод расчета заключается в математическом выражении объективных закономерностей колебаний стока, которые проявляются в распределении вероятностей фазовооднородных значений стока, в циклической смене фаз стока, в определенной связи между величинами стока за смежные промежутки времени. На основе математического выражения указанных закономерностей можно разработать водохозяйственный план эксплуатации водохранилища на основе имеющейся кривой обеспеченности стока.

В период эксплуатации установки водохозяйственный режим работы водохранилища постоянно контролируется на основе как краткосрочной, так и долгосрочной гидропрогнозной информации. Такая корректировка обязательно предусматривается при проектировании водохранилищ и должна учитывать изменения речного стока в результате хозяйственной деятельности.

Таким образом, исходными данными для разработки плана эксплуатации установки становятся обобщенные характеристики режима водного стока:

а) кривые обеспеченности основных фазовооднородных величин стока (за год, половодье, межень);

б) расчетное распределение стока за год и для каждой фазы годового цикла.

Принятие того или другого способа расчета зависит от условий водохозяйственной задачи, длительности имеющегося гидрологического ряда и степени регулирования стока, определяющей продолжительность циклов сработки и наполнений водохранилища.

При многолетнем регулировании стока решающее значение в режиме работы водохранилища имеют колебания его объемов за целые годы и по группам лет. Повторяемость этих величин при исследовании гидрологического ряда имеет важное значения, так как циклы сработки и наполнения распространяются на несколько лет, число которых увеличивается с повышением степени регулирования. В связи с этим ряд подвергается тщательному анализу.

Для повышения надежности расчета объёма водохранилища гидрологический ряд должен включать в себя серию маловодных периодов, которые вызывали бы полную сработку водохранилища. Поэтому основой для такого расчета служит кривая обеспеченности как годовых объемов стока, так и данные по его внутригодовому распределению.

При меньших степенях регулирования, когда внутригодовое распределение стока приобретает большое влияние на режим работы установки, годовой цикл приходится делить на характерные фазы. Для большинства рек такими четко выраженными фазами являются половодье и межень. Основными характеристиками становятся кривые обеспеченности стока за эти фазы. Распределение расходов воды по каждой из них принимается по расчетным гидрографам.

В случаях, когда регулирование стока незначительно, требуется детальное исследование стока за еще более короткие промежутки времени, состоящие из нескольких месяцев, более или менее однородных по характеру стока.

При отсутствии регулирования рассматриваются среднесуточные расходы воды, и рассчитывается обеспеченная отдача установки, работающей без регулирования стока. Характеристикой реки как источника водоснабжения служит при этом кривая обеспеченности минимальных расходов.

Построение расчетных гидрографов для всего года или отдельных его фаз производится на основе выбора моделей внутригодового распределения стока из числа лет фактических гидрометрических наблюдений. При этом строятся и используются кривые обеспеченности стока за год и за характерные фазы, соответственно особенностям решаемых водохозяйственных задач.

Вся совокупность построенных на графике кривых обеспеченности с нанесенными на них эмпирическими точками – значениями стокового ряда (с обязательным указанием года) позволяет наглядно и обоснованно выбрать наиболее характерные годы-модели: многоводный, средний и маловодный, близкие к заданным для них обеспеченностям.

Гидрограф года-модели затем корректируется путем умножения каждой ординаты гидрографа на коэффициент приведения, который равен отношению объема годового стока заданной обеспеченности к объему стока года-модели. Подобные методы приведения применяются часто и к отдельным фазам: к расходам межени, гидрографам половодий, паводков и т. п.

В случаях, когда вода (или энергия) потребляются равномерно в течение всего года или отдельного сезона, а водохозяйственная установка работает на незарегулированном стоке, вместо расчетных гидрографов в ряде случаев применяются кривые продолжительности суточных расходов.

Рассматриваемые приемы расчета имеют свои достоинства и недостатки. Расчет непосредственно по фактическому наблюденному стоковому ряду за рассматриваемый истекший период отличается наглядностью и удобством применения к любому сколь угодно сложному водохозяйственному режиму. Но основными его недостатками все же являются:

1) неопределенность обеспеченности и поэтому несопоставимость результатов водохозяйственных расчетов;

2) невозможность расчета при отсутствии достаточно продолжительных наблюдений за стоком данной реки;

3) невозможность широкого обобщения выводов расчета для дальнейшего их использования.

Расчет по обобщенным характеристикам стока в отличие от расчета по фактическому ряду в основном не имеет указанных недостатков. Однако он может давать убедительные результаты лишь совместно с наблюденными данными и при условии, что в нем правильно отражаются указанные выше вероятностные закономерности речного стока.

**6 ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ**

**6.1** **Задачи управления водными ресурсами**

В современном понимании водные ресурсы – это категория социально–историческая и её содержание изменяется в соответствии с уровнем развития человеческого общества. Например, для человека каменного века водными ресурсами являлись поверхностные воды (реки, озёра ледники). Для современного человека – это природная вода во всех агрегатных состояниях, перечень которых всё время расширяется как по видам вод, так и в пространственном горизонтальном и вертикальном аспектах. При этом, среди всех природных ресурсов применение воды является более разнообразным, многоцелевым и всеобщим. Вода обладает редкой особенностью – её незаменимостью во многих биологических, производственных и социальных процессах человеческого общества.

На сегодняшний день главными водными ресурсами многих стран, в том числе и Республики Казахстан, являются воды, как речного стока, так и накопленные в озёрах и водохранилищах. Для сопредельных государств использование водных ресурсов с прошлого столетия стало тесно связываться с международными правами и межгосударственными договорами по совместному водопользованию и охране от загрязнения и истощения трансграничных рек и сохранению экосистемы всего речного бассейна.

В настоящее время современные и перспективные водные ресурсы разделяют на три группы: **национальные** (внутренние воды); **межгосударственные** (пограничные реки, озера и ледники); **всеобщие** (полярные льды, атмосферная влага, ювенильные воды).

Со второй половины прошлого века, по мере развития численности населения, интенсивного развития городов, промышленности и сельского хозяйства, в практике водопользования усиленно стали проводиться искусственные регулирования речного стока (сооружение водохранилищ, развитие орошаемого земледелия, водозаборы, переброска стока и т.п.), что в итоге привело не только к изменению гидрологического режима водных объектов, но и к коренному изменению природного равновесия в экосистеме речных бассейнов. В результате во многих странах возникли масштабные нарушения водного баланса территорий, которые явились главной причиной экологических и экономических катастроф, в том числе и планетарного характера.

Речной сток, который аккумулирует в себя все отходы современного производства, очень чувствителен к негативным антропогенным воздействиям, возникающих при экстенсивной эксплуатации природных ресурсов, что крайне отрицательно проявляется на общем экологическом состоянии всего водного бассейна.

В связи с этим, проблемы преобразования речных систем должны быть тесно увязаны с основными задачами управления природопользованием, решения которых обеспечивают следующие условия: 1) оптимальные соотношения между преобразующимися и эксплуатируемыми ресурсами; 2) рациональное использование водных и земельных фондов; 3) охрана экологического равновесия в бассейне.

Поэтому современные актуальные проблемы природопользования и охраны окружающей среды остро нуждаются в пересмотре и обновлении методов преобразования речных систем для целей оптимального использования водных и земельных ресурсов. В век научно-технического прогресса эти задачи непременно должны быть долговечными и решаться с большим запасом прочности, т.е. рассчитаны на форс-мажорные ситуации, при этом неукоснительно сохраняя экологическое равновесие в природной среде. Такой подход необходим для дифференцированного, очень продуманного, осторожного и обоснованного сочетания различных вариантов экологического развития, которые могли бы примирить или, по крайней мере, смягчить противоречивые интересы в использовании водных ресурсов.

**Управление водными ресурсами – это часть научного контроля за состоянием природной гидроэкосистемы, одно из средств её сохранения**. Это не только административно-хозяйственное управление действующими водохозяйственными системами, но и контроль за качеством воды и выдача лицензий на создание новых водохозяйственных систем и отдельных объектов. В сферу управления должны входить функции учёта условий формирования и расходования речного стока и слежение за динамикой, кратко и долгосрочное прогнозирование этих явлений и процессов, планирование строительства новых объектов для использования водных ресурсов, проектирование территориального перераспределения стока, сохранение высокого санитарно-гигиенического качества речных вод и т.д.

Кроме того, в связи с развитием рыночной экономики остро возникли вопросы о стоимости воды, как очень важного природного ресурса, т.е. пресная вода стала товаром. Следует отметить, что единого подхода по вопросу платы за воду до сегодняшнего дня отсутствует, так как нет достаточной строгости в определении принципиальной стороны этого вопроса. Однако, по мнению многих специалистов-водников, в условиях современного ограничения территорий гидроресурсами, финансовый расчёт экономики в этой области совместно с учётом платы за воду в стоимости конечного продукта является одним из важнейших условий рационального использования водных ресурсов потребителями и оптимального распределения между водопользователями разных отраслей производства. Конечно, этот вопрос сам по себе очень сложен, и поэтому процесс внедрения хозяйственного расчёта должен быть постепенным как по регионам, так и по отдельным отраслям использования речного стока.

**6.2 Районирование и планирование комплексного использования и охраны речного стока**

Промышленность, сельское хозяйство, производство электроэнергии, транспорт, увеличение городов и урбанизированных территорий, а также количества коммунальных хозяйств – приводит к потреблению значительного объёма пресной воды и ужесточению требований к её качеству. Связано это не только с ростом населения и объёмов производства, но и резким увеличениям современного водопотребления в промышленности, сельскохозяйственном производстве, энергетике и коммунальном благоустройстве.

Поэтому естественные водные объекты по своим запасам и режиму (внутригодовые и многолетние колебания речного стока) становятся лимитирующим фактором для экономического развития тех или иных регионов. При этом следует подчеркнуть следующее:

1 – при планировании размещения производства (промышленность, сельское хозяйство, города и коммуникации) использование речного стока для развития экономики необходимо прогнозировать на 15–20 лет и более длительные сроки;

2 – при разработке долгосрочных планов экономического развития гидрологический режим водных объектов должен соответствовать основному конкретному направлению производства в регионе, т.е. регион должен быть специализирован к определённому режиму водопользования;

3 – разрабатываемые планы водопользования должны учитывать совокупность историко-социальных и демографических факторов, национальные особенности населения, а также интересы развития страны;

4 – при планировании территориального размещения различных видов производств, активно использующих водные ресурсы, необходимо законодательно считаться с природоохранным аспектом каждого долгосрочного плана.

В прошлом столетии С.Л. Вендров (1979 г.) для составления долгосрочных планов географического размещения производства разработал схему возможного районирования территории бывшего СССР по признаку обеспеченности её водой. В этой схеме было выделено семь регионов по водообеспеченности:

1 – районы, где воды очень много и эти территории обладают свободными водными ресурсами;

2 – районы, где воды очень много и эти территории имеют достаточное количество местных водных ресурсов;

3 – районы, где воды мало, это преимущественно аридные и степные территории, в которых сельскохозяйственное и промышленное производство возможно лишь при получении дополнительного стока;

4 – районы, требующие ограничений в использовании водных ресурсов, в которые переброска стока экономически и экологически не рентабельна;

5 – резервные районы, на территории которых запрещены размещения новых промышленных, коммунальных и других предприятий (национальные парки, курортные зоны);

6 – приморские территории, морские побережья аридных зон;

7 – прибрежные зоны морей и заливы.

Данная схема имела 13 категорий территорий, сгруппированных для семи регионов. Однако она не охватывала всего многообразия природно–хозяйственных систем, но вполне могла служить основой для дальнейшего районирования и планирования комплексного использования речного стока.

На рубеже последних столетий, для обоснования концепции развития экономики Республики Казахстан и разработки национальной стратегии развития водохозяйственного сектора, в стране были заново проведены гидрологические расчёты для оценки современного режима рек и пересмотрены вопросы распределения водных ресурсов в стране. В результате на территории Казахстана было выделено восемь бассейновых природно-хозяйственных систем: Жаик-Каспийская, Арало-Сырдарьинская, Тобыл-Торгайская, Нура-Сарысуская, Шу-Таласская, Балкаш-Алакольская и Ертисская (А.А. Турсунов-1998 г., Ж. Достай – 2000 г., Комитет водных ресурсов РК – 2001 г., И.М. Мальковский – 2006 г.).

При разработке данного районирования во внимание были приняты следующие признаки: географические и гидрологические условия, водохозяйственное использование и экологическое состояние речных бассейнов. Природно-хозяйственные системы классифицировались следующим образом:

1 – по географическому положению – один национальный бассейн (Нура-Сарысуский), остальные семь относятся к трансграничным бассейнам;

2 – по гидрологическим характеристикам – пять бессточных бассейнов (Жаик-Каспийский, Арало-Сырдарьинский, Нура-Сарысуский, Шу-Таласский, Балкаш-Алакольский), два сточных бассейна (Тобыл-Торгайский и Есильский) и один проточный (Ертысский);

3 – по водохозяйственному использованию – один энерго-транспортный бассейн (Есильский), один ирригационно-энергетический (Балкаш-Алакольский), два ирригационных (Арало-Сырдарьинский и Шу-Таласский), один транспортно-рыбохозяйственный (Жаик-Каспийский) и три обводнительно-водоснабженческих (Тобыл-Торгайский, Есильский и Нура-Сарысуский);

4 – по экологическому состоянию – один кризисный бассейн (Арало-Сырдарьинский), три особого государственного значения (Жаик-Каспийский, Балкаш-Алакольский и Ертысский), четыре прочие бассейна (Тобыл-Торгайский, Есильский, Нура-Сарысуский и Шу-Таласский).

Для оценки водообеспеченности Казахстана, отражающихся на экономической и экологической ситуациях в стране, Комитетом по водным ресурсам РК были составлены прогнозные водохозяйственные балансы на средние и маловодные по водности периоды (таблица 4).

Таблица 4. Водохозяйственные балансы Республики Казахстан, км3

|  |  |
| --- | --- |
| Статьи баланса | Обеспеченность по водности |
| 50 % | 75 % | 95 % |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| **2000 г.** |
| **Приходная часть:**Речной сток | 100,5 | 76,1 | 58,2 |
| **Расходная часть:**1. Водопотребление отраслями экономики | 35,5 | 35,5 | 31,5 |
| 2. Заполнение водохранилищ | 1,4 | 1,0 | 0,5 |
| 3. Экологические и санитарные попуски в реках | 28,8 | 28,8 | 28,8 |
| 4. Испарение и фильтрация | 12,1 | 11,0 | 10,0 |
| 5. Попуски в Россию | 8,8 | 8,8 | 8,8 |
| 6. Нерегулируемый сток весенних половодий | 4,8 | 4,0 | 3,0 |
| Итого – Расход | 91,4 | 89,1 | 82,6 |
| Разница баланса: **Приход – Расход** | + 9,1 | – 13,0 | – 24,4 |
| **2020 г.** |
| **Приходная часть:**Речной сток | 95,5 | 71,1 | 53,2 |
| **Расходная часть:**1. Водопотребление отраслями экономики | 43,0 | 43,0 | 39,0 |
| 2. Заполнение водохранилищ | 1,5 | 1,0 | 0,5 |
| 3. Экологические и санитарные попуски в реках | 30,0 | 30,0 | 30,0 |
| 4. Испарение и фильтрация | 12,0 | 11,0 | 10,0 |
| 5. Попуски в Россию | 12,2 | 12,2 | 12,2 |
| 6. Нерегулируемый сток весенних половодий | 4,5 | 4,0 | 3,0 |
| Итого – Расход | 103,2 | 101,2 | 94,7 |
| Разница баланса: **Приход – Расход** | –7,7 | –30,1 | –41,5 |

Примечание: – в приходной части баланса не были учтены используемые подземные воды, возвратный сток и сработка водохранилищ.

Из анализа таблицы следует, что в маловодные периоды возникают отрицательные водные балансы, которые формируются в основном за счёт географического положения Казахстана на Евразийском континенте. Так по данным Института географии МОН РК среднегодовой речной сток за период 1974–2008 гг. составил 91,3 км3/год, из которых 44,3 км3 (48,5 %) поступает из сопредельных государств, а 47,0 км3 (51,5 %) формируются внутри страны. В республику поступают из соседних государств следующие объёмы речных вод: Китая – 18,9 км3, Узбекистана 14,6 км3, Киргизии – 3,3 км3, России – 7,6 км3; всего примерно 44 км3. За счёт хозяйственной деятельности ресурсы речного стока Казахстана в сравнении с 1975 г. (115 км3/год) уменьшились на 23,8 км3/год (21 %), в том числе за счёт трансграничного стока на 15,9 км3 и местного стока на 7,9 км3.

Перспективы водопользования в республике на 2020 г., показывают, что баланс крайне отрицателен даже в средние по водности годы, в маловодной период водообеспеченность страны крайне ухудшается и становится катастрофической. Поэтому, планирование развития различных отраслей экономики в стране и размещение производства в будущем должно будет строго лимитироваться водным фактором.

В настоящее время, столь нерадужные перспективы сокращения объёмов речных ресурсов безотлагательно требуют реализации следующих превентивных мероприятий:

1. в ближайшем будущем водосбережение должно стать главным для удовлетворения растущих потребностей в воде, особенно в орошаемом земледелии;

2. планирование территориального размещения производства должно производиться с учётом водного фактора;

3. правительство страны должно инициировать Международные переговорные процессы по пересмотру принципов и механизмов вододеления и равноправного водопользования между странами Центральной Азии, особенно для аридно-бессточных регионов.

На примере районирования территории Казахстана по природно-экологическим бассейнам и предварительной оценке перспективного водохозяйственного баланса на 2020 г., можно выделить следующие основополагающие выводы:

1. при проведении водохозяйственного районирования должны учитываться все многообразие природных условий территорий;

2. в Генеральной схеме комплексного преобразования речных систем обязательно должны рассматриваться различные варианты по водообеспечености (маловодные, средние и многоводные периоды);

3. водохозяйственное районирование и разработка на его основе планов размещения производства дает возможность создавать модели оптимального управления водными ресурсами для региональной эксплуатации и охраны природно-хозяйственных систем в речных бассейнах;

4. полное выполнение изложенных положений обуславливает переход к долгосрочному экономическому и экологическому планированию использования водных и земельных ресурсов территорий.

**6.3 Критерии водной независимости и безопасности речного стока Казахстана**

По мнению некоторых исследователей нынешнее столетие можно назвать «веком водных проблем». Пресная вода стремительно становится одним из самых дефицитных природных ресурсов, она даже превратилась в товар и уже сформировался международный рынок. В условиях обострения водных проблем в мире и роста потребления пресной воды ООН провозгласила «Международное десятилетие действий «Вода для жизни» на 2005-2015 гг. Особенно это стало сложным для трансграничных бассейнах, в которых водные ресурсы стали фактором международной политики. Для регулирования более 500 межгосударственных конфликтов за последние полвека были обсуждены и подписаны около 200 договоров (И. Мальковский, 2012 г.).

В связи с этим, территориальное перераспределение речного стока стало получать практическое распространение на континентах, разрабатываются и осуществляются проекты по переброске речного стока из водообеспеченных районов в районы, где имеется острая нехватка в воде. Например: в Северной Америке предусматривается переброска водных ресурсов из Канады и части северных рек США в южные штаты и на север Мексики; в Китае планируется соединение многокилометровым каналом рек Хуанхэ и Янцзы; в Индии разрабатывается проект соединения к 2016 году всех рек страны в единую водную систему. Кроме того, уже давно эксплуатируется внутритерриториальные каналы перераспределения речного стока, например в Казахстане канал Ертыс-Караганда. По мнению специалистов в настоящее время суммарный объём всех видов крупномасштабных перебросок водных ресурсов в мире составляет около 500 км3/год. Для этих целей используются не только межбассейновое перераспределение, но и транспортировка воды в трубопроводах и в туннелях групповые водопроводы.

Учитывая обострение водных проблем в нашей стране, институт географии МОН РК в начале этого столетия разработал и руководил научно–технической программой «Оценка ресурсов и прогноз использования природных вод Казахстана в условиях антропогенно и климатически обусловленных изменений», в выполнении которой участвовала и кафедра гидрологии КазНУ им. Аль-Фараби.

В результате проведённых исследований выявлено, что основными причинами резкого ухудшения водообеспеченности в стране являются: 1) глобальные и региональные изменения климата; 2) использование водозатратных технологий и несовершенных средств водорегулирования и водопользования; 3) ухудшение качества воды в экосистемах; 4) несогласованность и обострённость межгосударственных водных отношений с соседними странами.

В результате полученной информации были намечены планы реализации водоохранных мероприятий, направленных на уменьшение нагрузки на водные ресурсы и **обеспечение водной независимости Казахстана:**

1) уменьшение использования водоёмких производств и расширение современных технологий;

2) сокращение потребления пресной воды в промышленности, коммунальном и сельском хозяйствах (особенно при орошаемом земледелии);

3) восстановление экологической устойчивости речных экосистем за счёт совершенствования и строгого соблюдения водного законодательства;

4) заключение межгосударственных долгосрочных соглашений по использованию водных ресурсов трансграничных бассейнов;

5) планирование и осуществление межбассейновой переброски речного стока из России в Казахстан.

Следует отметить, что последние два пункта возможны лишь только в рамках Межнациональных правительственных переговоров. Что касается первых трёх пунктов, то они вполне решаются на внутри правительственном уровне, в рамках заинтересованных Министерств.

В настоящее время в большинстве зарубежных стран интересы экономического развития тесно связывают с экологической устойчивостью речных бассейнов и эффективностью охраны природы. По данным Института географии МОН РК в поверхностные водоёмы страны ежегодно сбрасывается около 200 млн. м3 загрязнённых сточных вод, наибольший удельный вес в такой сток вносят промышленные предприятия Восточного Казахстана, Павлодарской и Карагандинской областей. Поэтому, для Казахстана управление водными ресурсами должно обозначать и экологическую защиту водной экосистемы, способную вернуть рекам и озёрам их былую чистоту. Такая политика должна иметь законодательную силу.

**Водоохранные органы** – **это бассейновые водохозяйственные объединения, которые должны осуществлять планирование необходимых мероприятий, управление системами после их создания и контроль за качеством вод**.

Современная республиканская система государственного контроля в области использования и охраны водного фонда базируется на водном Кодекса РК, Кодексе РК «Об административных правонарушениях», Законе РК «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», Законе РК «Об охране окружающей среды» и других Постановлениях Правительства РК.

В качестве контрольно–координационного центра в составе РГП «Казгидромет» организован республиканский «Центр экологического мониторинга окружающей среды» (ЦЭМОС). Главными задачами данного органа являются обеспечение:

1 – взаимодействия и координации деятельности всех министерств, агентов, ведомств осуществляющих государственный контроль в пределах своей компетенции;

2 – наблюдения за состоянием и изменением вод под влиянием хозяйственной или иной деятельности, а также проверка выполнения водоохранных мероприятий;

3 – установления порядка пользования водным фондом и его учёта;

4 – выполнения обязанностей по охране вод и ликвидации вредного воздействия на водные объекты;

5 – контроля по соблюдению всеми юридическими и физическими лицами требований водного законодательства Республики Казахстана.

Для сохранения и восстановления чистоты речных вод и водоёмов необходимо осуществление следующих мероприятий:

а) усовершенствование и изменение технологии промышленного и сельскохозяйственного производства, разработка и внедрение маловодной и безводной технологии в целях уменьшения водоотведения;

б) обеспечение полной очистки коммунально-бытовых и промышленных стоков;

в) широкое внедрение оборотного водоснабжения, расширение повторного использования очищенных сточных сбросов в реки;

Важным экономическим рычагом управления водными ресурсами должно стать совершенствование **платы** за водопотребление и водопользование, а также **штрафы** за сброс сточных вод в водоемы. Такие мероприятия позволят создать рыночные отношения с потребителями речного стока и аккумулировать средства на проведение водохозяйственных мероприятий.

Таким образом, управление водными ресурсами на территории Казахстана включает в себя реализацию конкретных действий – разработку и осуществление государственных планов водоохранных мероприятий в бассейнах рек и водоёмов с учётом размещения различных отраслей производства.

**6.4 Управление водными ресурсами**

Теория оптимального управления в настоящее время находит широкое применение при решениях многих технических задач. В гидрологии она используется для оценки влияния различных видов хозяйственной деятельности на водные ресурсы речных бассейнов, оценки последствий межзональных перебросок стока на гидрологический режим рек, прогнозной оценки изменения водного режима водотоков под влиянием оросительно-осушительных мероприятий и агролесомелиораций, а также решения ряда других практических задач, требующих внедрения, модернизации или разработки новых положений теории управления применительно к водным объектам.

В теории управления основное внимание сосредоточено на системах с **входами** и **выходами**, допускающих численное изменения своих параметров. Например, создание определенного режима стока в речном бассейне можно рассматривать как непрерывный подбор таких входных параметров, при которых выходы (сток и испарение), принимают желаемые значения. Потому, одной из основных задач принятой модели управления является описание режима стока на данном водосборе, обеспечивающее прогнозное последствие от принятых решений на данный момент времени. В конечном итоге, такая последовательность приводит на практике к построению математических моделей, описывающих режим стока в исследуемом речном бассейне. Модель должна быть физически обоснованной, иметь простую форму, проявлять близкое сходство с объектом и обеспеченна соответствующими надежными данными наблюдений. В частности, построение простых моделей основаны на балансовом принципе.

Речной бассейн или его водные ресурсы, как объекты управления, обычно рассматривают в их взаимосвязи с окружающей природной средой, используя систему входы – выходы (рисунок 2).

Входы

Речной бассейн

Окружающая природная среда

 Выходы

Рисунок 2. Взаимосвязь бассейна с природной средой.

Под входными характеристиками понимают всевозможные воздействия на водные ресурсы: приток солнечной радиации, атмосферные осадки, влажность и температуру подстилающей поверхности, условия увлажненности речного бассейна и т.д. Под выходными переменными – испарение, сток и другие элементы влагообмена на водосборе.

Следует отметить, что частью входных параметров в принципе можно управлять, моделируя условия антропогенного воздействия. Однако, такое предсказание возможно лишь, если используются материалы фактических данных наблюдений и установленные, на их основе, эмпирические связи между измеряемыми входами и выходами за **конкретные интервалы времени**. Например, примем за основу моделирования дифференциальное уравнение водного баланса речного бассейна для среднемноголетнего периода за время *Т,* которая имеет вид:

$\frac{∂X }{∂T}$ = $\frac{∂Y }{∂T}$ + $\frac{∂E }{∂T}$, (56)

где *X, Y, E* – соответственно осадки, сток и испарение

Математическое решение уравнения (46) для оценки процессов влагообмена в речном бассейне и последовательные логистические действия программистов-проектировщиков дают возможность выбрать наиболее эффективные и оптимальные варианты моделей управления водными ресурсами при различных видах хозяйственной деятельности человека.

Рассмотренная выше теория управления природопользования, в которой используются системы моделирования процессов регулирования и оптимального использования водных ресурсов, **аналогична** основным принципам и методике исследований **логистики**. Однако, для оптимизации преобразованного речного стока режим водных объектов, как это отмечалось в подразделе 5.2, должен быть ориентирован на главное конкретное направление производства в регионе, т.е. экономическое развитие региона должно быть специализировано к определенному режиму водопотребления.

**Логистика – это научная и практическая деятельность, связанная с организацией, управлением и оптимизацией движения материальных и сопутствующих потоков от источника сырья до конечного потребления** (Т.И. Савинкова, 2008). Аналогия и применимость методологии логистики к решению проблем водного хозяйства основополагается на объединении целей, т.к. в обоих случаях изучаются способы управления и оптимизации потоков и материальных запасов (в логистике – сырьё, в водном хозяйстве – вода). Кроме того, в логистике важной характеристикой является «интенсивность потока» – количество объёмных и массовых показателей продукции за единицу времени. В практической гидрологии аналогичной характеристикой является объём расходов воды и распределение воды между потребителями.

Следует отметить, что при преобразовании речных бассейнов в степной зоне Казахстана использование водных ресурсов приводит к территориальному и временному дисбалансу между речным стоком и водопотреблением. В таких районах вопрос оптимального соотношения между водными и используемыми земельными ресурсами, как правило, становится особенно актуальным. Поэтому, выбор рациональных вариантов управления водными ресурсами должно основываться на принципах логистики, где жестко ограничиваются (по количеству и качеству) использование, как речного стока, так и орошаемого земельного фонда.

Определённая аналогия имеет место и в отношении категории запасов: в логистике выделяют текущие, страховые, сезонные и переходящие запасы, а в водном хозяйстве – текущие, сезонные, многолетние, запасы воды, и соответствующие им виды водохранилищ. Использование этих запасов производится от максимальных значений до минимальных. Управление запасами водного фонда начинается с прогнозирования потребностей в водных ресурсах и расчёте оптимального размера их запасов.

Запас характеризует изменение объемов **входного** потока *РВХ* (*t*) и **выходного** *РВЫХ* (*t*) за время *dt.* На практике это изменение представляет собой уравнение балансового типа, которое является математическим выражением закона сохранения материи в природе:

*РВХ* –*РВЫХ + SПОТ*= *ΔS* , *ΔS = SН*  – *SК*, (57)

где *SПОТ*– величина потерь запаса потока за период *dt* при его хранении; *ΔS* – изменение запасов потока за тот же период; *SН* и *SК* – соответственно размеры объёмов потока на начало и конец расчётного периода.

В гидрологии величина *ΔS* представляет собойнакопление запасов водных ресурсов в бассейне за определенное время, если *SН*  > *SК.* И, наоборот, – уменьшение запасов воды в экосистеме, если *SН*  < *SК.*

В целом величина *ΔS* за время *dt* изменяется от максимальных значений *ΔSMAX* до минимальных *ΔSMIN*. В водном хозяйстве *ΔSMAX* представляет собой сток весеннего половодья, полезный объём водохранилища и т.д., а *ΔSMIN*– объём санитарного стока в реках, мертвый объём водохранилища.

Из вышесказанного следует, что величина создаваемого для управления запаса водных ресурсов должна быть всесторонне **обоснованной** и **оптимизированной**. В практической гидрологии под оптимизацией понимают процесс выбора наилучшего варианта распределения воды между водохозяйственными субъектами с учетом их **экономических критерий**. В качестве последних принимают такие показатели, как затраты на строительство гидротехнических сооружений, эксплуатационные издержки, прибыль и т.д.

**Заключение**

В настоящее время водные ресурсы представляют собой крупные природно-хозяйственные системы и являются важной составной частью экономического и экологического развития страны. Разработка планов использования, преобразования и управления этих систем стала занимать важное место в научном и водохозяйственном обосновании этих мероприятий в государственном масштабе.

В представленном учебном пособии изложены некоторые основополагающие положения, которые, на наш взгляд должны усвоить студенты, изучающие данный курс. Суть их заключается в следующем:

1. Каждое преобразование любого элемента речной сети неизбежно влечёт за собой перестройку взаимосвязей водного объекта с окружающей средой, меняет физические, био – и геохимические процессы в водной массе. Окружающая среда как сумма природных явлений и ресурсов, как элемент биосферы в век научно-технического прогресса становятся более «ранимой» и, в результате, «дорожает». Поэтому в решении проблем преобразования речных систем в условиях рыночной экономики большое значение приобретают вопросы стоимости и цены природных ресурсов: водных, земельных, лесных, недр, флоры и фауны и др.

2. В природно-хозяйственной перспективе распределения водных ресурсов по субъектам потребления часто происходит смена ведущих отраслей производства. При комплексном использовании рек необходимо выделять ведущего водопользователя, которое должно быть основано на государственном интересе перспективного экономического и экологического планирования.

3. Комплексное использование гидрологических и климатических факторов и единой системы государственного учёта водных ресурсов с планируемой Генеральной стратегией экономического развития регионов, в общем целом, составляет основу для разработок физически обоснованных математических моделей преобразования и управления речными системами.

4. Генеральные схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов необходимо составлять на существенно большие сроки, примерно на 30-50 лет.

5. Конечной целью преобразования речных бассейнов, после создания водохозяйственных систем отдельных регионов, является организация единой водохозяйственной системы страны.

6. Главными задачами всех водохозяйственных систем являются эффективное распределение речного стока во времени и в пространстве, его планирование и диспетчерское регулирование в интересах различных отраслей экономики и различных регионов с учетом конкретной хозяйственной и природной обстановки в отдельные годы и группы лет.

7. Международное сотрудничество в ресурсно-природоведческом и экономическом планах должно быть направлено на водохозяйственное благоустройство соседних государств.

**Литература**

1. Вендров С.Л. Проблемы преобразования речного стока СССР. – Л., Гидрометеоиздат , 1979. – 208 с.

2. Соколов А.А. Вода: проблемы на рубеже XXI века. – Л., Гидрометеоиздат, 1986. – 167 с.

3. Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. – Л., Гидрометеоиздат, 1989. – 334 с.

4. Хевлинг Г. Тревога в 2000 году. – М., Мысль, 1990. – 272 с.

5. Турсунов А.А. Гидроэкологичские проблемы Республики Казахстан // Сб.: Гидроэкологические проблемы проблемы использования водных ресурсов Казахстана. Под ред. Сарсенбаева М.Х. // – Алматы, изд. Қазақ университетi, 1998. С. 3-22 с.

6. Достай Ж.Д., Турсунов А.А. Водные ресурсы Республики Казахстан и их экологическое состояние // Сб.: Географическая наука в Казахстане: результаты и пути развития // – Алматы, 2000. С. 143-150.

7. Сарсенбеков Т.Т., Кожаков А.Е. Международно–правовые аспекты использования и охраны трансграничных рек. – Алматы, изд. «Атамура», 2003. – 310 с.

8. Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии (обзор). – Алматы, 2004. – 132 с.

9. Проблемы и перспективы развития нормативной базы качества вод. – Алматы, изд. «Қанагат», 2006. – 296 с.

10. Мальковский И.М., Толеубаева Л.С. Критерии гидроэкологической безопасности бассейновых природно-хозяйственных систем Казахстана // Журнал ТЕРРА, вып. 1// – Алматы, 2006. С. 106-112.

11. Сарсенбаев М.Х., Баженов М.Г., Жанпеисова С.Р. Логистическое управление водными и земельными ресурсами в степной зоне Казахстана // Гидрометеорология и экология, № 2 // – Алматы, 2009. С. 132-143.